

**ELABORACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARA LA TRANSMISIÓN
DIGITAL DE SEÑALES**

MIRIAM ELENA NAVARRO SOTOMAYOR

ANTONIO CARLOS BALLESTAS MAJANA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.**

2003

**ELABORACIÓN DE BANCO DE PRUEBA PARA LA TRANSMISIÓN
DIGITAL DE SEÑALES**

MIRIAM ELENA NAVARRO SOTOMAYOR

ANTONIO CARLOS BALLESTAS MAJANA

Trabajo de grado presentado como requisito para
optar el título de Ingeniero Electrónico

Director

WILLIAM VELÁSQUEZ BARRIOS

Ingeniero Electrónico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.

2003

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. 30 de junio 2002

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. 30 de junio 2002

Señores:

Departamento de Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica De Bolívar.

Cartagena D. T. H. y C.

Respetados Señores:

Presentamos para su consideración el Proyecto de Grado titulado:
**“ELABORACIÓN DE BANCO DE PRUEBA PARA LA TRANSMISIÓN
DIGITAL DE SEÑALES”**. Como requisito para optar el título de Ingeniero
Electrónico.

Atentamente,

MIRIAM NAVARRO SOTOMAYOR
9404506.

ANTONIO BALLESTAS MAJANA
0104864.

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C, 30 de junio de 2002

Señores

Departamento De Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Cartagena D. T. y C.

Respetados Señores:

Por solicitud de los estudiantes MIRIAM NAVARRO SOTOMAYOR Y ANTONIO BALLESTAS MAJANA dirigí a satisfacción el proyecto de grado titulado: **“ELABORACIÓN DE BANCO DE PRUEBA PARA LA TRANSMISIÓN DIGITAL DE SEÑALES”**, como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Espero que el contenido y las normas aplicadas cumplan con los requisitos exigidos por esta dirección.

Atentamente,

WILLIAM VALASQUEZ BARRIOS

DIRECTOR

ARTICULO 107

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grados aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

CONTENIDO

	pag.
1. ANTECEDENTES, EL PROBLEMA Y LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES	
2	
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
2	
1.2.1 Descripción del problema	3
1.2.2 Formulación del Problema	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
3	
1.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN	
4	
1.5 IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	
4	
1.6.1 Objetivo General	
4	
1.6.2 Objetivos Específicos	
4	

2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	6
2.1.1 La fuente.	6
2.1.2 El transmisor.	6
2.1.3 El sistema de transmisión.	7
2.1.4 El receptor.	7
2.1.5 El destino.	7
2.2 DATOS DIGITALES, SEÑALES DIGITALES	7
2.2.1 Espectro de la señal.	7
2.2.2 Sincronización.	8
2.2.3 Detección de errores.	8
2.2.4 Inmunidad al ruido e interferencias.	8
2.2.5 Coste y complejidad.	8
2.3 CÓDIGOS DE LINEA	8
2.3.1 Código NRZ (NO RETORNO A CERO)	10
2.3.2 Código retorno a cero (RZ)	12
2.3.3 AMI Transmisión Bipolar o AMI (Alternate Mark Inverted)	14
2.3.4 Codificación de línea Manchester y diferencial Manchester.	16
2.3.5 Código HDB3.	19
2.3.6 CMI (Coded Mark Inversión – Inversión De Marca Codificada).	21
2.4 ANÁLISIS FRECUENCIAL DE SEÑALES	22

2.4.1	Concepto De Análisis Frecuencial.	22
2.4.2	Series De Fourier Para Señales Periódicas En Tiempo Continuo.	27
2.5	RECUPERACIÓN DE DATOS EN PRESENCIA DE RUIDO Y TASA DE ERROR POR BIT (BER).	32
2.6	MEDIOS DE TRANSMISIÓN	34
2.6.1	Clases De Medios De Transmisión:	34
2.6.1.1	Guiados.	34
2.6.1.2	No Guiados.	34
2.6.2	Cable de par trenzado.	36
2.6.2.1	Cable de par trenzado sin apantallar (UTP).	36
2.6.2.1.1	Categoría 1.	37
2.6.2.1.2	Categoría 2.	37
2.6.2.1.3	Categoría 3.	37
2.6.2.1.4	Categoría 4.	37
2.6.2.1.5	Categoría 5.	37
2.6.2.1.5.1	Categoría 5 ^a .	37
2.6.2.1.6	Nivel 7.	38

2.6.2.2	Cable de par trenzado apantallado (STP).	38
2.6.2.3	Componentes del cable de par trenzado.	39
2.6.2.3.1	Elementos de conexión.	39
2.6.2.3.2	Armarios y racks de distribución.	39
2.6.2.3.3	Paneles de conexiones ampliables.	40
2.6.2.3.4	Clavijas.	40
2.6.2.3.5	Placas de pared.	40
2.6.2.4	Consideraciones sobre el cableado de par trenzado.	40
2.6.2.5	Diferencia entre las Categorías de cable UTP.	40
2.6.2.5.1	Categoría 5.	41
2.6.2.5.2	Categoría 5a.	41
2.6.2.5.3	Categoría 6 y posteriores.	42
2.6.3	Cable Coaxial	42
2.6.3.1	Descripción del cable coaxial.	42
2.6.3.2	Tipos de cable coaxial.	45
2.6.3.2.1	Cable Thinnet (Ethernet fino).	45
2.6.3.2.2	Cable Thicknet (Ethernet grueso).	46
2.6.3.2.3	Cable Thinnet frente a Thicknet.	47
2.6.3.3	Hardware de conexión del cable coaxial.	47

2.6.3.4	Tipos de cable coaxial y normas de incendios.	48
2.6.3.4.1	El cloruro de polivinilo (PVC).	48
2.6.3.4.2	Un plenum.	49
2.6.3.5	Consideraciones sobre el cable coaxial.	49
2.6.3.6	Cable coaxial en banda base.	50
2.6.3.7	Cable coaxial en banda amplia.	50
2.6.4	FIBRA ÓPTICA	51
2.6.4.1	Breve Historia De La Fibra Óptica.	51
2.6.4.2	Comunicación por fibra óptica.	54
2.6.4.3	Transmisores ópticos.	54
2.6.4.4	Receptores ópticos.	55
2.6.4.5	Compuesto de la fibra óptica.	56
2.6.4.6	Tipos de fibra óptica.	58
2.6.4.6.1	La fibra multimodo.	58
2.6.4.6.2	La fibra monomodo.	60
2.6.4.7	¿De que están hechas?	62
2.6.4.8	Conectores.	62
2.6.4.8.1	Jumper.	63

2.6.4.8.2 Acopladores o adaptadores.	64
2.6.4.9 Características mecánicas.	65
2.6.4.10 Atenuación en F.O.	67
2.6.4.10.1 Intrínsecas.	67
2.6.4.10.2 Extrínsecas.	67
2.6.4.11 Atenuación digital.	68
2.6.4.12 Atenuación por tramo.	69
2.6.4.13 Medición de atenuación total de un tramo (Medición de potencia).	69
2.6.4.14 Atenuación por empalme.	69
2.6.4.15 Empalmes Atenuados.	70
2.6.4.16 Cables de Cobre vs. F.O.	70
2.6.4.17 Ventajas de las F.O.	71
2.6.4.18 Desventajas.	72
2.6.4.19 Ventajas de las comunicaciones por fibra óptica.	73
2.6.4.20 Comparación con otros medios de comunicación.	75
2.6.4.20.1 Comparación con los cables coaxiales.	75
2.6.4.21 Comunicaciones por satélite vs fibra óptica.	75
3. DISEÑO DEL PROYECTO	77
3.1 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.	78

3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO CODIFICADOR.	78
3.2.1 Parámetros.	78
3.2.2 Implementación.	79
3.2.3 Diseño del Circuito Modulador.	81
3.2.3.1 El diseño consta de dos partes.	81
3.2.3.2 Diseño de otra etapa para lograr el nivel de $-5V$.	83
3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DECODIFICADOR.	86
3.3.1 Parámetros.	86
3.3.2 Implementación.	87
3.3.3 Diseño del Circuito Demodulador.	89
3.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FIBRA ÓPTICA.	92
3.4.1 Parámetros de Diseño del Transmisor.	92
3.4.2 Parámetros de Diseño del Receptor	94
3.5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DEL PC.	95
3.5.1 Características del software.	95
3.5.2 Implementación.	96
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DESARROLLADO.	98
4.1 DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS	102
4.1.1 Descripción del circuito codificador.	102
4.1.1.1 Primer bloque.	104
4.1.1.2 Segundo bloque.	106
4.1.2 Descripción del circuito decodificador.	108

4.1.2.1 Bloque superior.	110
4.1.2.2 Bloque inferior.	110
4.1.3 Circuitos de enlace de fibra óptica.	111
4.2 Descripción De Los Programas De Los Microcontroladores	112
4.2.1 Descripción del programa del codificador en el Microcontrolador PIC 16f873.	112
4.2.1.1 Programación NRZ.	114
4.2.1.2 Programación RZ.	115
4.2.1.3 Programación de Manchester.	115
4.2.1.4 Programación de AMI.	116
4.2.1.5 Programación de CMI.	117
4.2.1.6 Programación de HDB3.	118
4.2.2 Descripción del programa del decodificador en el microcontrolador PIC16F873.	122
4.2.2.1 Decodificación de NRZ.	122
4.2.2.2 Decodificación de RZ.	124
4.2.2.3 Decodificación Manchester.	124
4.2.2.4 Decodificación CMI.	124
4.2.2.5 Decodificador de AMI.	125
4.2.2.6 Decodificador de HDB3.	126
4.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS PROGRAMAS	128
4.3.1 Ventana de configuración del hardware.	128

4.3.2 Simulador de códigos.	131
4.3.3 Simulador de espectros en frecuencia.	134
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	137
5.1 ANÁLISIS DE LOS CÓDIGOS	137
5.2 ANÁLISIS ESPECTRAL	138
5.2.1 Análisis espectral NRZ.	140
5.2.2 Análisis Espectral de RZ.	141
5.2.3 Análisis espectral de AMI.	142
5.2.4 Análisis espectral HDB3.	145
4.2.5 Análisis espectral CMI.	147
4.2.6 Análisis espectral Manchester	148
5.3 ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN UTILIZADOS.	149
5.3.1 STP.	149
5.3.2 Cable coaxial.	149
5.3.3 Fibra óptica.	149
5.4 RECUPERACIÓN DEL RELOJ.	151
5.5 TASA DE ERROR DE BITS	152
CONCLUSIONES	156
BIBLIOGRAFÍA	159
ANEXOS	161

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de comunicación.	6
Figura 2. Representación de una señal en los códigos NRZ, RZ y AMI.	9
Figura 3. Densidad espectral de los códigos de línea.	10
Figura 4. Codificación NRZ.	12
Figura 5. Espectro NRZ.	12
Figura 6. Codificación RZ.	13
Figura 7. Espectro RZ.	14
Figura 8. Codificación AMI.	15
Figura 9. Espectro AMI.	15
Figura 10. Codificación Manchester.	16
Figura 11. Espectro Manchester.	16
Figura 12. Codificación en Manchester y Manchester diferencial.	18
Figura 13. Codificación HDB3.	20
Figura 14. Espectro HDB3.	20
Figura 15. Comparación entre AMI y HDB3.	21
Figura 16. Codificación CMI.	22
Figura 17. Espectro CMI.	22
Figura 18. Análisis de luz blanca.	24
Figura 19. Síntesis de la luz blanca.	24
Figura 20. Diagrama de bloques del BER.	32

Figura 21. Medios guiados.	35
Figura 22. Partes del cable coaxial.	43
Figura 23. Enlace por Fibra Óptica.	54
Figura 24. Transmisores ópticos.	54
Figura 25. Diferentes LED.	25
Figura 26. Receptor PIN.	56
Figura 27. Receptor APD.	56
Figura 28. Cable de fibra óptica.	58
Figura 29. Fibra multimodo.	59
Figura 30. Fibra óptica multimodo.	60
Figura 31. Propagación de la luz en los tres tipos de fibras.	61
Figura 32. Atenuación Vs Frecuencia.	61
Figura 33. Fibra de varias hebras.	62
Figura 34. Jumper de fibra óptica.	63
Figura 35. Conectores.	63
Figura 36. Adaptadores	65
Figura 37. Perdida por curvatura.	68
Figura 38. Perdida por temperatura.	68
Figura 39. Medida de la atenuación.	69
Figura 40. Atenuación geométrica.	70

Figura 41. Repetidora de fibra óptica.	71
Figura 42.. Diagrama de bloques de la fuente de Alimentación.	77
Figura 43. Circuito de la fuente de alimentación.	78
Figura 44. Diagrama de bloques del circuito codificador.	79
Figura 45. Bloque generador de 5v en el modulador.	82
Figura 46. Bloque generador de 5v en el modulador, con diodo limitador.	82
Figura 47. Bloque generador de -5v en el modulador.	83
Figura 48. Bloque final que genera -5v en el modulador.	84
Figura 49. Diagrama del modulador.	85
Figura 50. Circuito codificador.	86
Figura 51. Diagrama de bloques del decodificador.	87
Figura 52. Etapa Demoduladora.	90
Figura 53. Demodulador Completo	91
Figura 54. Diagrama del Transmisor.	92
Figura 55. Diagrama de bloques de la transmisión por F.O.	93
Figura 56. Diagrama del circuito trasmisor para la fibra óptica.	94
Figura 57. Diagrama del circuito receptor para fibra óptica.	95
Figura 58. Ventana del Software.	97
Figura 59. Representación del equipo de prueba.	98
Figura 60. Diagrama de bloques del transmisor.	99
Figura 61. Diagrama de bloques del receptor.	100

Figura 62. Circuito codificador y transmisor.	102
Figura 63. Modulador.	104
Figura 64. Primer bloque del modulador.	104
Figura 65. Segundo bloque del modulador.	106
Figura 66. Circuito decodificador.	108
Figura 67. Demodulador del circuito receptor.	109
Figura 68. Circuitos trasmisor de fibra óptica.	111
Figura 69. Circuitos receptor de fibra óptica.	111
Figura 70. Interrupción Serial.	113
Figura 71. Interrupción de detección de reloj.	114
Figura 72. Interrupción para generar el código NRZ.	114
Figura 73. Interrupción para generar el código RZ.	115
Figura 74. Interrupción para generar el código MANCHESTER.	116
Figura 75. Interrupción para generar el código AMI.	117
Figura 76. Interrupción para generar el código CMI.	118
Figura 77. Interrupción para generar el código HDB3.	120
Figura 78. Codificación de HDB3.	121
Figura 79. Decodificación NRZ.	123
Figura 80. Decodificación CMI.	125
Figura 81. Decodificación AMI.	126
Figura 82. Decodificación HDB3.	127
Figura 83. Ventana de comunicación con el Hardware.	128

Figura 84. Bloque para configurar el puerto (Com).	128
Figura 85. Bloque para seleccionar medio de transmisión.	129
Figura 86. Bloque para seleccionar la velocidad de transmisión.	129
Figura 87. Bloque de codificación.	129
Figura 88. Bloque dato enviado.	130
Figura 89. Bloque dato recibido.	130
Figura 90. Botones de simulación.	130
Figura 91. Botón salir.	131
Figura 92. Bloque del BER.	131
Figura 93. Ventana del simulador de codificación.	132
Figura 94. Pantalla.	133
Figura 95. Botón Graficar.	133
Figura 96. Bloque selector de código.	133
Figura 97. Botón Ayuda.	134
Figura 98. Botón salir.	134
Figura 99. Ventana del simulador de análisis en frecuencia.	135
Figura 100. Bloque de selección de códigos.	135
Figura 101. Editor del código.	135
Figura 102. Numero de armónico.	136
Figura 103 Botón iniciar.	136
Figura 104. Botón salir.	136
Figura 105. Espectro NRZ.	140

Figura 106. Espectro de RZ.	141
Figura 107. Espectro de AMI sin valor de componente continua.	143
Figura 108. Espectro de AMI con valor pequeño de componente continua.	143
Figura 109. Espectro de AMI con componente continua.	144
Figura 110. Espectro HDB3.	145
Figura 111. Espectro HDB3 cuando se presenta violación.	146
Figura 112. Espectro de CMI.	147
Figura 113. Espectro de Manchester.	148

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Regla del código HDB3.	21
Cuadro 2. Ventajas e Inconvenientes de la fibra óptica.	73
Cuadro 3. Comparación entre fibra óptica y cable coaxial	75
Cuadro 4. Entradas y salidas del modulador.	85
Cuadro 5. Entradas y salidas del demodulador.	91
Cuadro 6. Entradas y salidas del modulador.	107
Cuadro 7. Entradas y salidas del demodulador.	110
Cuadro 8. Tabulación del BER para NRZ.	153
Cuadro 9. Tabulación del VER para RZ	153
Cuadro 10. Tabulación del BER para AMI.	154
Cuadro 11. Tabulación del BER para HDB3.	154
Cuadro 12. Tabulación de BER para CMI.	155
Cuadro 13. Tabulación del BER para MANCHESTER.	155

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Especificaciones del fabricante PIC 16F873.	162
Anexo B Especificaciones del fabricante de dispositivos utilizados.	171
Anexo C Especificación Medios de Transmisión utilizado.	183
Anexo D Especificación de los Conectores.	186

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todas las personas que de una u otra forma, colaboraron en la realización de este proyecto. A Luis F. Barrera(Telecom.- Cartagena), al ingeniero Elkin Romero(Telecartagena), al ingeniero electrónico Fabián Vergara (Telecom, Barranquilla), al ingeniero Oscar Santos (ENAP), a nuestro director William Velásquez Barrios y muy especialmente al ingeniero Alcides Ramos por su valiosa colaboración.

DEDICATORIA

A Dios, mi guía suprema,

A mis padres quienes me han ayudado incondicionalmente.

A mis hermanos, mi abuelita, a mis familiares y a Julián Andrés, quienes siempre me apoyaron y motivaron.

Miriam Elena Navarro Sotomayor

DEDICATORIA

A mi madre SARA MAJANA por brindándome su cariño, amor, ternura y afecto.

A mi padre, mis abuelas, mi hermana y demás familiares por haberme motivados.

Antonio Carlos Ballestas Majana.

GLOSARIO

AMI: Alternate Mark Inverted (Marca invertida alternada), código de señal digital.

ANCHO DE BANDA: Es el rango de frecuencia que un canal de comunicación puede transmitir; se obtiene la diferencia entre la frecuencia mayor y la menor.

ANGULO DE ACEPTACIÓN: Es el ángulo necesario para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior en una fibra óptica.

APANTALLAMIENTO: Es el trenzado o malla de metal (u otro material) que rodea algunos tipos de cable. Este protege los datos transmitidos absorbiendo el ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos.

APERTURA NUMÉRICA: Es el seno del ángulo de aceptación.

ATM: Modo de transmisión asíncrona.

BANDA ANCHA: Sistema a través del cual se transmite información a muy alta velocidad. Puede incluir la transmisión simultánea de varios servicios como video, voz y datos.

BANDA BASE: Banda de baja frecuencia que ocupan las señales antes de modular la señal portadora de transmisión.

BIT: Mínima unidad que conforma la información digital, representada como un uno (1) o un cero (0); Se representa como apagado o prendido, así como voltaje alto o bajo.

BER (BIT ERROR RATE): Tasa de bits erróneos. Relación del número de bits erróneos al total de bits transmitidos en un determinado intervalo de tiempo.

BNC: Es el conector para realizar las conexiones entre el cable y los equipos. El origen de las siglas BNC no está claro, y se le han atribuido muchos nombres, desde «British Naval Connector» a «Bayonet Neill-Councilman».

BODY: Es el cuerpo del conector de fibra óptica.

BOOT: Es el mango de la fibra óptica.

BPS: Bits por Segundo, bits transmitidos en un Segundo.

CABLE THICKNET: es un cable coaxial relativamente rígido de aproximadamente 1,27 centímetros (0,5 pulgadas) de diámetro. También se le denomina Ethernet estándar debido a que fue el primer tipo de cable utilizado con la conocida arquitectura de red Ethernet.

CABLE THINNET: Es un cable coaxial flexible de unos 0,64 centímetros de grueso (0,25 pulgadas). Se puede utilizar para la mayoría de los tipos de instalaciones de redes.

CANAL: Es el enlace lógico existente entre el transmisor y el receptor.

CAPACIDAD DE UN CANAL: La capacidad de un canal es medida por el número de bits por segundos (bps), que puede transportar; y es directamente proporcional al ancho de banda.

CITT: Comité consultivo internacional para telefonía y telegrafía.

CMI: Coded Mark Inversión (Inversión De Marca Codificada). Código de una señal digital.

CÓDIGO: Conjunto de normas que especifican en que forma se han de representar los caracteres y como se han de tratar las diferentes señales que componen un bloque.

CÓDIGOS DE LINEA: Es la asignación de formas de ondas arbitrarias para los unos y ceros.

CÓDIGO DE LÍNEA EN BANDA BASE: Es la codificación que se realiza sin que exista una modulación.

COMUNICACIÓN: Dar o intercambiar información.

CORE: Es el núcleo del cable de fibra óptica.

CLADDING: Es el recubrimiento del cable de fibra óptica.

DEMODULACION: Proceso que permite recuperar los datos a partir de la señal portadora modulada por el correspondiente mensaje. Es el proceso inverso a la modulación.

DISTORSIÓN: Alteración producida en la forma de la señal transmitida, debida a cambios de amplitud, frecuencia o fase, que pueden dar lugares a errores en su interpretación si son de la suficiente magnitud.

HDB3: High Density Bipolar-3 Zeros (Alta densidad bipolar- 3 cero) código de señal digital.

HZ, HERTZ: Unidad que se utiliza para expresar la frecuencia y equivale a un ciclo por segundo (1Hz=1cps).

LD: Diodo láser utilizado en transmisor óptico, usualmente fabricados a partir de materiales semiconductores.

MEDIO DE TRANSMISIÓN: Elemento de una comunicación por el cual viaja la información entre el transmisor y el receptor utilizando corriente eléctrica o pulsos luminosos.

NRZ: No Return to Zero (No retorno a cero), código de una señal digital.

PATCHCORD: Cable de fibra óptica, en donde ambos extremos constan de conectores.

PIGTAIL: Cable de fibra óptica, en donde solo un extremo consta de conector.

PLENUM: Tipo de cable coaxial que contiene materiales especiales en su aislamiento y en la clavija del cable, el cableado plenum es más caro y menos flexible que el PVC, utilizado cuando existen riesgos de incendio y gases en el ambiente.

PVC: Cloruro de polivinilo. Es un tipo de plástico utilizado para construir el aislante y la clavija del cable en la mayoría de los tipos de cable coaxial.

RZ: Return to Zero (Retorno a cero), código de una señal digital.

SEÑAL BIPOLAR: Tensión positiva y negativa, se codifica un 1 como una tensión positiva y un 0 como negativa o al contrario.

SEÑAL DIGITAL: Es un tipo de señal que varía discretamente, formando pulsos eléctricos de muy breve duración.

SEÑAL UNIPOLAR: Es la señal que contiene una tensión siempre del mismo signo.

STP: Par trenzado apantallado.

TRANSMISIÓN ASINCRÓNICA: Transmisión en que la sincronización se hace carácter por carácter para lo cual cada carácter se inicia y termina con un bit específico.

UIT: Unión internacional de telecomunicaciones.

UTP: Par trenzado sin apantallar.

VENTANA DE TRABAJO: Es un parámetro extrínseco a la fibra óptica. Se refiere a la longitud de onda central de la fuente luminosa que utilizamos para transmitir la información a lo largo de la fibra óptica.

VIOLACIÓN DE CÓDIGO: Es el que sucede en el código HDB3 cuando aparecen más de tres "0" consecutivos, se inserta automáticamente un "1" en lugar de un cuarto cero, para poder así reconocerlo en recepción y eliminarlo.

RESUMEN

TITULO: ELABORACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARA LA
TRANSMISIÓN DIGITAL DE SEÑALES

AUTORES: MIRIAM ELENA NAVARRO SOTOMAYOR
ANTONIO CARLOS BALLESTAS MAJANA

OBJETIVO GENERAL: Elaborar un banco de pruebas para la transmisión digital de señales, mediante la programación del PIC 16F873, utilizando diferentes medios de transmisión.

METODOLOGÍA: Investigación aplicada al desarrollo tecnológico, orientada hacia la parte instructiva de las telecomunicaciones.

RESULTADOS: Con este proyecto se busca mejorar el proceso enseñanza aprendizaje que se promueve en la CUTB; el alumno contará con una banco de pruebas que permite observar señales digitales codificadas y decodificadas en NRZ, RZ, AMI, HDB3, AMI y Manchester; para esto se programó debidamente el PIC 16f873, el cual cumple las exigencias del proyecto. Se analizan las características de cada código, teniendo en cuenta el medio de transmisión utilizado y la velocidad de transmisión.

El dato a codificar se introducirá por medio de un computador que estará intercomunicado a través del puerto serial RS-232 con un microcontrolador (PIC1 16F873). En una ventana diseñada especialmente, se puede introducir el dato, escoger la velocidad a la que se va a transmitir, el código empleado para la transmisión, el medio por el cual se va a transmitir y obtener el dato del receptor. Este último será procesado mediante otro microcontrolador (PIC2 16F873). Para escoger el medio de transmisión (cable coaxial, UTP y fibra óptica), se cuenta con un multiplexor/demultiplexor, controlado por el microcontrolador. Otro multiplexor/demultiplexor será manejado por el mismo PIC para escoger el decodificador, que será el mismo seleccionado en el codificador. Este dato final es procesado en el PIC2 para luego ser llevado a la pantalla del computador por medio del puerto serial, y proceder a calcular la tasa de error de transmisión (BER). Además de esto el equipo cuenta con terminales de prueba antes y después del medio de transmisión, para colocar osciloscopios y visualizar la señal. Además se cuenta con dos simuladores en Delphi, uno que se encarga de simular la codificación de cada dato de ocho bits que se desee estudiar, y otro en donde se simulan los espectros en frecuencia de códigos de ocho bits.

DIRECTOR : WILLIAM VELÁSQUEZ BARRIOS

Ingeniero Electrónico

Docente

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

INTRODUCCION

Nuestro trabajo de grado consiste fundamentalmente en implementar un banco de pruebas donde el estudiante pueda aprender y comprobar los diferentes códigos de línea utilizado para la transmisión de señales digitales en el campo de la telecomunicación.

A la asignación de formas de ondas arbitrarias para los unos y ceros se le llama Codificación de línea.

La transmisión de datos en forma digital a través de cualquier medio de transmisión implica una cierta codificación. A esta codificación que se realiza sin que exista una modulación se le conoce como un código de línea en banda base. Entre estos existen varios métodos o esquemas de codificación los cuales cuentan con diferentes características como un nivel de corriente directa presente, la opción de detección de errores, inmunidad a la inversión (por si se invierte involuntariamente la polaridad), entre otros; Estos códigos se podrán simular en el software llamado simulador de códigos, que también cuenta con ayudas que dan a conocer la correcta utilización del hardware, teoría de los medios de transmisión utilizados, análisis frecuencial de señales y la codificación de códigos. También se cuenta con un programa encargado de simular los espectros del dato deseado.

2. ANTECEDENTES, EL PROBLEMA Y LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

La transmisión digital es superior a la analógica, desde varios puntos de vista importantes; esto se debe a las ventajas que ofrece, como la alta inmunidad al ruido, la disponibilidad de circuitos electrónicos, facilidad de regeneración, entre otros.

A pesar de lo anterior, la comunicación digital solo ha evolucionado notablemente en los años posteriores a la aparición de los semiconductores y de los circuitos integrados.

Para la óptima transmisión de este tipo de señales se hace necesaria la conversión de la misma en diferentes códigos, tales como Manchester, NRZ, AMI, etc, los cuales se seleccionan dependiendo del medio de transmisión adoptado. En la actualidad la universidad no cuenta con esta información en forma compacta, además no se conoce de manera palpable los circuitos que hacen posible la codificación digital.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. Actualmente los estudiantes de la CUTB no cuentan con la facilidad de conocer en forma real, las características de

los tipos de codificación existentes, así como la influencia del medio de transmisión utilizado para la calidad de la señal recibida.

Ofreciendo una solución a dicha necesidad se implementará un banco de pruebas para la transmisión de señales digitales, sirviendo éste como apoyo de las asignaturas de comunicaciones II, señales y sistemas y telemática, reforzando así los conocimientos teóricos aprendidos en la aula de clase.

1.2.2 Formulación del Problema. ¿Cuál debe ser la estrategia que permita afianzar el conocimiento y aclarar las dudas con respecto a la transmisión de señales digitales, a los estudiantes que cursan las asignaturas comunicaciones II, telemática y señales y sistemas?

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La terminología y los conceptos empleados utilizando diferentes códigos de transmisión digital es considerada de gran abstracción; Por lo tanto se hace necesario que el laboratorio de electrónica de la CUTB cuente con un banco de pruebas para la transmisión digital de señales, utilizando diferentes tipos de codificación y que además tenga en cuenta en que aspecto influye el medio de transmisión utilizado en la calidad de la señal recibida.

Con esto se facilitara la comprensión, ampliación y consolidación de los conocimientos adquiridos en clase, permitiendo así un confrontamiento entre la teoría y la práctica en las materias que involucren dicho tema, lo cual haría mas profundo y completo el proceso de enseñanza aprendizaje que promueve la CUTB.

2.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto se utilizará la investigación descriptiva y la investigación cuasi-experimental.

2.5 IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN

La universidad dispondrá de un valioso equipo de laboratorio que realizará la codificación y decodificación de señales digitales, y de una simulación en el computador de la práctica, con su respectiva ayuda de usuario, lo que ayudará en el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de las asignaturas involucradas.

2.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo General. Elaborar un banco de pruebas para la transmisión digital de señales, mediante la programación del PIC 16F873, utilizando diferentes medios de transmisión.

1.6.2 Objetivos Específicos. Realizar la codificación y decodificación de códigos digitales y mediante el PIC 16F873. Los códigos serán NRZ, RZ, AMI, HDB3, MANCHESTER y CMI.

- Desarrollar un software que permita la correcta utilización del banco de pruebas y que además sirva de guía teórica del tema tratado.
- Analizar el espectro en frecuencia de las señales en los diferentes códigos mediante simulaciones.

- Estudiar la influencia que tiene los diferentes medios de transmisión en la señal tratada.
- Comparar la tasa de error de transmisión de los diferentes códigos utilizados.

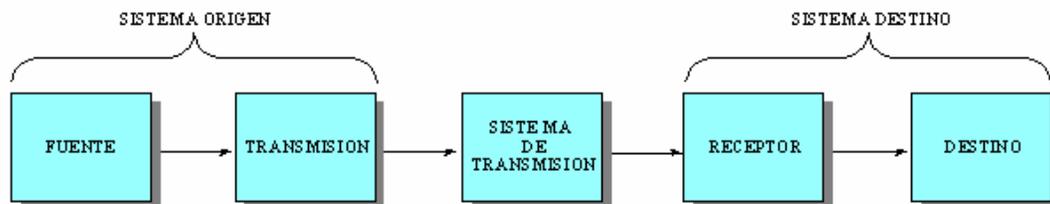
2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

El objetivo principal de todos los sistemas de comunicaciones es intercambiar información entre entidades. La figura 1 muestra un ejemplo general de un sistema de comunicación.

Figura 1. Sistema de comunicación.



Un ejemplo consiste en el intercambio de señales de voz entre dos teléfonos a través de una red.

Los elementos clave en un modelo de transmisión son los siguientes:

2.1.1 La fuente. Este dispositivo genera los datos a transmitir: por ejemplo teléfonos o computadores personales.

2.1.2 El transmisor. Generalmente los datos generados por la fuente no se transmiten directamente tal y como son generados. Al contrario, el transmisor transforma y codifica la información, generando señales electromagnéticas susceptibles de ser y transmitidas a través de algún sistema de comunicación. Como ejemplo, un modem convierte las cadenas de bits

generadas por un computador y la transforma en señales analógicas que pueden ser transmitidas a través de la red telefónica.

2.1.3 El sistema de transmisión. Puede ser una sencilla línea de transmisión o una compleja red que conecte a la fuente con el destino.

2.1.4 El receptor. El cual acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino. Por ejemplo, un modem captará la señal analógica de la red o línea de transmisión y la convertirá en una cadena de bits.

2.1.5 El destino. Que toma los datos del receptor.

2.2 DATOS DIGITALES, SEÑALES DIGITALES

Una señal digital consiste en una serie de pulsos de tensión. Para datos digitales no hay más que codificar cada pulso como bit de datos. En una señal unipolar (tensión siempre del mismo signo) habrá que codificar un 0 como una tensión baja y un 1 como una tensión alta (o al contrario). En una señal bipolar (positiva y negativa), se codifica un 1 como una tensión positiva y un 0 como negativa (o al contrario).

Los factores a tener en cuenta para utilizar un buen sistema de codificación son:

2.2.1 Espectro de la señal. La ausencia de componentes de altas frecuencias, disminuye el ancho de banda. La presencia de componente continua en la señal obliga a mantener una conexión física directa (propensa

a algunas interferencias). Se debe concentrar la energía de la señal en el centro de la banda para que las interferencias sean las menores posibles.

2.2.2 Sincronización. Para separar un bit de otro, se puede utilizar una señal separada de reloj (lo cuál es muy costoso y lento) o bien que la propia señal porte la sincronización, lo cuál implica un sistema de codificación adecuado.

2.2.3 Detección de errores. Es necesaria la detección de errores en la capa física.

2.2.4 Inmunidad al ruido e interferencias. Hay códigos más robustos al ruido que otros.

2.2.5 Coste y complejidad. El coste aumenta con el aumento de la razón de elementos de señal.

2.3 CÓDIGOS DE LINEA

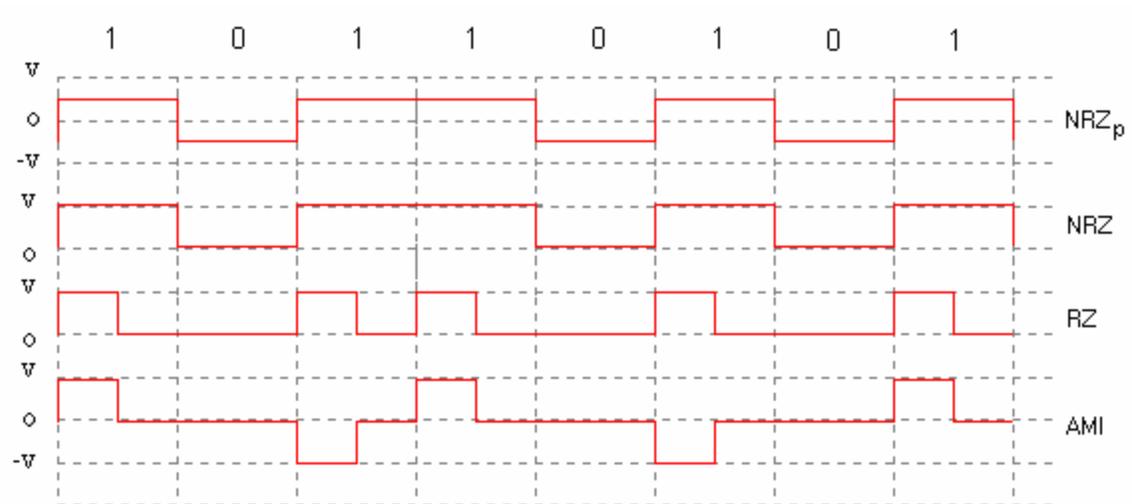
A la asignación de formas de ondas arbitrarias para los unos y ceros se le llama Codificación de línea.

La transmisión de datos en forma digital a través de cualquier medio de transmisión implica una cierta codificación. Si esta codificación se realiza sin que exista una modulación se le conoce como un código de línea en banda base. Entre estos existen varios métodos o esquemas de codificación los cuales cuentan con diferentes características como un nivel de corriente directa presente, la opción de detección de errores, inmunidad a la inversión

(por si se invierte involuntariamente la polaridad). Uno de los efectos más importantes de la codificación de línea es el ancho de banda.

Observe las siguientes formas de representar los unos y ceros:

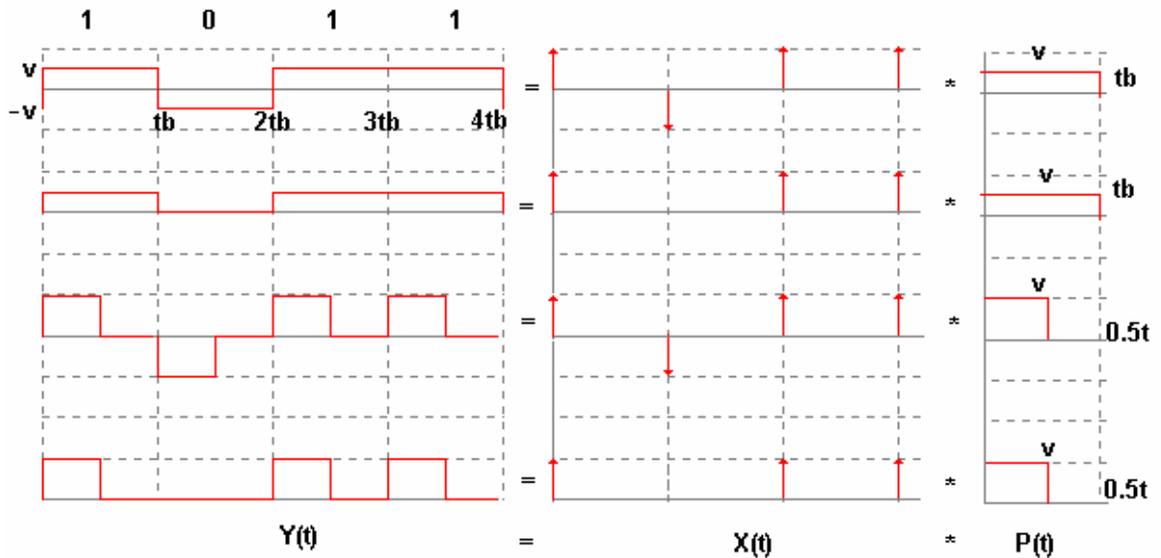
Figura 2. Representación de una señal en los códigos NRZ, RZ y AMI.



El código AMI permite detectar algunos errores de transmisión al detectarse la violación del mismo (2 unos seguidos con un mismo nivel).

Para conseguir la densidad espectral de los diferentes códigos de línea la representaremos como sigue:

Figura 3. Densidad espectral de los códigos de línea.



Algunas características importantes de cada código se pueden visualizar fácilmente en su función espectral, lo que será estudiado más adelante; se observa que la transformada rápida de Fourier (fft) será utilizada para analizar los espectros. Se hará una descripción detallada de los códigos:

2.3.1 Código NRZ (no retorno a cero). Esta señal es la más cómoda desde el punto de vista circuital, porque todos los circuitos lógicos funcionan según el principio SI/NO y por tanto el código NRZ es el que es el que se usa en el interior de los equipos. En la señal se observa que todos los bits 1 son representados por un nivel de voltaje del mismo valor positivo por lo que su espectro presenta una componente continua, mientras que el cero es representado por la ausencia de nivel. En la figura 4 se ha supuesto una frecuencia de repetición del reloj de 34MHz (F_{re}) y sabiendo que una onda cuadrada está formada por la superposición de n -armónicos, todos de orden

impar, la frecuencia fundamental será de 17MHz, el tercer armónico de 51MHz, el quinto de 85MHz y así sucesivamente. Concluyendo que no existe ningún armónico a la frecuencia de reloj, por lo que es imposible extraer en recepción el reloj de la señal recibida, y por tanto si se usa este código, es necesario transmitir también aparte la señal de reloj. Un estudio espectral más profundo de cada código se hará en otro capítulo.

Existe un código NRZ especial, denominado código de no retorno a cero invertido (NRZI), representa la información por cambio de niveles. De esta manera, un bit cero (0) es representado por un nivel de voltaje, mientras que el 1 es representado por la presencia del mismo. Los dos mantienen constante el nivel de tensión mientras dura un bit. Una ventaja de este esquema es que en presencia de ruido puede ser más seguro detectar una transición en lugar de comparar valor con un umbral. Otra ventaja es que en un sistema complicado de transmisión, no es difícil perder la polaridad de la señal.

La principal limitación de las señales NRZ es la presencia de una componente continua y la ausencia de capacidad de sincronización. Estos métodos no ofrecen al receptor un medio para determinar el ritmo con el que el emisor envía los bits, es decir, el ritmo del reloj del emisor.

Debido a su sencillez y a la respuesta en bajas frecuencias, los códigos NRZ se usan con frecuencia en las grabaciones magnéticas. No obstante, sus limitaciones hacen que este código no sea atractivo para aplicaciones de transmisión de señales.

Figura 4. Codificación NRZ.

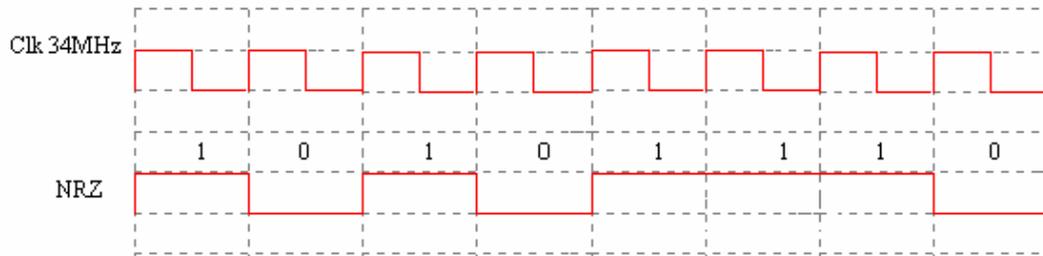
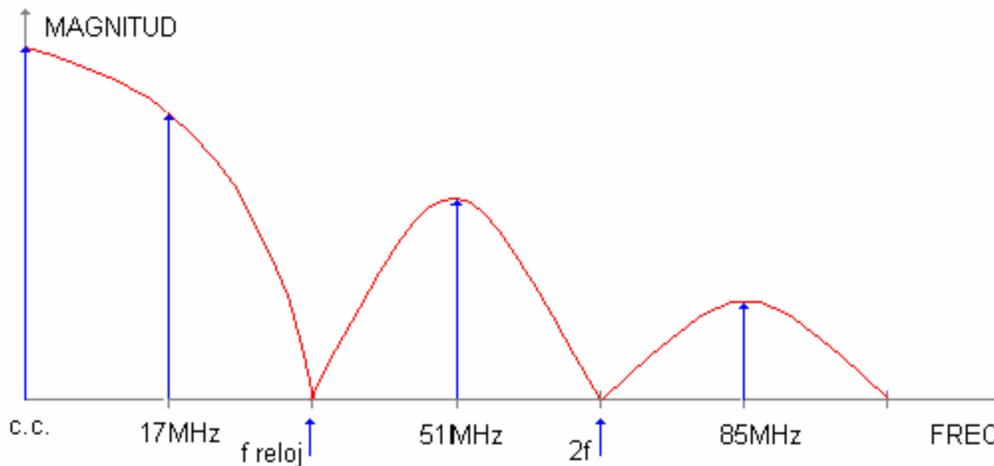


Figura 5. Espectro NRZ.



2.3.2 Código retorno a cero (RZ). Otro tipo de código es el llamado Retorno a Cero o RZ.

RZ acrónimo de "Return to Zero" es un código similar al NRZ pero con la duración de los impulsos reducida a la mitad. También este código es cómodo desde el punto de vista circuital, porque todos los circuitos lógicos funcionan bajo el principio S-FNO, y por tanto RZ es otro código usado en el interior de los equipos.

En la figura 6 se observa que todos los bits tienen la misma polaridad positiva por lo que en su espectro, representado en la figura 7, existe una componente continua. Además se observa que el armónico fundamental tendrá la misma frecuencia del reloj, 34MHz. El tercer armónico 102MHz y así sucesivamente.

La ventaja de este código es que tiene grabado el reloj de lectura y permite diferenciar entre el "1" y el "0". Sin embargo para secuencias muy largas de cero, sería imposible extraer el reloj durante todo este periodo. Su inconveniente es que se desperdicia mucho espacio, pues las zonas existentes entre cada dos dominios no guardan información, con lo que la densidad de almacenamiento que es posible alcanzar, es muy baja.

Figura 6. Codificación RZ

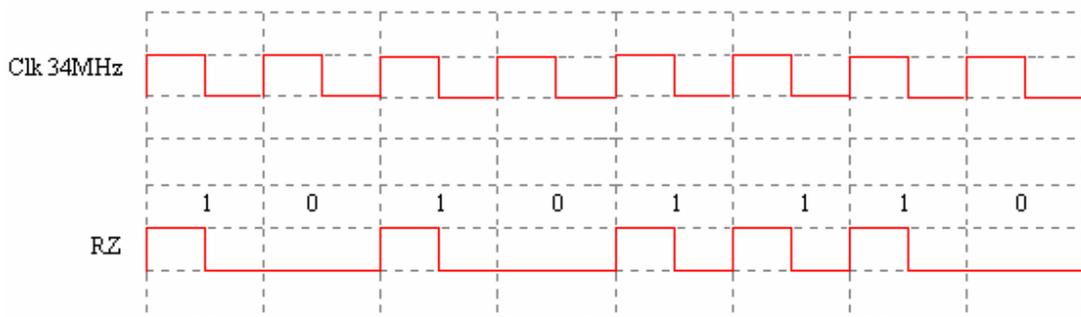
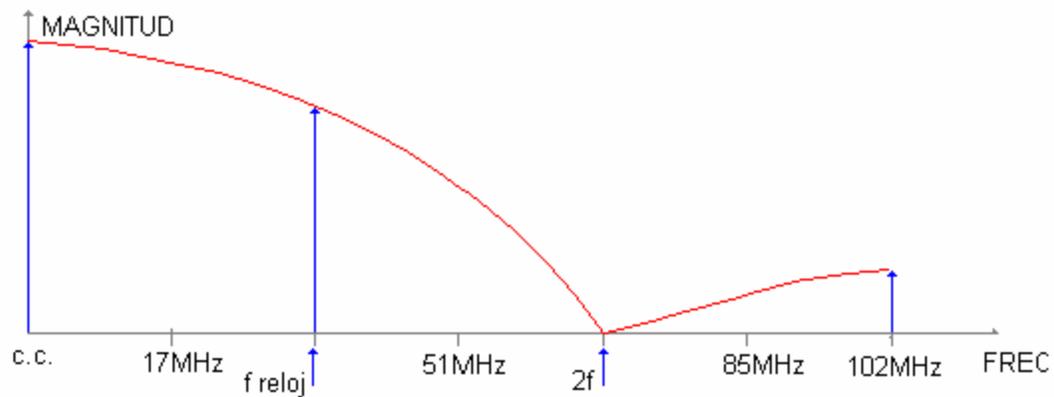


Figura 7. Espectro RZ.



2.3.3 AMI Transmisión Bipolar o AMI (Alternate Mark Inverted) En el código AMI un 0 binario se representa por ausencia de señal y el 1 binario por pulsos de polaridad alternante (positivo o negativo). Este tipo de esquema ofrece la ventaja de que la sincronización es más fácil, de hecho, sólo la aparición de largas cadenas de ceros la dificulta. Además, no hay componentes de continua en la señal debido a la alternancia de los pulsos. La alternancia de los unos facilita la detección de errores. Dos valores positivos sin alternancia entre ellos serán interpretados como un error en la línea. El formato Bipolar es en realidad una señal de tres estados (+V, 0,-V). Es uno de los códigos más empleados en la transmisión digital a través de redes WAN.

La ausencia aparente de la frecuencia de reloj en el espectro de esta señal se puede evitar rectificando la señal recibida para hacer positivos los "1" negativos.

Figura 8. Codificación AMI

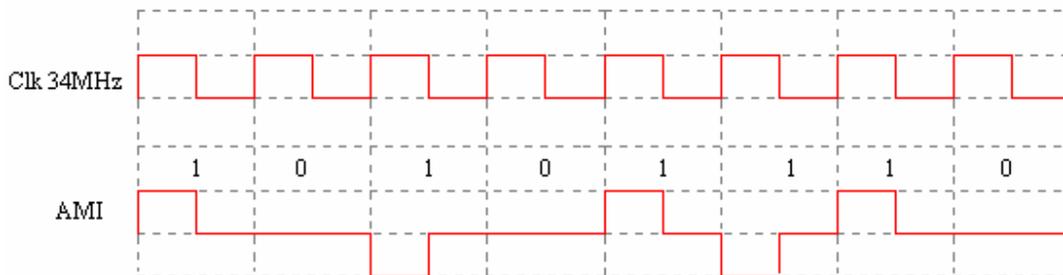
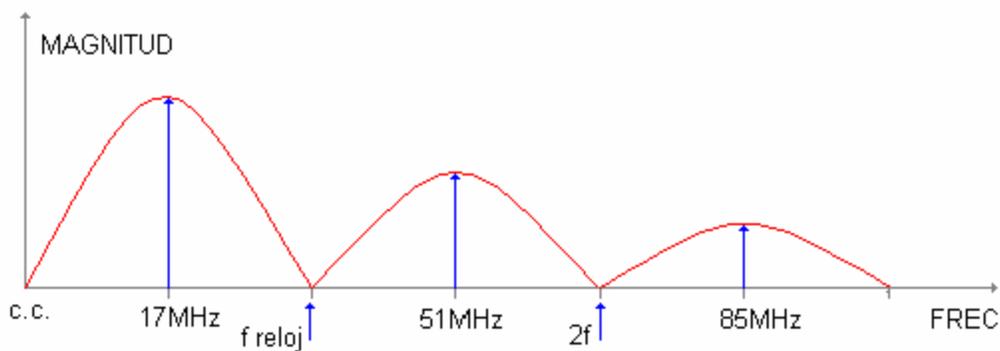


Figura 9. Espectro AMI.



Este tipo de esquema tiene las siguientes ventajas:

- En primer lugar, no habrá problemas de sincronización en el caso de que haya una cadena larga de 1(unos). Cada 1 fuerza una transición por lo que el receptor se puede sincronizar en dicha transición. Una cadena larga de ceros todavía es un problema.
- En segundo lugar, ya que los elementos de señal correspondientes a 1 alternan el nivel de tensión, no hay componente continua. Además, el ancho de banda de la señal resultante es considerablemente menor que el correspondiente a NRZ.

- Por último, la alternancia entre los pulsos proporciona una forma sencilla de detectar errores. Cualquier error aislado, tanto si elimina como si introduce un pulso, significa un incumplimiento de dicha propiedad.

2.3.4 Codificación de línea Manchester y diferencial Manchester. En la codificación Manchester, cada período de un bit se divide en dos intervalos iguales. Un bit binario de valor 1 se transmite con valor de tensión positivo en el primer intervalo y un valor negativo en el segundo. Un bit 0 se envía al contrario, es decir, una tensión negativa seguida de un nivel de tensión positiva.

Figura 10. Codificación Manchester.

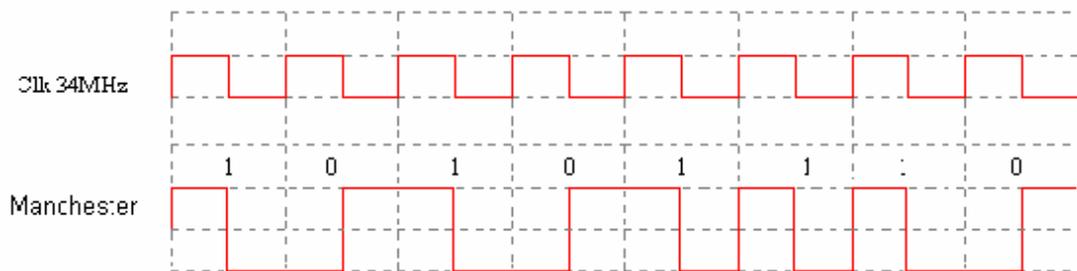
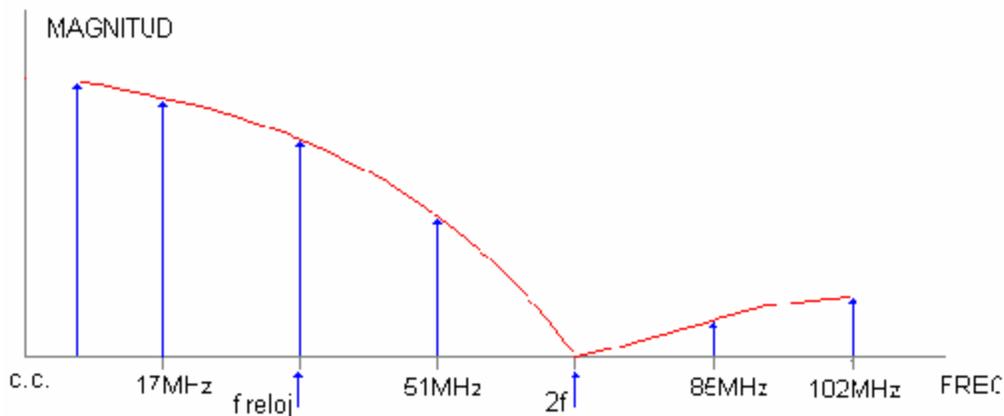


Figura 11. Espectro Manchester.



Este esquema asegura que todos los bits presentan una transición en la parte media, proporcionando así un excelente sincronismo entre el receptor y el transmisor. Una desventaja de este tipo de transmisión es que se necesita el doble del ancho de banda para la misma información que el método convencional.

La codificación diferencial Manchester es una variación puesto que en ella, un bit de valor 1 se indica por la ausencia de transición al inicio del intervalo, mientras que un bit 0 se indica por la presencia de una transición en el inicio, existiendo siempre una transición en el centro del intervalo. El esquema diferencial requiere un equipo más sofisticado, pero ofrece una mayor inmunidad al ruido. El Manchester Diferencial tiene como ventajas adicionales las derivadas de la utilización de una aproximación diferencial.

Todas las técnicas bifase fuerzan al menos una transición por cada bit pudiendo tener hasta dos en ese mismo periodo.

Por tanto, la máxima velocidad de modulación es el doble que en los NRZ, esto significa que el ancho de banda necesario es mayor. No obstante, los esquemas bifase tienen varias ventajas:

- Sincronización: debido a la transición que siempre ocurre durante el intervalo de duración correspondiente a un bit, el receptor puede sincronizarse usando dicha transición. Debido a esta característica, los códigos bifase se denominan autosincronizados.
- No tienen componente en continua.

2.3.5 Código HDB3. El código HDB3 pertenece a los códigos de línea llamados Técnica de Altibajos.

Consisten en sustituir secuencias de bits que provocan niveles de tensión constantes por otras que garantizan la anulación de la componente continua y la sincronización del receptor. La longitud de la secuencia queda inalterada, por lo que la velocidad de transmisión de datos es la misma; además el receptor debe ser capaz de reconocer estas secuencias de datos especiales.

Los objetivos en el diseño de estas técnicas son:

- Evitar la componente en continua.
- Evitar las secuencias largas que correspondan a señales de tensión nula.
- No reducir la velocidad de datos.
- Capacidad para detectar errores.

En el esquema HDB3 (figura 13), se reemplazan las cadenas de cuatro ceros por cadenas que contienen uno o dos pulsos. Es decir, cuando aparecen más de tres "0" consecutivos, se inserta automáticamente un "1" en lugar de un cuarto cero, violando sin embargo la polaridad (es decir se inserta un "1" con la misma polaridad del último "1" transmitido), para poder así reconocerlo en recepción y eliminarlo. Este procedimiento se denomina **violación de código**. Sin embargo, si entre dos violaciones sucesivas no hay "1", o bien hay un número par de "1" se inserta un bit adicional, para mantener nula la componente continua.

En las violaciones, se considera también necesario mantener las polaridades alternantes y así no introducir componente en continua. Si la última violación

fue positiva, la siguiente debe ser negativa y viceversa. Esta condición se determina dependiendo si el número de pulsos desde la última violación es par o impar y dependiendo de la polaridad del último pulso anterior a la aparición de los cuatro ceros.

Figura 13. Codificación HDB3

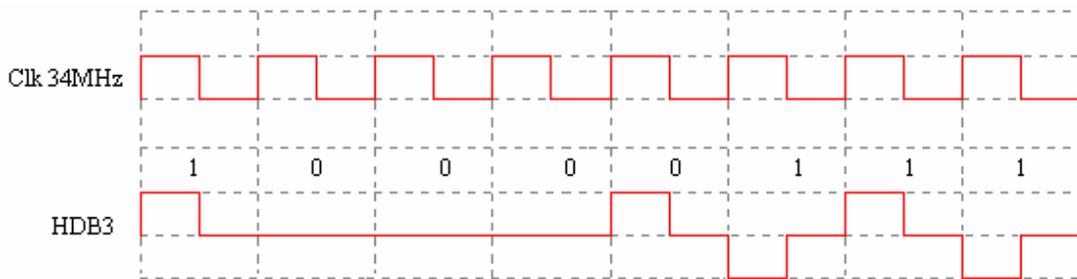
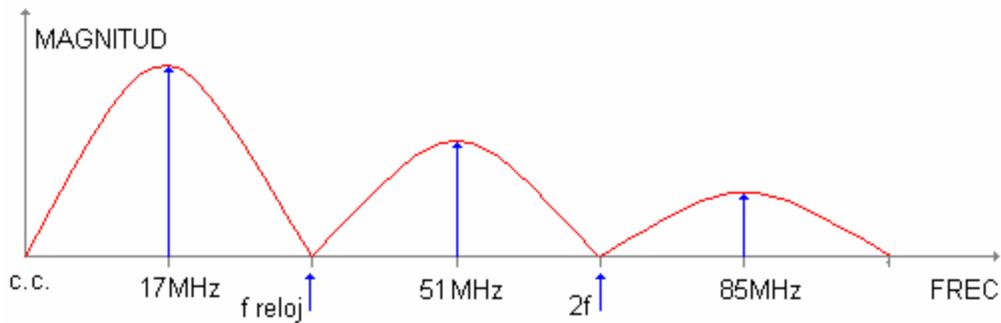


Figura 14. Espectro HDB3.



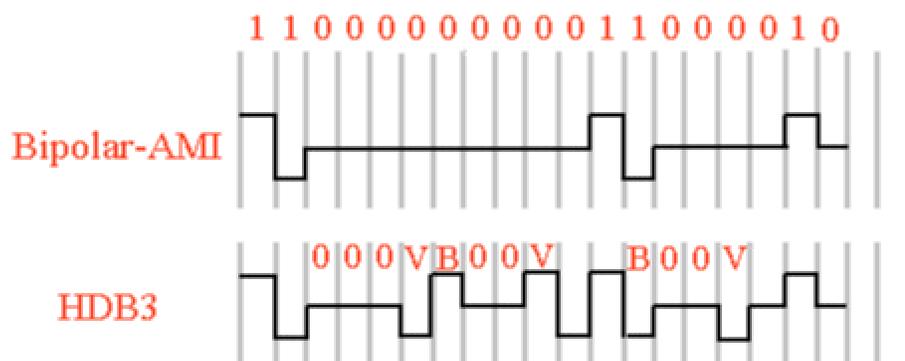
La mayor parte de la energía se concentra en una región estrecha en torno a la frecuencia correspondiente a la mitad de la razón de datos. Por tanto, estos códigos son adecuados para la transmisión a altas velocidades.

Cuadro 1. Regla del código HDB3

Número de 1s desde la última sustitución	PAR	IMPAR
Pulso anterior positivo	+ 00 +	+ 000 +
Pulso anterior negativo	- 00 -	- 000 -

Un ejemplo de una señal codificada con HDB3, comparada con AMI es la siguiente:

FIGURA 15. Comparación entre AMI y HDB3.



2.3.6 CMI (Coded Mark Inversión – Inversión De Marca Codificada)

La UIT recomienda usar este código para la transmisión de señales a 139,263Mb/s, se obtiene representando alternativamente los bits “1” con nivel alto (+1) y bajo (-1). En cambio cada bit “0” se representa con valor bajo la primera mitad del ciclo y con valor alto en la segunda mitad, independientemente del valor precedente.

Figura 16. Codificación CMI

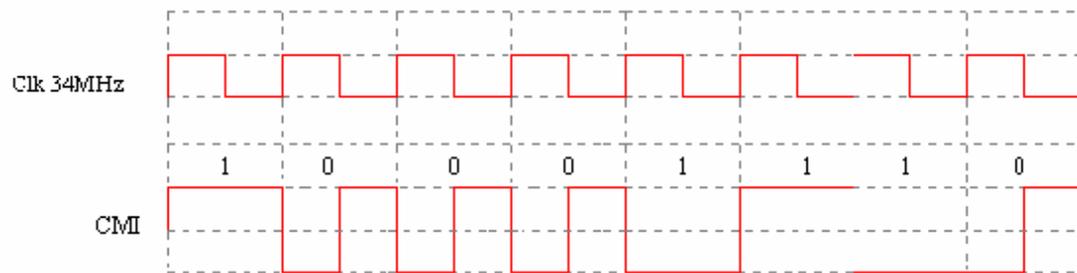
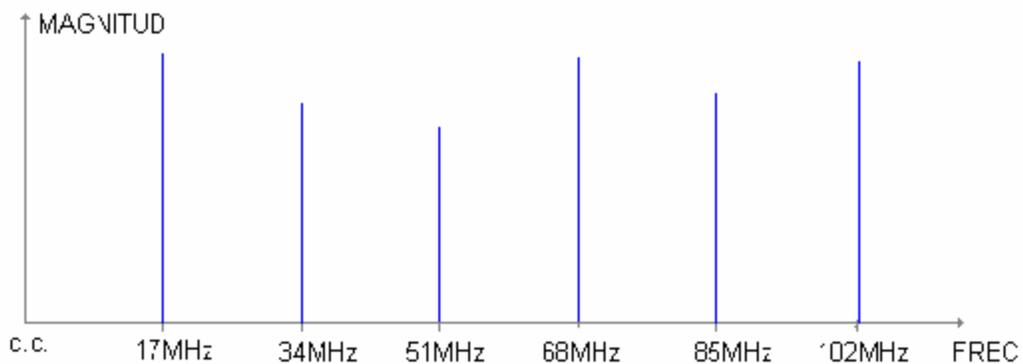


Figura 17. Espectro CMI.



Teóricamente, El reloj se puede extraer fácilmente, dado el número de transiciones y no tiene componente continua.

Este código se emplea debido a la facilidad que presenta en la realización de las redes de codificación y decodificación; no obstante, tiene una ocupación espectral superior al HDB3.

2.4 ANÁLISIS FRECUENCIAL DE SEÑALES

2.4.1 Concepto de análisis frecuencial. **Es bien sabido que se puede usar un prisma para descomponer la luz blanca (luz solar) en los colores del arco iris (ver figura**

18). En un artículo enviado en 1672 a la Royal Society, Isaac Newton empleó el término espectro para describir las bandas continuas de colores producidas por este aparato. Para entender este fenómeno, Newton colocó otro prisma invertido con respecto al primero y demostró que los colores volvían a mezclarse para producir luz blanca, como en la figura 19.

Figura 18. **Análisis de la luz blanca usando prismas de vidrio.**

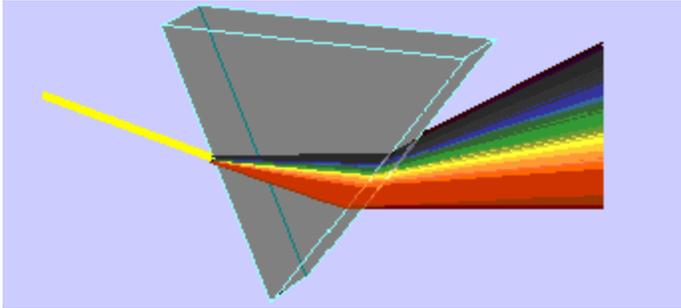
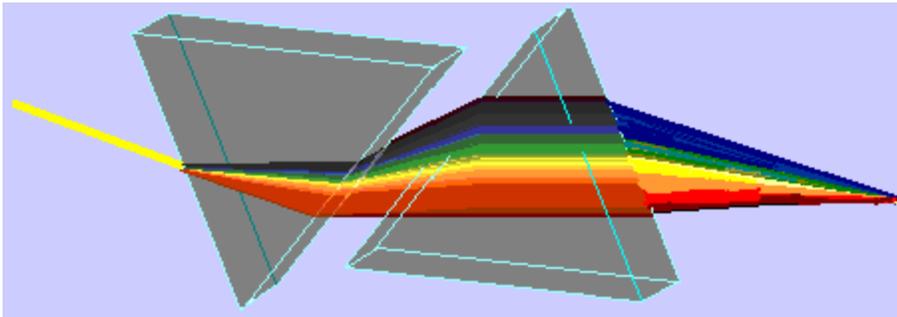


Figura 19. **Síntesis de la luz blanca usando prismas de vidrio.**



Insertando una ranura entre los dos prismas y bloqueando la incidencia de uno o más colores sobre el segundo prisma, mostró que la luz vuelta a combinar ya no era blanca. Por tanto, la luz que pasa a través del primer prisma es simplemente descompuesta en sus colores componentes sin ningún otro cambio. Sin embargo, sólo si volvemos a mezclar otra vez todos los colores obtenemos la luz original.

Más tarde, Joseph Fraunhofer (1787-1826), cuando realizaba mediciones de la luz emitida por el sol y las estrellas, descubrió que el espectro de la luz observada contenía líneas de colores diferentes. Unos años después, a mediados del siglo XVIII, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen descubrieron que

cada elemento químico, cuando era calentado hasta la incandescencia, radiaba su propio color de luz. Como consecuencia, cada elemento químico se puede identificar mediante sus propias *líneas espectrales*.

De la Física sabemos que cada color se corresponde con una frecuencia específica del espectro visible. De hecho, la descomposición de la luz en sus colores es una forma de *análisis frecuencial*.

El análisis frecuencial de una señal conlleva la separación de la señal en sus Componentes (sinusoidales) frecuenciales. En lugar de luz, nuestras formas de onda son básicamente funciones temporales. El papel del prisma es desempeñado por las herramientas de análisis de Fourier que se desarrollará; las series de Fourier y la transformada de Fourier. La recombinación de las componentes sinusoidales para reconstruir la señal original es básicamente un problema de síntesis de Fourier. El problema del análisis de señales es básicamente idéntico para el caso de una forma de onda y el de la luz procedente de compuestos químicos calentados. Como en el caso de compuestos químicos, formas de onda diferentes tienen diferentes espectros. Por ello, el espectro provee una "identidad" o firma de la señal en el sentido de que ninguna otra señal tiene el mismo espectro. Como veremos, este atributo está relacionado con el tratamiento matemático de las técnicas en el dominio de la frecuencia.

Si descomponemos una forma de onda en sus componentes sinusoidales, de forma similar a como un prisma separa la luz blanca en sus diferentes colores, la suma de estas componente sinusoidales resulta en la forma de

onda original. Por otra parte, si alguna de estas componentes desaparece, el resultado es una señal diferente.

En este tratamiento del análisis frecuencial, se desarrollaron las herramientas matemáticas adecuadas (“prismas”) para la descomposición de señales (“luz”) en componentes frecuenciales sinusoidales (colores). Además, desarrollaremos las herramientas (“prismas invertidos”) para la síntesis de una señal dada a partir de sus componentes frecuenciales.

El objetivo básico al desarrollar herramientas de análisis frecuencial es proporcionar una representación matemática y pictórica para las componentes frecuenciales contenidas en una cierta señal. Como en la Física, el término *espectro* se emplea al referirse al contenido en frecuencia de una señal. El proceso de obtención del espectro de una señal dada, usando las herramientas matemáticas básicas, se conoce como *análisis frecuencial* o *espectral*. A su vez, el proceso de determinación del espectro de una señal en la práctica, basado en mediciones reales de la señal, se denomina *estimación espectral*. Esta distinción es muy importante. En un problema práctico, la señal que está siendo analizada no conduce a una descripción matemática exacta. La señal suele ser portadora de cierta información que intentamos extraer. Si esta información que deseamos extraer se puede obtener directa o indirectamente a partir del contenido espectral de la señal, se hace una *estimación espectral* sobre la señal que porta la información y así se obtiene una estima del espectro de la señal. De hecho, se puede ver la estimación espectral como un tipo de análisis

espectral realizado sobre señales obtenidas de fuentes físicas (p. ej., voz, EEC, ECG, etc.) Los instrumentos o programas de software empleados para obtener estimas espectrales de tales señales se conocen como *analizadores espectrales*.

2.4.2 Series De Fourier Para Señales Periódicas En Tiempo Continuo. En

esta sección presentamos las herramientas de análisis frecuencial para señales periódicas en tiempo continuo. Ejemplos de señales periódicas encontradas en la práctica son las ondas cuadradas, rectangulares, triangulares y por supuesto, las sinusoides y exponenciales complejas.

La representación matemática básica de las señales periódicas es la serie de Fourier, que es una suma ponderada de sinusoides relacionadas armónicamente. Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), un matemático francés, usó dicha expansión en serie para describir el fenómeno de la conducción de calor y distribución de temperatura en los cuerpos. Aunque sin su trabajo estaba motivado por el problema de la conducción de calor, las técnicas matemáticas que desarrolló durante la primera parte del siglo XIX encuentran ahora su aplicación en una gran variedad de problemas que incluyen diferentes disciplinas, como la óptica, vibraciones de sistemas mecánicos, teoría de sistemas y electromagnetismo.

Recordando que una combinación lineal de exponenciales complejas, armónicamente relacionadas, de la forma

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{j2\pi k F_0 t} \quad \text{Ec. 1}$$

es una señal periódica de periodo fundamental $T_p = 1/F_0$. Así pues, se pueden considerar las señales exponenciales

$$\{e^{j2\pi k F_0 t} \quad \mathbf{K} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

como los “bloques” básicos a través de los cuales se pueden construir las señales periódicas de diferentes tipos mediante la elección adecuada de la frecuencia y de los coeficientes $\{c_k\}$. F_0 determina el periodo fundamental de $x(t)$ y coeficientes $\{c_k\}$ especifica la forma de la onda.

Se supone que dada una señal periódica $x(t)$ de periodo T_p . Se puede representar una señal periódica la serie de Fourier, cuya frecuencia fundamental F_0 se elige de manera que sea el inverso del periodo dado T_p . Para de determinar la expresión de los coeficientes $\{c_k\}$, primero multiplicando ambos lado de la serie de Fourier por la función compleja:

$$e^{-j2\pi l F_0 t}$$

Donde l es un entero y entonces integramos ambos lados de la ecuación resultante sobre un periodo, digamos por ejemplo de 0 a T_p , o más en general de t_0 a $t_0 + T_p$, donde t_0 es valor matemáticamente conveniente. Así obtenemos:

$$\int_{t_0}^{t_0+T_p} x(t) e^{-j2\pi F_0 t} dt = \int_{t_0}^{t_0+T_p} x(t) e^{-j2\pi F_0 t} dt \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{a}_k c_k e^{+j2\pi k F_0 t} \frac{0}{0} \quad \text{Ec. 2}$$

Para calcular la integral del lado derecho de la ecuación, intercambiamos el orden de la sumatoria y la integral y combinamos las dos exponenciales así:

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{a}_k c_k \int_{t_0}^{t_0+T_p} e^{j2\pi F_0 (k-1)t} dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{a}_k c_k \frac{e^{j2\pi F_0 (k-1)t} \Big|_{t_0}^{t_0+T_p}}{j2\pi F_0 (k-1)} \quad \text{Ec. 3}$$

Para $k \neq 1$, la parte derecha de esta ecuación calculada en los límites superior e inferior, t_0 y $t_0 + T_0$, respectivamente da cero. Por otra parte si $k = 1$, tenemos

$$\int_{t_0}^{t_0+T_p} dt = t \Big|_{t_0}^{t_0+T_p} = T_p$$

En consecuencia se reduce a:

$$\int_{t_0}^{t_0+T_p} x(t) e^{-j2\pi F_0 t} dt = c_1 T_p$$

y, por lo tanto, la expresión de los coeficientes de Fourier en termino de la señal periódica dada es

$$c_1 = \frac{1}{T_p} \int_{t_0}^{t_0+T_p} x(t) e^{-j2\pi F_0 t} dt$$

Dado que t_0 es arbitrario, esta integral puede ser evaluada sobre cualquier intervalo de longitud T_p , esto es, sobre cualquier intervalo a un periodo de la

señal $x(t)$. Consecuentemente, la integral correspondiente a los coeficientes de la serie de Fourier se escribirá como

$$c_1 = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) e^{-j2\pi k F_0 t} dt \quad \text{Ec. 4}$$

Un punto importante en la representación de la señal periódica $x(t)$ mediante serie de Fourier es si la serie converge o no a $x(t)$ para todo valor de t , esto es, si la señal $x(t)$ y su serie de Fourier correspondiente

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{j2\pi k F_0 t} \quad \text{Ec. 5}$$

son iguales para todo valor de t . Las denominadas condiciones de Dirichlet garantiza que la serie sea igual a $x(t)$, excepto en aquellos valores de t en los que $x(t)$ es discontinua. En estos valores de t , converge al valor medio de la discontinuidad. Las condiciones de Dirichlet son

1. La señal $x(t)$ tiene un numero finito de discontinuidades en cualquier periodo.
2. La señal $x(t)$ contiene un numero finito de máximo y mínimo en cualquier periodo.
3. La señal $x(t)$ es absolutamente integrable en cualquier periodo, esto es:

$$\int_0^{T_p} |x(t)| dt < \infty \quad \text{Ec. 6}$$

Todas las señales periódicas de interés práctico satisfacen estas condiciones.

La función menos restrictiva, que la señal sea de energía finita en un periodo,

$$\int_0^{T_p} |x(t)|^2 dt < \infty \quad \text{Ec. 7}$$

garantiza que la energía en la señal diferencia

$$e(t) = x(t) - \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{j2\pi k F_0 t} \quad \text{Ec. 8}$$

sea cero, aunque $x(t)$ y su serie de Fourier no sean iguales para todos los valores de t . observándose que la ecuación 6 implica la ecuación 7, pero no al revés. Además, la ecuación 7 y las condiciones de Dirichlet son condiciones suficientes pero no necesarias (existen señales que tienen representación en la serie de Fourier y no satisfacen estas condiciones).

En el análisis propuesto por los autores, se utiliza la ecuación de análisis

$$c_k = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) e^{-j2\pi k F_0 t} dt \quad \text{Ec. 9}$$

para obtener el espectro en frecuencia de los códigos estudiados, donde:

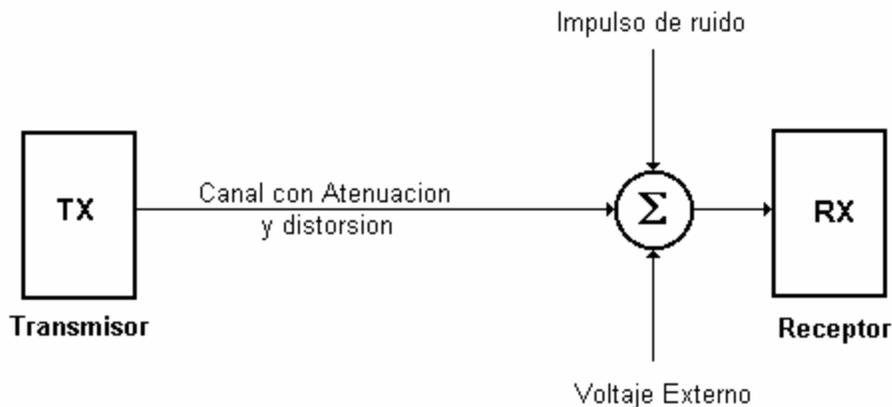
C_k = Magnitud que presenta el dato (byte) en el armónico K .

k = Armónico que se va a analizar.

$x(t)$ = Magnitud que tiene el bit A del código analizado.

2.5 Recuperación de Datos en Presencia de Ruido y Tasa de Error por Bit (BER)

Figura 20. **Diagrama de bloques del BER.**



Teniendo en cuenta que las señales digitales se dañan por el ruido debido a la diafonía, el ruido de impulso, voltajes externos, distorsión de fase, pérdida de regreso y otros tipos de interferencia que también están presentes en la entrada del receptor de datos. El receptor debe decidir en cada intervalo de muestreo si hay o no un pulso válido en su entrada. En los sistemas de comunicaciones digitales una pequeña parte de los datos digitales no se detecta, o el ruido puede ser detectado como una información válida cuando los datos no están presentes. La proporción entre los bits recibidos con error y los bits reales enviados en un sistema de comunicación se llaman tasa de errores por bit (BER). Varios tipos de interferencia presentes en los canales

de comunicaciones pueden contribuir a incrementar la probabilidad de errores por bit del sistema.

El BER es el mejor indicador del rendimiento de los sistemas de comunicaciones de datos y puede ser reducido en un sistema dado al controlar la proporción señal a ruido (SNR) en la entrada del circuito del receptor o al controlar el SNR del canal mismo. Significa que el nivel de la señal recibida, así como el ruido debido al acoplamiento de diafonía y voltajes externos, debe ser mantenido dentro de ciertos límites establecidos por los estándares técnicos.

Con el objeto de calificar el rendimiento de la transmisión en los sistemas de comunicación, el CCITT (hoy en día ITU-T) ha identificado dos límites importantes para la tasa de error por bit para un sistema dado. El límite más bajo o límite de percepción es el punto del cual, en los sistemas de telefonía basados en PCM (modulación por impulsos codificados), la degradación de la voz se vuelve perceptiva por el usuario. El límite más alto es el punto desde el cual una conexión se vuelve inaceptable para el usuario por la mayoría de servicios de red. De esta forma, uno puede establecer un rango de tolerancia entre 0 a 30 dB para BER para sistemas digitales de comunicación.

2.6 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

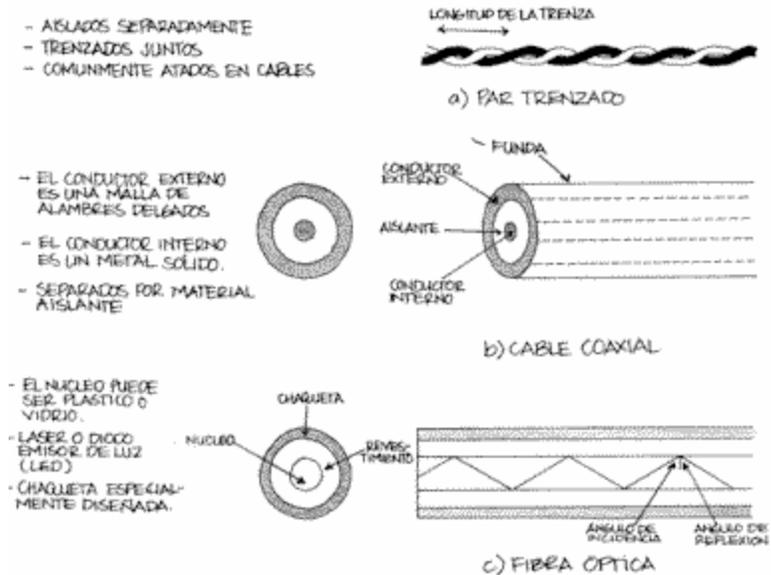
El propósito de los medios de transmisión es transportar bits de un punto a otro. Cada medio de transmisión tiene sus propias características de ancho de banda, retardo, costo, instalación y mantenimiento. Las características y la calidad de la transmisión de datos dependen directamente de las características y la calidad del medio de transmisión.

2.6.1 Clases De Medios De Transmisión:

2.6.1.1 Guiados. Como el cable de cobre, la fibra óptica, el cable coaxial. En éste, el medio es lo más importante porque determina las limitaciones de la transmisión.

2.6.1.2 No Guiados. Como la radio, un láser en el aire. En éste, el ancho de banda producido por la antena es más importante que el medio porque es el que determina las características de la transmisión. Cuando la transmisión se hace a bajas frecuencias, es omnidireccional; y cuando son altas frecuencias se puede direccionar por medio de un haz.

Figura 21. Medios guiados.



Para el diseño sistemático de una transmisión de datos, se tiene en cuenta la velocidad de los datos y la distancia. Cuando la distancia es grande, la transmisión se ve limitada por la atenuación. En medios guiados, el par trenzado sufre más que el cable coaxial, y éste sufre más que la fibra óptica.

En la transmisión pueden ocurrir interferencias, en donde las señales se traslapan en la banda de frecuencia. En los medios guiados, la interferencia puede ser causada por emanaciones de cables cercanos; su solución es un aislamiento apropiado. En los medios no guiados, se puede distorsionar o tumbar la señal de interferencia.

Un aspecto importante es el número de receptores que deben utilizarse a lo largo del trayecto. En un medio guiado, se construye un enlace punto a punto o compartido con múltiples uniones, teniendo en cuenta que cada unión aporta una distorsión o atenuación, limitando la velocidad de datos.

2.6.2 Cable de par trenzado. En su forma más simple, un cable de par trenzado consta de dos hilos de cobre aislados y entrelazados. Hay dos tipos de cables de par trenzado: cable de par trenzado sin apantallar (UTP) y par trenzado apantallado (STP).

A menudo se agrupan una serie de hilos de par trenzado y se encierran en un revestimiento protector para formar un cable. El número total de pares que hay en un cable puede variar. El trenzado elimina el ruido eléctrico de los pares adyacentes y de otras fuentes como motores, relés y transformadores.

2.6.2.1 Cable de par trenzado sin apantallar (UTP). El UTP, con la especificación 10 BaseT, es el tipo más conocido de cable de par trenzado y ha sido el cableado LAN más utilizado en los últimos años. El segmento máximo de longitud de cable es de 100 metros, unos 328 pies.

El cable UTP tradicional consta de dos hilos de cobre aislados. Las especificaciones UTP dictan el número de entrelazados permitidos por pie de cable; el número de entrelazados depende del objetivo con el que se instale el cable.

La especificación 568A Commercial Building Wiring Standard de la Asociación de Industrias Electrónicas e Industrias de la Telecomunicación (EIA/TIA) especifica el tipo de cable UTP que se va a utilizar en una gran variedad de situaciones y construcciones. El objetivo es asegurar la coherencia de los productos para los clientes. Estos estándares definen cinco categorías de UTP:

2.6.2.1.1 Categoría 1. Hace referencia al cable telefónico UTP tradicional que resulta adecuado para transmitir voz, pero no datos. La mayoría de los cables telefónicos instalados antes de 1983 eran cables de Categoría 1.

2.6.2.1.2 Categoría 2. Esta categoría certifica el cable UTP para transmisión de datos de hasta 4 megabits por segundo (Mbps), Este cable consta de cuatro pares trenzados de hilo de cobre.

2.6.2.1.3 Categoría 3. Esta categoría certifica el cable UTP para transmisión de datos de hasta 16 Mbps. Este cable consta de cuatro pares trenzados de hilo de cobre con tres entrelazados por pie.

2.6.2.1.4 Categoría 4. Esta categoría certifica el cable UTP para transmisión de datos de hasta 20 Mbps. Este cable consta de cuatro pares trenzados de hilo de cobre.

2.6.2.1.5 Categoría 5. Esta categoría certifica el cable UTP para transmisión de datos de hasta 100 Mbps. Este cable consta de cuatro pares trenzados de hilo de cobre.

2.6.2.1.5.1 Categoría 5^a. También conocida como Categoría 5+ ó Cat5e. Ofrece mejores prestaciones que el estándar de Categoría 5. Para ello se deben cumplir especificaciones tales como una atenuación al ratio crosstalk (ARC) de 10 dB a 155 MHz y 4 pares para la comprobación del Power Sum NEXT. Este estándar todavía no está aprobado

2.6.2.1.6 Nivel 7. Proporciona al menos el doble de ancho de banda que la Categoría 5 y la capacidad de soportar Gigabit Ethernet a 100 m. El ARC mínimo de 10 dB debe alcanzarse a 200 Mhz y el cableado debe soportar pruebas de Power Sum NEXT, más estrictas que las de los cables de Categoría 5 Avanzada.

La mayoría de los sistemas telefónicos utilizan uno de los tipos de UTP. De hecho, una razón por la que UTP es tan conocido es debido a que muchas construcciones están preparadas para sistemas telefónicos de par trenzado. Como parte del proceso previo al cableado, se instala UTP extra para cumplir las necesidades de cableado futuro. Si el cable de par trenzado preinstalado es de un nivel suficiente para soportar la transmisión de datos, se puede utilizar para una red de equipos. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado, porque el hilo telefónico común podría no tener entrelazados y otras características eléctricas necesarias para garantizar la seguridad y nítida transmisión de los datos del equipo. El cable UTP es particularmente susceptible a la intermodulación, pero cuanto mayor sea el número de entrelazados por pie de cable, mayor será la protección contra las interferencias.

2.6.2.2 Cable de par trenzado apantallado (STP). El cable STP utiliza una envoltura con cobre trenzado, más protectora y de mayor calidad que la usada en el cable UTP. STP también utiliza una lámina rodeando cada uno de los pares de hilos. Esto ofrece un excelente apantallamiento en los STP

para proteger los datos transmitidos de intermodulaciones exteriores, lo que permite soportar mayores tasas de transmisión que los UTP a distancias mayores.

2.6.2.3 Componentes del cable de par trenzado. Aunque hayamos definido el cable de par trenzado por el número de hilos y su posibilidad de transmitir datos, son necesarios una serie de componentes adicionales para completar su instalación. Al igual que sucede con el cable telefónico, el cable de red de par trenzado necesita unos conectores y un hardware para asegurar una correcta instalación.

2.6.2.3.1 Elementos de conexión. El cable de par trenzado utiliza conectores telefónicos RJ-45 para conectar a un equipo. Éstos son similares a los conectores telefónicas RJ11. Aunque los conectores RJ-11 y RJ-45 parezcan iguales a primera vista, hay diferencias importantes entre ellos.

El conector RJ-45 contiene ocho conexiones de cable, mientras que el RJ-11 sólo contiene cuatro.

Existe una serie de componentes que ayudan a organizar las grandes instalaciones UTP y a facilitar su manejo.

2.6.2.3.2 Armarios y racks de distribución. Los armarios y los racks de distribución pueden crear más sitio para los cables en aquellos lugares donde no hay mucho espacio libre en el suelo. Su uso ayuda a organizar una red que tiene muchas conexiones.

2.6.2.3.3 Paneles de conexiones ampliables. Existen diferentes versiones que admiten hasta 96 puertos y alcanzan velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps.

2.6.2.3.4 Clavijas. Estas clavijas RJ-45 dobles o simples se conectan en paneles de conexiones y placas de pared y alcanzan velocidades de datos de hasta 100 Mbps.

2.6.2.3.5 Placas de pared. Éstas permiten dos o más enganches.

2.6.2.4 Consideraciones sobre el cableado de par trenzado. El cable de par trenzado se utiliza así:

- Se desea una instalación relativamente sencilla, donde las conexiones de los equipos sean simples.

No se utiliza el cable de par trenzado sí:

- Una red LAN necesita un gran nivel de seguridad y se debe estar absolutamente seguro de la integridad de los datos.
- Los datos se deben transmitir a largas distancias y a altas velocidades.

2.6.2.5 Diferencia entre las Categorías de cable UTP. El estándar TIA/EIA 568 especifica el cable de Categoría 5 como un medio para la transmisión de datos a frecuencias de hasta 100 MHz. El Modo de Transmisión Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode ATM), trabaja a 155 MHz. La Gigabit Ethernet a 1 GHz. ¿Pero que hay sobre la Categoría 5 Avanzada (Cat5e) u otras categorías superiores?

La necesidad de incrementar el ancho de banda nunca cesa, cuanto más se tenga, más se necesita. Las aplicaciones cada vez se vuelven más complejas, y los ficheros cada vez son más grandes. A medida que su red se vaya congestionando con más datos, la velocidad se va haciendo mas lento y no volverá a ser rápida nunca más.

2.6.2.5.1 Categoría 5. La TIA/EIA 568A especifica solamente las Categorías para los cables de pares trenzados sin apantallar (UTP). Cada una se basa en la capacidad del cable para soportar prestaciones máximas y mínimas. Hasta hace poco, la Categoría 5 era el grado superior especificado por el estándar TIA/EIA. Se definió para ser capaz de soportar velocidades de red de hasta 100 Mbps en transmisiones de voz/datos a frecuencias de hasta 100 MHz. Las designaciones de Categoría están determinadas por las prestaciones UTP. El cable de Categoría 5 a 100 MHz, debe tener el NEXT de 32 dB/304,8 mts. y una gama de atenuación de 67dB/304.8 mts, Para cumplir con el estándar, los cables deben cumplir solamente los mínimos estipulados, Con cable de Categoría 5 debidamente instalado, podrá esperar alcanzar las máximas prestaciones, las cuales, de acuerdo con los estándares, alcanzarán la máxima velocidad de traspaso de Mbps,

2.6.2.5.2 Categoría 5a. La principal diferencia entre la Categoría 5 (568A) y Categoría 5a (568A-5) es que algunas de las especificaciones han sido realizadas de forma más estricta en la versión más avanzada. Ambas trabajan a frecuencias de 100 MHz. Pero la Categoría 5e cumple las siguientes especificaciones: NEXT: 35 dB; PS-NEXT: 32 dB, ELFEXT: 23.8

dB; PS-ELFEXT: 20.8 dB, Pérdida por Retorno: 20.1 dB, y Retardo: 45 ns, Con estas mejoras, podrá tener transmisiones Ethernet con 4 pares, sin problemas, full-duplex, sobre cable UTP. En el futuro, la mayoría de las instalaciones requerirán cableado de Categoría 5e así como sus componentes.

2.6.2.5.3 Categoría 6 y posteriores. Aunque el estándar no ha sido todavía creado. Pero los equipos de trabajo que realizan los estándares están trabajando en ello. La Categoría 6 espera soportar frecuencias de 250 MHz, dos veces y media más que la Categoría 5. En un futuro cercano, la TIA/EIA está estudiando el estándar para la Categoría 7, para un ancho de banda de hasta 600 MHz. La Categoría 7, usará un nuevo y aún no determinado tipo de conector.

2.6.3 Cable Coaxial. Hubo un tiempo donde el cable coaxial fue el más utilizado. Existían dos importantes razones para la utilización de este cable: era relativamente barato, y era ligero, flexible y sencillo de manejar.

2.6.3.1 Descripción del cable coaxial. Un cable coaxial consta de un núcleo de hilo de cobre rodeado por un aislante, un apantallamiento de metal trenzado y una cubierta externa.

Figura 22. Partes del cable coaxial.



El término apantallamiento hace referencia al trenzado o malla de metal (u otro material) que rodea algunos tipos de cable. El apantallamiento protege los datos transmitidos absorbiendo las señales electrónicas espúreas, llamadas ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos. Al cable que contiene una lámina aislante y una capa de apantallamiento de metal trenzado se le denomina cable apantallado doble. Para entornos que están sometidos a grandes interferencias, se encuentra disponible un apantallamiento cuádruple. Este apantallamiento consta de dos láminas aislantes, y dos capas de apantallamiento de metal trenzado.

El núcleo de un cable coaxial transporta señales electrónicas que forman los datos. Este núcleo puede ser sólido o de hilos. Si el núcleo es sólido, normalmente es de cobre.

Rodeando al núcleo hay una capa aislante dieléctrica que la separa de la malla de hilo. La malla de hilo trenzada actúa como masa, y protege al

núcleo del ruido eléctrico y de la intermodulación (la intermodulación es la señal que sale de un hilo adyacente).

El núcleo de conducción y la malla de hilos deben estar separados uno del otro. Si llegaran a tocarse, el cable experimentaría un cortocircuito, y el ruido o las señales que se encuentren perdidas en la malla circularían por el hilo de cobre. Un cortocircuito eléctrico ocurre cuando dos hilos de conducción o un hilo y una tierra se ponen en contacto. Este contacto causa un flujo directo de corriente (o datos) en un camino no deseado. Con dispositivos electrónicos que utilizan bajos voltajes, el resultado no es tan dramático, y a menudo casi no se detecta. Estos cortocircuitos de bajo voltaje generalmente causan un fallo en el dispositivo y lo habitual es que se pierdan los datos.

Una cubierta exterior no conductora (normalmente hecha de goma, Teflón o plástico) rodea todo el cable.

El cable coaxial es más resistente a interferencias y atenuación que el cable de par trenzado.

La malla de hilos protectora absorbe las señales electrónicas perdidas, de forma que no afecten a los datos que se envían a través del cable de cobre interno. Por esta razón, el cable coaxial es una buena opción para grandes distancias y para soportar de forma fiable grandes cantidades de datos con un equipamiento poco sofisticado.

2.6.3.2 Tipos de cable coaxial. Hay dos tipos de cable coaxial:

- Cable fino (Thinnet).
- Cable grueso (Thicknet).

El tipo de cable coaxial más apropiado depende de las necesidades de la red en particular.

2.6.3.2.1 Cable Thinnet (Ethernet fino). El cable Thinnet es un cable coaxial flexible de unos 0,64 centímetros de grueso (0,25 pulgadas). Este tipo de cable se puede utilizar para la mayoría de los tipos de instalaciones de redes, ya que es un cable flexible y fácil de manejar.

El cable coaxial Thinnet puede transportar una señal hasta una distancia aproximada de 185 metros (unos 607 pies) antes de que la señal comience a sufrir atenuación.

Los fabricantes de cables han acordado denominaciones específicas para los diferentes tipos de cables. El cable Thinnet está incluido en un grupo que se denomina la familia RG-58 y tiene una impedancia de 50 ohm. (La impedancia es la resistencia, medida en ohmios, a la corriente alterna que circula en un hilo.)

La característica principal de la familia RG-58 es el núcleo central de cobre y los diferentes tipos de cable de esta familia son:

- **RG-58/U:** Núcleo de cobre sólido.
- **RG-58 A/U:** Núcleo de hilos trenzados.

- **RG-58 C/U:** Especificación militar de RG-58 A/U.
- **RG-59:** Transmisión en banda ancha, como el cable de televisión.
- **RG-6:** Mayor diámetro y considerado para frecuencias más altas que RG-59, pero también utilizado para transmisiones de banda ancha.
- **RG-62:** Redes ARCnet.

2.6.3.2.2 Cable Thicknet (Ethernet grueso). El cable Thicknet es un cable coaxial relativamente rígido de aproximadamente 1,27 centímetros (0,5 pulgadas) de diámetro. Al cable Thicknet a veces se le denomina Ethernet estándar debido a que fue el primer tipo de cable utilizado con la conocida arquitectura de red Ethernet. El núcleo de cobre del cable Thicknet es más grueso que el del cable Thinnet.

Cuanto mayor sea el grosor del núcleo de cobre, más lejos puede transportar las señales. El cable Thicknet puede llevar una señal a 500 metros (unos 1.640 pies). Por tanto, debido a la capacidad de Thicknet para poder soportar transferencia de datos a distancias mayores, a veces se utiliza como enlace central o backbone para conectar varias redes más pequeñas basadas en Thinnet.

Un transceiver conecta el cable coaxial Thinnet a un cable coaxial Thicknet mayor. Un transceiver diseñado para Ethernet Thicknet incluye un conector conocido como «vampiro» o «perforador» para establecer la conexión física real con el núcleo Thicknet. Este conector se abre paso por la capa aislante y se pone en contacto directo con el núcleo de conducción. La conexión desde

el transceiver a la tarjeta de red se realiza utilizando un cable de transceiver para conectar el conector del puerto de la interfaz de conexión de unidad (AUI) a la tarjeta. Un conector de puerto AUI para Thicknet también recibe el nombre de conector Digital Intel Xerox (DIX) (nombre dado por las tres compañías que lo desarrollaron y sus estándares relacionados) o como conector dB-15.

2.6.3.2.3 Cable Thinnet frente a Thicknet. Como regla general, los cables más gruesos son más difíciles de manejar. El cable fino es flexible, fácil de instalar y relativamente barato. El cable grueso no se dobla fácilmente y, por tanto, es más complicado de instalar. Éste es un factor importante cuando una instalación necesita llevar el cable a través de espacios estrechos, como conductos y canales. El cable grueso es más caro que el cable fino, pero transporta la señal más lejos.

2.6.3.3 Hardware de conexión del cable coaxial. Tanto el cable Thinnet como el Thicknet utilizan un componente de conexión llamado conector BNC, para realizar las conexiones entre el cable y los equipos. Existen varios componentes importantes en la familia BNC, incluyendo los siguientes:

- **El conector de cable BNC.** El conector de cable BNC está soldado, o incrustado, en el extremo de un cable.
- **El conector BNC T.** Este conector conecta la tarjeta de red (NIC) del equipo con el cable de la red.

- **Conector acoplador (barrel) BNC.** Este conector se utiliza para unir dos cables Thinnet para obtener uno de mayor longitud.
- **Terminador BNC.** El terminador BNC cierra el extremo del cable del bus para absorber las señales perdidas.

El origen de las siglas BNC no está claro, y se le han atribuido muchos nombres, desde «British Naval Connector» a «Bayonet Neill-Councilman». Haremos referencia a esta familia hardware simplemente como BNC, debido a que no hay consenso en el nombre apropiado y a que en la industria de la tecnología las referencias se hacen simplemente como conectores del tipo BNC.

2.6.3.4 Tipos de cable coaxial y normas de incendios. El tipo de cable que se debe utilizar depende del lugar donde se vayan a colocar los cables en la oficina. Los cables coaxiales pueden ser de dos tipos:

- Cloruro de polivinilo (PVC).
- Plenum.

2.6.3.4.1 El cloruro de polivinilo (PVC). Es un tipo de plástico utilizado para construir el aislante y la clavija del cable en la mayoría de los tipos de cable coaxial. El cable coaxial de PVC es flexible y se puede instalar fácilmente a través de la superficie de una oficina. Sin embargo, cuando se quema, desprende gases tóxicos.

2.6.3.4.2 Un plenum. Es el espacio muerto que hay en muchas construcciones entre el falso techo y el piso de arriba; se utiliza para que circule aire frío y caliente a través del edificio. Las normas de incendios indican instrucciones muy específicas sobre el tipo de cableado que se puede mandar a través de esta zona, debido a que cualquier humo o gas en el plenum puede mezclarse con el aire que se respira en el edificio.

El cableado de tipo plenum contiene materiales especiales en su aislamiento y en la clavija del cable. Estos materiales están certificados como resistentes al fuego y producen una mínima cantidad de humo; esto reduce los humos químicos tóxicos. El cable plenum se puede utilizar en espacios plenum y en sitios verticales (en una pared, por ejemplo) sin conductos. Sin embargo, el cableado plenum es más caro y menos flexible que el PVC.

2.6.3.5 Consideraciones sobre el cable coaxial. En la actualidad es difícil que tenga que tomar una decisión sobre cable coaxial, no obstante, considere las siguientes características del cable coaxial.

Utilice el cable coaxial si necesita un medio que pueda:

- Transmitir voz, vídeo y datos.
- Transmitir datos a distancias mayores de lo que es posible con un cableado menos caro.
- Ofrecer una tecnología familiar con una seguridad de los datos aceptable.

2.6.3.6 Cable coaxial en banda base. Es un cable de 50Ω, para transmisión digital. La construcción y protección del cable coaxial da una buena combinación de ancho de banda y excelente inmunidad de ruido.

El ancho de banda posible depende de la longitud del cable. Para 1 Km la velocidad es de 1 a 24 bps. Para grandes distancias pueden ser usados a menor velocidad o con repetidores periódicos.

2.6.3.7 Cable coaxial en banda amplia. Es un cable de 75 Ω, usado para transmisiones análogas. Su ancho de banda es mayor a 4KHz. Se usa para cableado de televisión por cable, y sus cables usan hasta 300 Mhz y algunas veces hasta 450 Mhz. También para teléfono. En computadores para red de cables con transmisión análoga.

Para transmisiones en red análoga, cada interfase debe contener electrónica que convierta señales digitales a análogas o análogas a digitales.

El cable coaxial en banda base cubre mayor área, necesita repetidores periódicos para mantener la señal.

Los repetidores pueden transmitir solamente en una dirección. Para esto, hay dos tipos de sistemas:

- **Doble cable:** son dos cables en paralelo.
- **Cable sencillo:** frecuencia en bandas diferentes para la comunicación de entrada y salida.

2.6.4 FIBRA OPTICA

2.6.4.1 Breve Historia De La Fibra Óptica. Las ondas de luz son una forma de energía electromagnética y la idea de transmitir información por medio de luz, como portadora, tiene más de un siglo de antigüedad. Hacia 1880, Alexander G. Bell construyó el fotófono que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz. Sin embargo, resultaba inviable por la falta de fuentes de luz adecuadas.

Con la invención y construcción del láser en la década de los 60 volvió a tomar idea la posibilidad de utilizar la luz como soporte de comunicaciones fiables y de alta potenciabilidad de información, debido a su elevada frecuencia portadora 10¹⁴ Hz. Desde entonces, empezaron los estudios básicos sobre modulación y detección óptica.

El empleo de fibras de vidrio como medio de guía no tardó en ser interesante; debido a su tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y coste. En concreto, las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos, sin embargo, en un principio presentaban elevadas atenuaciones.

En 1966 se produce un gran hito para los que serán las futuras comunicaciones por fibra óptica, y es la publicación por Kao y Hockman de un artículo en el cual se señalaba que la atenuación observada hasta entonces en las fibras de vidrio, no se debía a mecanismos intrínsecos sino a impurezas originadas en el proceso de fabricación.

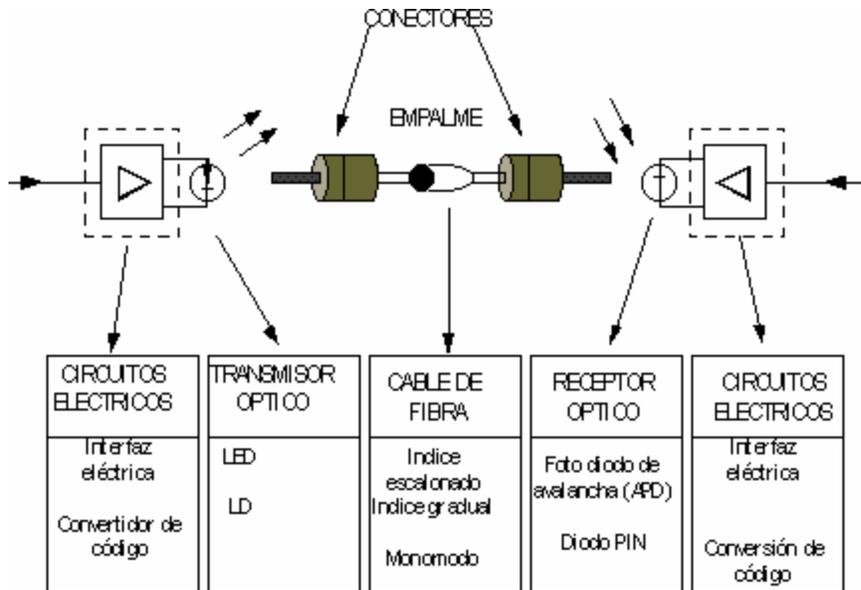
A partir de esta fecha empiezan a producirse eventos que darán como resultado final la implantación y utilización cada vez mayor de la Fibra Óptica como alternativa a los cables de cobre:

- 1970 Corning obtiene fibras con atenuación 20 dB/km.
- 1972 Fibra Óptica con núcleo líquido con atenuación 8 dB/km.
- 1973 Corning obtiene Fibra Óptica de SiO₂ de alta pureza con atenuación 4 dB/km y deja obsoletas a las de núcleo líquido.
- 1976 NTT y Fujikura obtienen Fibra Óptica con atenuación 0,47 dB/km en 1300 nm, muy próximo al límite debido a factores intrínsecos.
- 1979 Se alcanzan atenuaciones 0,12 dB/km con fibras monomodo en 1550 nm. También en 1975 se descubría que las fibras ópticas de SiO₂ presentan mínima dispersión en torno a 1300 nm, lo cual suponía disponer de grandes anchuras de banda para la transmisión, en cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor intrínseco limitativo. Las nuevas posibilidades que ofrecían las fibras ópticas también estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos fiables, de bajo consumo y tamaño reducido.
- 1970 Primer láser de AlGaAs capaz de operar de forma continua a temperatura ambiente. Sin embargo, el tiempo de vida medio era de unas pocas horas. Desde entonces, los procesos han mejorado y hoy es posible encontrar diodos láser con más de 1.000.000 horas de vida media.

➤ 1971 C.A. Burrus desarrolla un nuevo tipo de emisor de luz, el LED, de pequeña superficie radiante, idóneo para el acoplamiento en fibras ópticas. Por lo que se refiere a los fotodetectores, los diodos PIN y los de avalancha a base de Si, fueron desarrollados sin dificultades y ofrecían buenas características. Sin embargo, no podían aplicarse en longitud de onda mayores de 1100 nm. El Ge era un buen candidato a ser utilizado para trabajar entre 1100 y 1600 nm, y ya en 1966 se disponía de ellos con elevadas prestaciones eléctricas. Sin embargo, la corriente de oscuridad (ruido) del Ge es elevada y da motivo a ensayos con fotodiodos con materiales como el InGaAsP. El primer PIN de InGaAs se realiza en 1977.

2.6.4.2 Comunicación por fibra óptica.

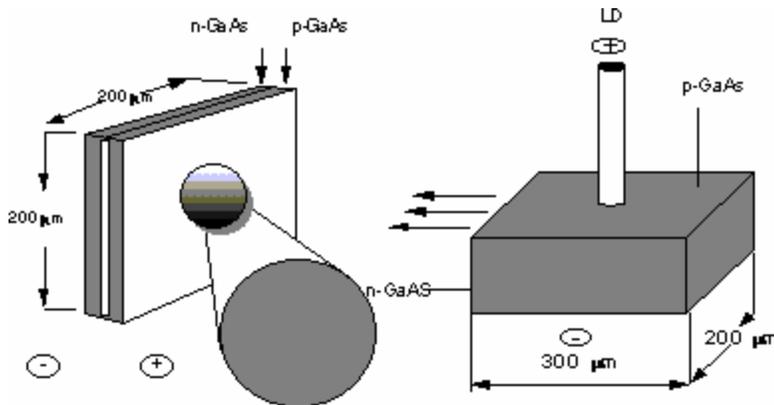
Figura 23. Enlace por Fibra Óptica.



El enlace por fibra óptica consta de un convertidor de código, un transmisor óptico (LED o LD), el medio de fibra óptica, un receptor óptico y un circuito eléctrico que realiza conversión de código.

2.6.4.3 Transmisores ópticos.

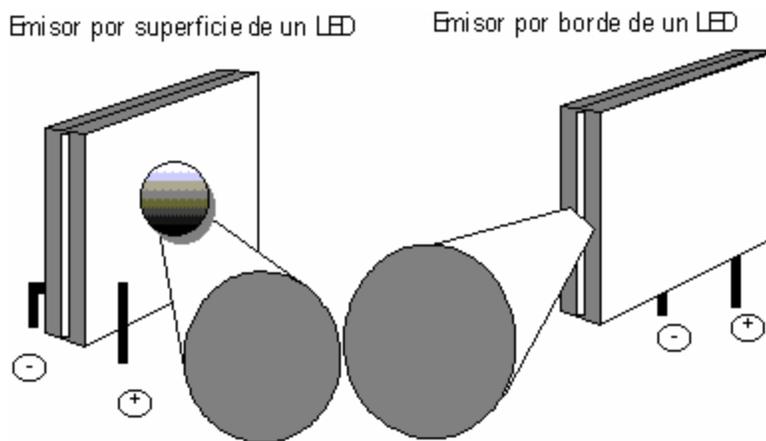
Figura 24. Transmisores ópticos.



El transmisor óptico puede contener un láser usualmente fabricados a partir de materiales semiconductores (Diodo láser, LD).

Además de los láser, también se usan los diodos emisores de luz, LED. Lamentablemente emiten una luz de gran ancho de banda y como irradian en forma esférica, solamente una pequeña parte de la potencia puede ser introducida en la fibra.

Figura 25. Diferentes LED.



2.6.4.4 Receptores ópticos. En las comunicaciones por fibra óptica se usan como detectores de luz, principalmente los diodos PIN y APD. El comportamiento de estos semiconductores ha sido constantemente mejorado, especialmente en los que se refiere al tiempo de elevación del pulso y sensibilidad. En la actualidad se presentan en tamaños adecuados para ser acoplados en las fibras ópticas.

Figura 26. Receptor PIN.

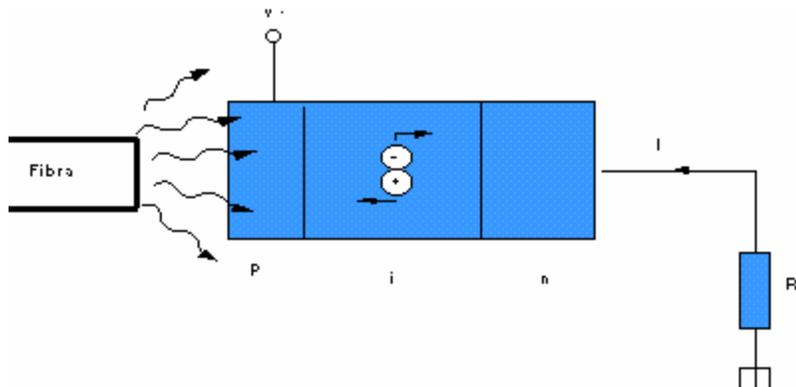
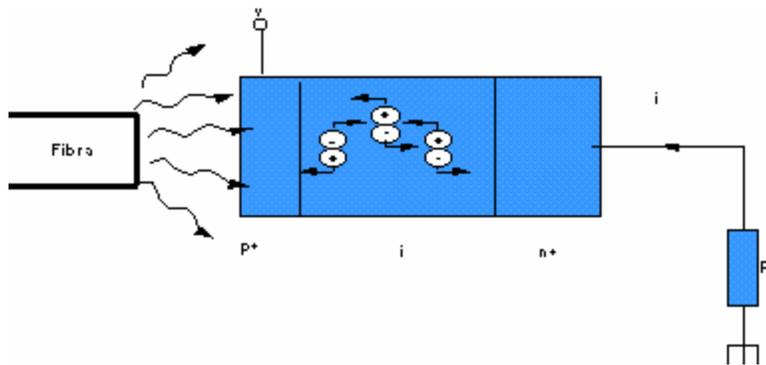


Figura 27. Receptor APD.



2.6.4.5 Compuesto de la fibra óptica. **Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales), del espesor de un cabello. Llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción.**

El conductor de fibra óptica está compuesto por dos elementos básicos: El núcleo (core) y el recubrimiento (cladding), cada uno de ellos formado por material conductor de las ondas luminosas. Así cuando se habla de fibras de

50/125, 62.5/125 o 10/125 mm, nos estamos refiriendo a la relación entre el diámetro del núcleo y el del recubrimiento.

Otro parámetro importante en una fibra es su apertura numérica. En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso por su interior. El ángulo necesario para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior, recibe el nombre de *ángulo de aceptación*. Pues bien, el seno de este ángulo se denomina *apertura numérica*.

Un parámetro extrínseco a la fibra óptica es la *ventana de trabajo*. Cuando hablamos de ventanas de trabajo nos referimos a la longitud de onda central de la fuente luminosa que utilizamos para transmitir la información a lo largo de la fibra. La utilización de una ventana u otra determinará parámetros tan importantes como la atenuación que sufrirá la señal transmitida por kilómetro. Las ventanas de trabajo más corrientes son: Primera ventana a 850 nm, segunda ventana a 1300 nm y tercera ventana a 1550 nm. La atenuación es mayor si trabajamos en primera ventana y menor si lo hacemos en tercera. El hecho de que se suele utilizar la primera ventana en la transmisión de una señal es debido al menor coste de las fuentes luminosas utilizadas, al ser tecnológicamente más simple su fabricación.

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

a) Del diseño geométrico de la fibra.

b) De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración.
(diseño óptico)

c) De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

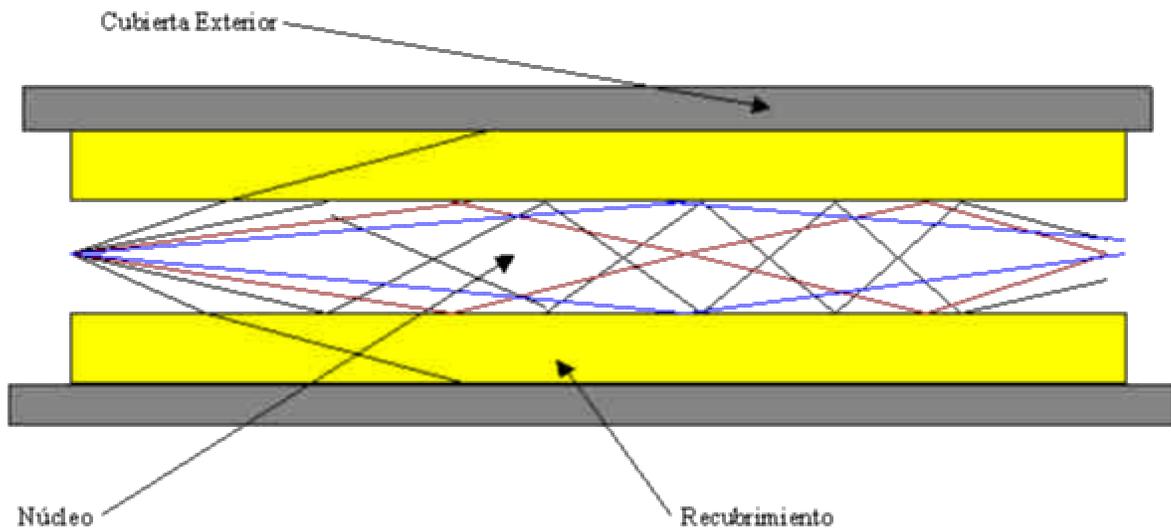
Figura 28. Cable de fibra óptica.



2.6.4.6 Tipos de fibra óptica.

2.6.4.6.1 La fibra multimodo. En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos como se indica en la Figura 30.

Figura 29. Fibra multimodo.

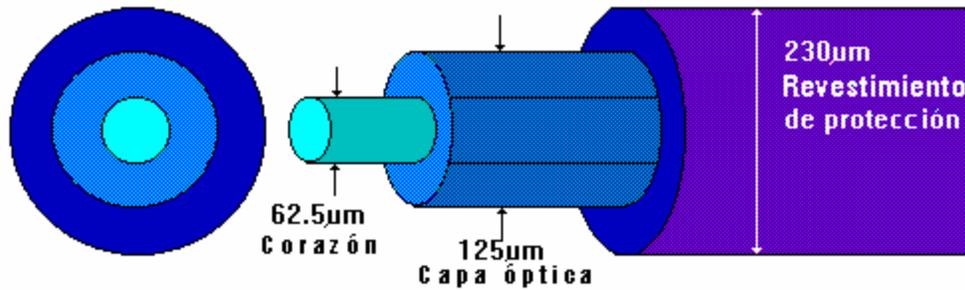


Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar. Por esta razón la distancia a la que se puede transmitir está limitada.

Existen dos tipos de fibra óptica multimodo:

- Fibra a salto de índice (200/380): constituida de un corazón y de una faja óptica en vidrio de diferentes índices de refracción. Esta fibra provoca de parte de la sección del corazón, una dispersión grande de las señales que la atraviesan, lo que genera una deformación de la señal recibida.
- Fibra a gradiente de índice (62.5/125): cuyo corazón está constituido de lechos de vidrio sucesivos teniendo un índice de refracción próximo. Se aproxima así a una igualación de los tiempos de propagación, lo que quiere decir que se ha reducido la dispersión nodal.

Figura 30. Fibra óptica multimodo.



2.6.4.6.2 La fibra monomodo. Cuyo corazón es tan fino que el camino de propagación de los diferentes modos (rayos) es prácticamente directo. La dispersión nodal se hace casi nula. La banda pasante transmitida es casi infinita, mayor a 10Ghz/Km. Esta fibra es utilizada esencialmente para los sitios a distancia.

El pequeño diámetro del corazón, necesita una potencia grande de emisión, por eso se utilizan los diodos a láser que son relativamente costosos.

Figura 31. Propagación de la luz en los tres tipos de fibras.

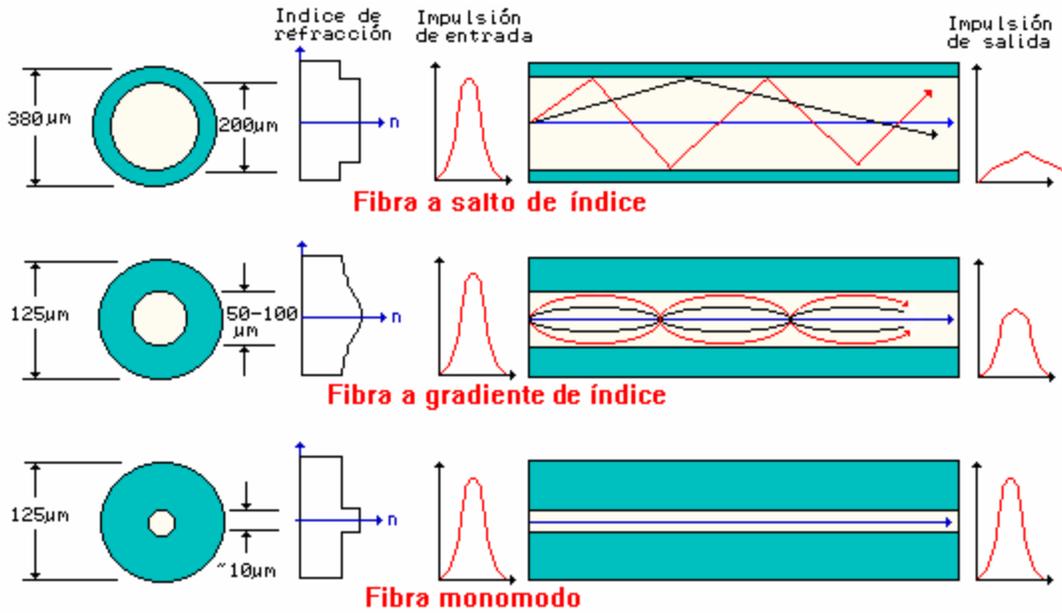
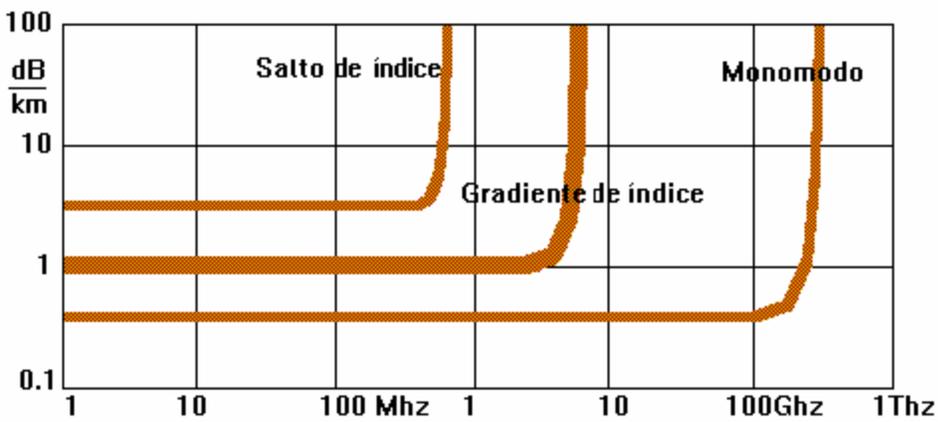


Figura 32. Atenuación Vs Frecuencia.



La atenuación es constante a aquella que es la frecuencia

2.6.4.7 ¿De qué están hechas? La mayoría de las fibras ópticas se hacen de sílice, materia prima abundante en comparación con el cobre. Con unos kilogramos de vidrio pueden fabricarse aproximadamente 43 kilómetros de fibra óptica. Los dos constituyentes esenciales de las fibras ópticas son el núcleo y el revestimiento. El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz.

Figura 33. Fibra de varias hebras.



Consiste en una o varias hebras delgadas de vidrio o de plástico con diámetro de 50 a 125 micras. El revestimiento es la parte que rodea y protege al núcleo.

El conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno.

2.6.4.8 Conectores. Para poder conectar un cable de fibra a un equipo es necesario que en cada fibra se arme un conector, o bien, cada fibra se empalme con un pigtail, que es un cable de una sola fibra que posee un conector en una de sus puntas, armado en fábrica. (la mitad de un jumper es un pigtail)

2.6.4.8.1 Jumper.

Figura 34. Jumper de fibra óptica.



Existe una gran variedad de conectores que se diferencian por sus aplicaciones o simplemente por su diseño:

Figura 35. Conectores ST y STII+, Conector SC, Conector FC, Conector DIN, Conector LC.

ST y STII+	
SC	
FC	
DIN	
LC	

Siguiendo a estos nombres vendrán siglas que indicarán alguna característica en particular.

Cualquiera de estos conectores puede venir en las opciones de pulido PC ó APC (angular para video), en MM o SM, simples o dobles (una o dos fibras por conector), PM (polarisation maintaining), etc.

Cada conector consta de:

- Ferrule: es el cilindro que rodea la fibra a manera de PIN.
- Body: el cuerpo del conector
- Boot: el mango

2.6.4.8.2 Acopladores o adaptadores. (adapter, coupling, bulkhead, interconnect sleeve). Son como pequeños tambores o cajas que reciben un conector de cada lado produciendo el acople óptico, con la mínima pérdida posible.

Se utilizan en los distribuidores, para facilitar la desconexión y cambio rápido, acoplando el pigtail que se haya empalmado al cable de fibra con el patchcord que se conecta a los equipos receptores/emisores. También se usan para conectar un tramo de fibra a los equipos de medición.

Figura 36. Adaptador DIN, Adaptador FC, Adaptador SMA, Adaptador SC, Adaptador ST.

DIN	
FC	
SMA	
SC	
ST	

2.6.4.9 Características mecánicas. La fibra óptica como elemento resistente dispuesto en el interior de un cable formado por agregación de varias de ellas, no tiene características adecuadas de tracción que permitan su utilización directa.

Por otra parte, en la mayoría de los casos las instalaciones se encuentran a la intemperie o en ambientes agresivos que pueden afectar al núcleo.

La investigación sobre componentes optoelectrónicos y fibras ópticas han traído consigo un sensible aumento de la calidad de funcionamiento de los sistemas. Es necesario disponer de cubiertas y protecciones de calidad capaces de proteger a la fibra. Para alcanzar tal objetivo hay que tener en cuenta su sensibilidad a la curvatura y microcurvatura, la resistencia mecánica y las características de envejecimiento.

Las microcurvaturas y tensiones se determinan por medio de los ensayos de:

- **Tensión.** Cuando se estira o contrae el cable se pueden causar fuerzas que rebasen el porcentaje de elasticidad de la fibra óptica y se rompa o formen microcurvaturas.
- **Compresión.** Es el esfuerzo transversal.
- **Impacto.** Se debe principalmente a las protecciones del cable óptico.
- **Enrollamiento.** Existe siempre un límite para el ángulo de curvatura pero, la existencia del forro impide que se sobrepase.
- **Torsión.** Es el esfuerzo lateral y de tracción.
- **Limitaciones Térmicas.** Estas limitaciones difieren en alto grado según se trate de fibras realizadas a partir del vidrio o a partir de materiales sintéticos.

Otro objetivo es minimizar las pérdidas adicionales por cableado y las variaciones de la atenuación con la temperatura. Tales diferencias se deben a diseños calculados a veces para mejorar otras propiedades, como la resistencia mecánica, la calidad de empalme, el coeficiente de relleno (número de fibras por mm²) o el costo de producción.

2.6.4.10 Atenuación en F.O. Es la pérdida de potencia óptica en una fibra, y se mide en **dB** y **dB/Km**.

Una pérdida del **50%** de la potencia de entrada equivale a **-3dB**.

Las pérdidas pueden ser intrínsecas o extrínsecas.

2.6.4.10.1 Intrínsecas. Dependen de la composición del vidrio, impurezas, etc., y no las podemos eliminar.

Las ondas de luz en el vacío no sufren ninguna perturbación. Pero si se propagan por un medio no vacío, interactúan con la materia produciéndose un fenómeno de dispersión debida a dos factores:

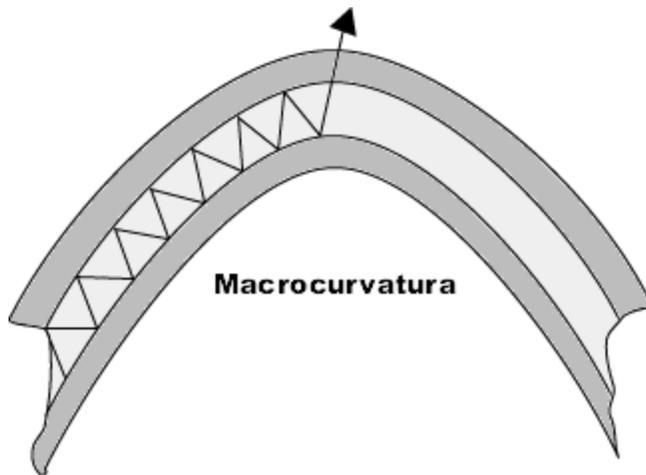
- **Dispersión por absorción:** La luz es absorbida por el material transformándose en calor.
- **Dispersión por difusión:** La energía se dispersa en todas las direcciones.

Esto significa que parte de la luz se irá perdiendo en el trayecto, y por lo tanto resultará estar **atenuada** al final de un tramo de fibra.

2.6.4.10.2 Extrínsecas. Son debidas al mal cableado y empalme.

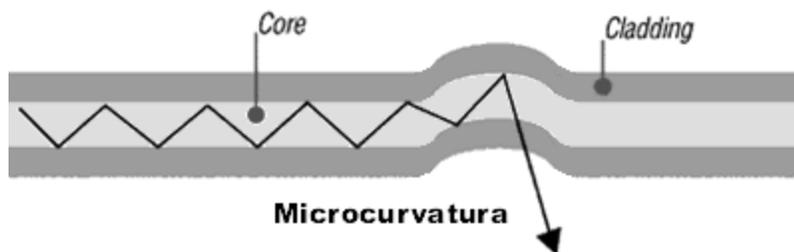
Las pérdidas por curvaturas se producen cuando le damos a la fibra una curvatura excesivamente pequeña (radio menor a 4 o 5 cm) la cual hace que los haces de luz logren escapar del núcleo, por superar el ángulo máximo de incidencia admitido para la reflexión total interna.

Figura 37. Perdida por curvatura.



También se dan cuando, al aumentar la temperatura y debido a la diferencia entre los coeficientes de dilatación térmica entre fibras y buffer, las fibras se curvan dentro del tubo.

Figura 38. Perdida por temperatura.

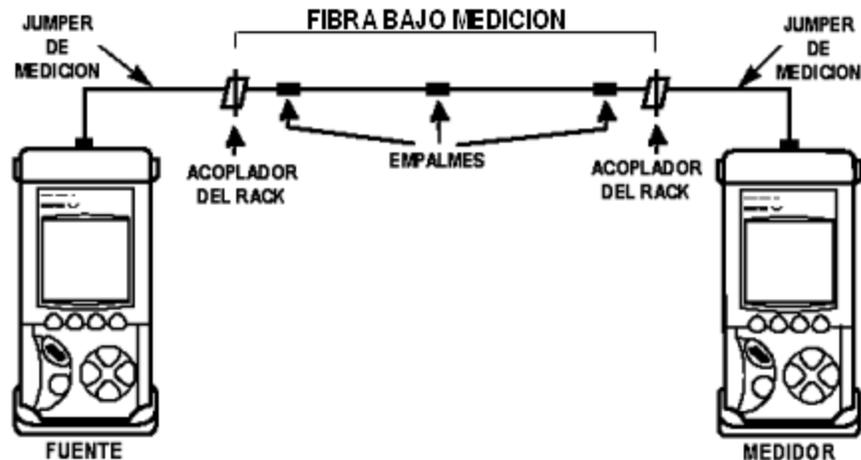


2.6.4.11 Atenuación digital. Atenuación que se produce en comunicaciones digitales cuando a un valor cuantificado, un octeto, se le asigna otro valor menor, según una tabla de atenuación digital. Esta atenuación modifica la secuencia de los bits en el octeto, por lo que no se mantiene la integridad de los bits, no debiéndose usar en transmisión de datos.

2.6.4.12 Atenuación por tramo. Es debida a las características de fabricación propia de cada fibra (naturaleza del vidrio, impurezas, etc.) y se mide en **dB/Km**, lo cual nos indica cuántos dB se perderán en un kilómetro.

2.6.4.13 Medición de atenuación total de un tramo (Medición de potencia). Para medir la atenuación total de un enlace de fibra, se utilizan una fuente de luz y un medidor, que se conectarán en ambos extremos de la fibra a medir.

Figura 39. Medida de la atenuación.



2.6.4.14 Atenuación por empalme. Cuando empalmamos una fibra con otra, en la unión se produce una variación del índice de refracción lo cual genera reflexiones y refracciones, y sumándose la presencia de impurezas, todo esto resulta en una atenuación.

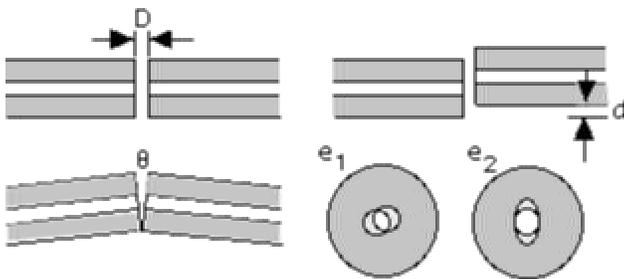
Los tipos de pérdidas son los siguientes:

- **Por inserción.** Es la atenuación que agrega a un enlace la presencia de un conector o un empalme.
- **De retorno o reflectancia.** Es la pérdida debida a la energía reflejada, se mide como la diferencia entre el nivel de señal reflejada y la señal incidente, es un valor negativo y debe ser menor a -30 dB (típico -40dB). En ocasiones se indica obviando el signo menos.

2.6.4.15 Empalmes Atenuados. En algunos casos, la atenuación de un tramo de FO es tan baja que en el final del mismo la señal óptica es demasiado alta y puede saturar o dañar el receptor. Entonces es necesario provocar una atenuación controlada y esto se hace con la misma empalmadora, con la función de empalme atenuado.

En este dibujo se pueden ver todos los causales de atenuación geométrica

Figura 40. Atenuación geométrica.



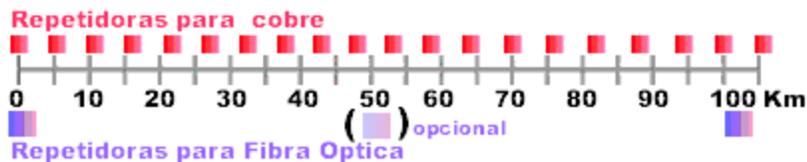
Entonces, para realizar empalmes atenuados una empalmadora puede desalinear los núcleos o darle un ligero ángulo a una de las dos fibras.

2.6.4.16 Cables de Cobre vs. F.O. Según el método de transmisión de datos, un par F.O. pueden transmitir la misma cantidad de información que 2200 pares telefónicos.

Con F.O. puedo ampliar considerablemente la capacidad de transmisión, sin necesidad de tender nuevos ductos.

Existen bobinas de F.O. de hasta 12Km, siendo las más comunes las de 4Km, lo cual implica menor cantidad de empalmes.

Figura 41. Repetidora de fibra óptica.



Atenuaciones típicas:

Coaxil: 40 a 80dB/Km , a 1GHz, a 20 °C

Fibra: 0.20 dB/Km , a 1550 nm

2.6.4.17 Ventajas de las F.O.

- Diámetro y peso reducidos lo que facilita su instalación
- Excelente flexibilidad
- Inmunidad a los ruidos eléctricos (interferencias)
- No existe diafonía (no hay inducción entre una fibra y otra)

- Bajas pérdidas, lo cual permite reducir la cantidad de estaciones repetidoras
- Gran ancho de banda que implica una elevada capacidad de transmisión
- Estabilidad frente a variaciones de temperatura
- Al no conducir electricidad no existe riesgo de incendios por arcos eléctricos
- No puede captarse información desde el exterior de la fibra
- El Dióxido de Silicio, materia prima para la fabricación de F.O., es uno de los recursos más abundantes del planeta.
- Presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes. Un cable de 10 fibras tiene un diámetro aproximado de 8 o 10 mm. y proporciona la misma o más información que un coaxial de 10 tubos.
- El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, redundando en su facilidad de instalación.
- El sílice tiene un amplio margen de funcionamiento en lo referente a temperatura, pues funde a 600C. La F. O. presenta un funcionamiento uniforme desde -550 C a +125C sin degradación de sus características.

2.6.4.18 Desventajas

- Para obtener, desde la arena de cuarzo, el Dióxido de silicio purificado es necesaria mayor cantidad de energía que para los cables metálicos.
- Las F.O. son muy delicadas lo cual requiere un tratamiento especial durante el tendido de cables.

- Corta vida de los emisores láser.

Cuadro 2. Ventajas e Inconvenientes de la fibra óptica.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps.</p> <p>Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.</p> <p>Video y sonido en tiempo real.</p> <p>Es inmune al ruido y las interferencias.</p> <p>Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada.</p> <p>Carencia de señales eléctricas en la fibra.</p> <p>Presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes.</p> <p>El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos.</p> <p>La materia prima para fabricarla es abundante en la naturaleza.</p> <p>Compatibilidad con la tecnología digital.</p>	<p>Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.</p> <p>El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.</p> <p>El coste de instalación es elevado.</p> <p>Fragilidad de las fibras.</p> <p>Disponibilidad limitada de conectadores.</p> <p>Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.</p>

2.6.4.19 Ventajas de las comunicaciones por fibra óptica. Existen principalmente tres implementaciones diferentes del canal físico. Estas son el par trenzado, el coaxial y la fibra óptica.

Será por tanto, importante justificar la utilización de la fibra óptica, ya que de su elección vendrán determinadas las especificaciones del sistema final. Aquí sólo comentaremos algunas de las ventajas más importantes de este medio, como son:

- **Ancho de banda.** La capacidad potencial de transportar información crece con el ancho de banda del medio de transmisión y con la frecuencia de portadora. Las fibras ópticas tienen un ancho de banda de alrededor de 1 THz. De manera que el ancho de banda de las fibras excede ampliamente al de los cables de cobre.
- **Bajas pérdidas.** Las pérdidas indican la distancia a la cual la información puede ser enviada. En un cable de cobre, la atenuación crece con la frecuencia de modulación. En una fibra óptica, las pérdidas son las mismas para cualquier frecuencia de la señal hasta muy altas frecuencias.
- **Inmunidad electromagnética.** La fibra no irradia ni es sensible a las radiaciones electromagnéticas, ello las hace un medio de transmisión ideal cuando el problema a considerar son las EMI.

- **Seguridad.** Es extremadamente difícil intervenir una fibra, y virtualmente imposible hacer la intervención indetectable, por ello es altamente utilizada en aplicaciones militares.
- **Bajo peso.** Un cable de fibra óptica pesa considerablemente menos que un conductor de cobre.

2.6.4.20 Comparación con otros medios de comunicación.

2.6.4.20.1 Comparación con los cables coaxiales.

Cuadro 3. Comparación entre fibra óptica y cable coaxial

CARACTERÍSTICAS	FIBRA OPTICA	COAXIAL
Longitud de la Bobina (Mts)	2000	230
Peso (Kgs/Km)	190	7900
Diámetro (mm)	14	58
Radio de Curvatura (Cms)	14	55
Distancia entre repetidores (Kms)	40	1.5
Atenuación (dB / Km) para un Sistema de 56 Mbps	0.4	40

2.6.4.21 Comunicaciones por satélite Vs fibra óptica. Es más económica la fibra óptica para distancias cortas y altos volúmenes de tráfico, por ejemplo, para una ruta de 2000 circuitos, el satélite no es rentable frente a la solución del cable de fibras hasta una longitud de la misma igual a unos 2500 Kms.

La calidad de la señal por cable es por mucho más alta que por satélite, porque en los geoestacionarios, situados en órbitas de unos 36,000 Kms. de

altura, y el retardo próximo a 500 mseg, introduce eco en la transmisión, mientras que en los cables este se sitúa por debajo de los 100 mseg admitidos por el CCITT. La inclusión de supresores de eco encarece la instalación, disminuye la fiabilidad y resta la calidad al cortar los comienzos de frase.

El satélite se adapta a la tecnología digital, si bien las ventajas en este campo no son tan evidentes en el analógico, al requerirse un mayor ancho de banda en aquel y ser éste un factor crítico en el diseño del satélite.

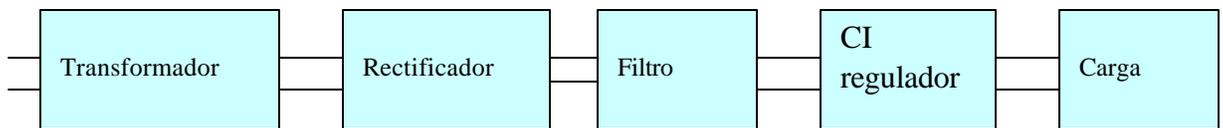
3. DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

Debe suministrar +5V y -5V con una capacidad de 0.4 Amperios aproximadamente.

Preferiblemente con bajo rizado, para minimizar ruidos. El diagrama de bloques de la fuente requerida es el siguiente:

Figura 42. Diagrama de bloques de la fuente de Alimentación.



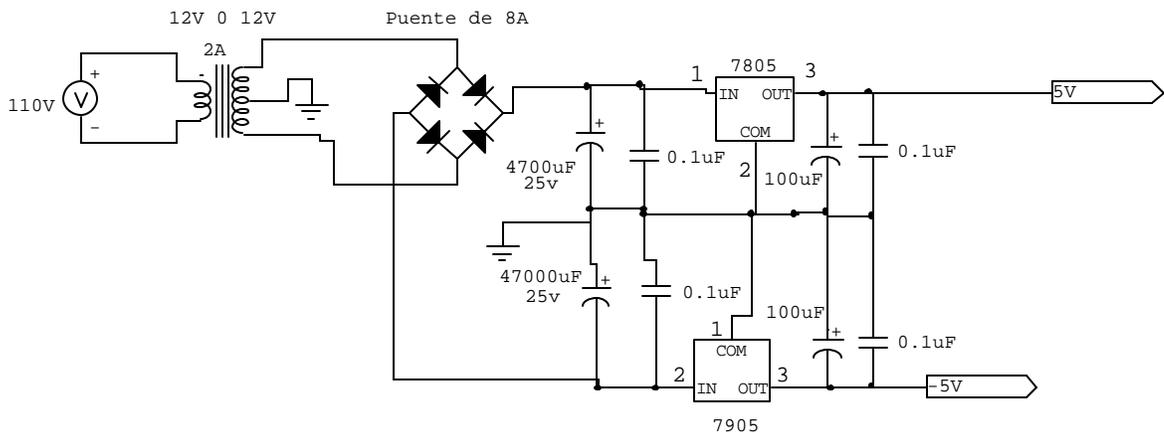
Debido a la simplicidad de la fuente de alimentación, se utilizaron reguladores de voltajes integrados, para construir la fuente doble. Uno fue el 7805 que regula 5V a 1A y el otro el 7905 que regula -5V a 1A. Cada fuente posee condensadores de 4700 uF lo que garantiza un excelente rizado, y los condensadores de salida y entrada que sugiere el fabricante en las hojas características de los integrados.

Para lograr producir los dos niveles fue necesario la utilización de un transformador con tab central; se seleccionó de $\pm 12V$ a 2A, para que trabajara sin ser forzado en el circuito, de igual forma para no someter a los reguladores a un voltaje alto en su terminal de entrada.

El puente rectificador utilizado es de 3A, con lo cual se garantiza su correcto funcionamiento sin calentamiento alguno.

El Esquemático de la fuente es el siguiente:

Figura 43. Circuito de la fuente de alimentación.



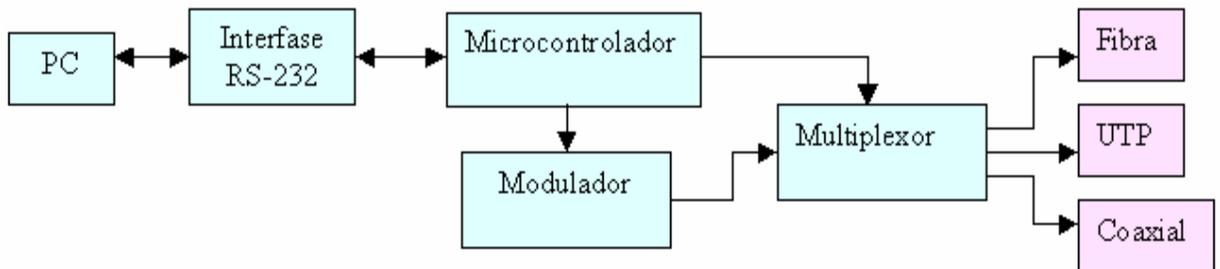
3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO CODIFICADOR.

3.2.1 Parámetros. El circuito codificador debe ser capaz de comunicarse con el computador para poder generar el código deseado por el usuario.

- Debe permitir diferentes velocidades de transmisión.
- Realizar todas las codificaciones de los códigos, velocidades y la selección digital del medio de transmisión deseado.
- Poseer una interfase o modulador, capaz de convertir los códigos digitales del microcontrolador a señales de 0V, 5V o -5V.

El siguiente esquema es el diagrama de bloques del circuito codificador.

Figura 44. **Diagrama de bloques del circuito codificador.**



El microcontrolador debe leer del computador el dato a codificar, el medio a seleccionar, habilita el medio de transmisión con el multiplexor y envía los códigos al modulador para que este genere los niveles de señales deseados dependiendo del tipo de codificación.

3.2.2 Implementación. Para la Interfase RS-232 entre el PC y el microcontrolador, se seleccionó el chip MAX -232 de Maxim, el cual con un número reducido de componentes, realiza la interfaz deseada.

- Para minimizar el Hardware, se vio conveniente realizar todas las codificaciones por software e implementar esto en un microcontrolador. Este Microcontrolador debe poseer las siguientes características.
- Un puerto Serial asíncrono que permita la comunicación con el Computador.
- Un puerto serial síncrono, que facilite la transmisión tanto del dato deseado como el reloj o velocidad de transmisión.
- Una capacidad de memoria de programa que permita alojar todas las rutinas que harán referencia al código deseado.

- Suficiente puertos de entrada y salida, para manejar el circuito modulador y el selector de medio de transmisión.
- Manejo de interrupciones, que permitan realizar un programa más eficiente y en tiempo real.
- El microcontrolador seleccionado fue el PIC 16f873 de 28 pines, el cual cuenta con todas las características anteriormente mencionadas y además posee un tamaño reducido e ideal para minimizar el hardware del proyecto.
- Se seleccionó un cristal de 4MHZ para trabajar el microcontrolador, ya que este presenta menos porcentaje de error al implementar las rutinas de transmisión asíncrona o UART, como también la sincronía. Este cristal conlleva a una velocidad por instrucción del micro de 1MHz.
- Con el Multiplexor lo que se busca es que el microcontrolador sea capaz de seleccionar el medio de transmisión deseado por el usuario de manera automática.
- El multiplexor necesitado es de 3 canales y debe ser análogo, ya que conmutará señales de 0V,5V y -5V.
- Para dicho propósito se seleccionó el multiplexor/demultiplexor CMOS, que permite señales análogas: CD4051, este es de 8 canales, lo que permite en un futuro poder ampliar la aplicación a 4 medios más de transmisión.

3.2.3 Diseño del Circuito Modulador. Al pretender tres niveles posibles de voltaje, y al trabajar el microcontrolador solo con señales binarias, se da la necesidad de diseñar un circuito que convierta las señales binarias del microcontrolador en cualquiera de los tres niveles de tensión deseados.

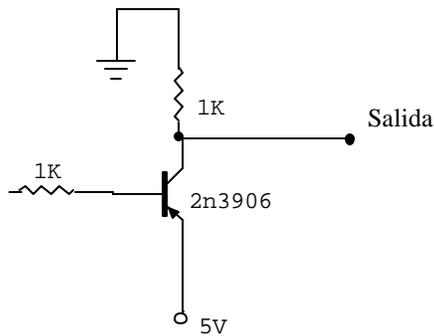
- Al ser tres niveles, se deduce que el microcontrolador deberá generar un código de dos bits, el cual deberá ser transformado por el modulador en el nivel deseado.
- La forma escogida para dicho fin es por medio de conmutación de transistores. Con un solo transistor será posible generar dos niveles, de ahí que deban ser utilizados por lo menos, dos transistores.
- Al trabajar con señales de corriente pequeña y bajo voltaje, los transistores utilizados no consumirán mucha potencia.

3.2.3.1 El diseño consta de dos partes. **Diseño de una etapa con transistor para generar 0V o 5V.**

Si se desea que el estado natural sea 0V para limitación de consumo de potencia, y que al conmutar se obtenga los 5V, la mejor manera es utilizar un transistor PNP en conmutación.

Hasta este momento el diseño quedará de la siguiente manera.

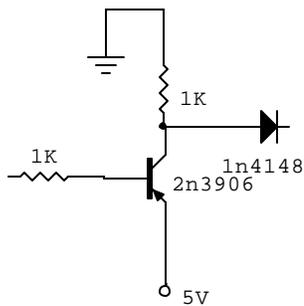
Figura 45. Diagrama de bloques del circuito codificador.



Este Circuito al recibir 0V del microcontrolador genera un nivel de 5V a la salida y al recibir 5V, genera un nivel de 0V. Debido a lo anteriormente mencionado, el transistor actúa en conmutación y el consumo de potencia es mínimo, de ahí que se seleccionó el 2N3906 por su bajo costo y reducido tamaño.

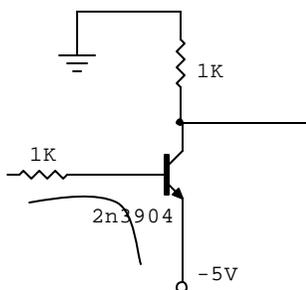
Para optimizar el diseño y dejar como prioridad la salida de 5V y evitar una posible carga entre las dos etapas a diseñar, se coloca un diodo a la salida de la siguiente manera:

Figura 46. Bloque generador de 5v en el modulador, con diodo limitador.



3.2.3.2 Diseño de otra etapa para lograr el nivel de -5V. De igual forma es viable la utilización de otro transistor en conmutación, pero en este caso NPN. El Circuito Inicialmente quedaría de la siguiente manera:

Figura 47. Bloque generador de -5v en el modulador.



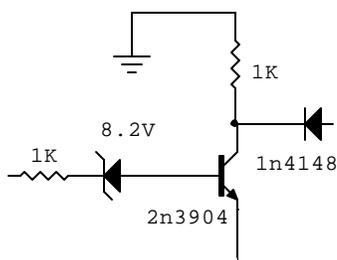
Pero como el microcontrolador es capaz de generar 0V o 5V, se observa que siempre el transistor entrará en conmutación y generará -5V a la salida, debido a que de las dos forma la base y el emisor se polarizan adecuadamente.

Para solucionar este problema, se ve indispensable colocar un elemento electrónico que impida la polarización correcta del transistor, o que impida que la base y el emisor queden a los 0.7V necesarios.

Al analizar se deduce que al colocar 0V a la resistencia de la base, la malla indicada por la flecha queda alimentada por una fuente de 5V.

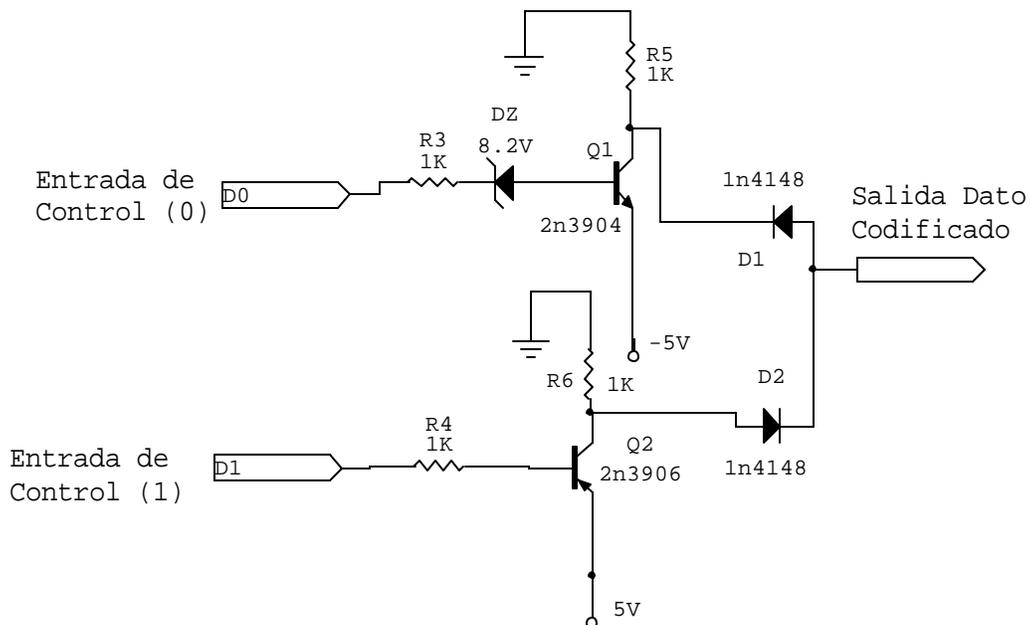
Pero si se coloca 5V, en dicha resistencia, la malla o fuente que vera esta parte del circuito será de 10V. Por está razón si se conecta un diodo Zener en serie con la base del transistor para subir el nivel de polarización. Este debe ser mayor de 5V y menor de 10V, para que el transistor conmute ahora, si se coloca 5V y no lo haga al colocar 0V. Para efectos se seleccionó un zener de 8.2V a medio vatio ya que el consumo de potencia es mínimo. De igual forma como solo interesa dejar pasar los -5V, se coloca un diodo, que además impedirá realimentación entre etapas. Esta etapa quedará entonces de la siguiente manera:

Figura 48. Bloque final que genera -5v en el modulador.



Al colocar los diodos a la salida de cada etapa se pueden acoplar sin problemas. La primera etapa al conmutar genera los 5V, la segunda los -5V y si no conmuta ninguna se logran los 0V. El circuito del modulador completo sería:

Figura 49. Diagrama del modulador



La siguiente tabla describe el nivel de salida obtenido, dependiendo el dato de control aplicado al circuito conmutador.

Cuadro 4. Nivel de entrada y de salida del modulador.

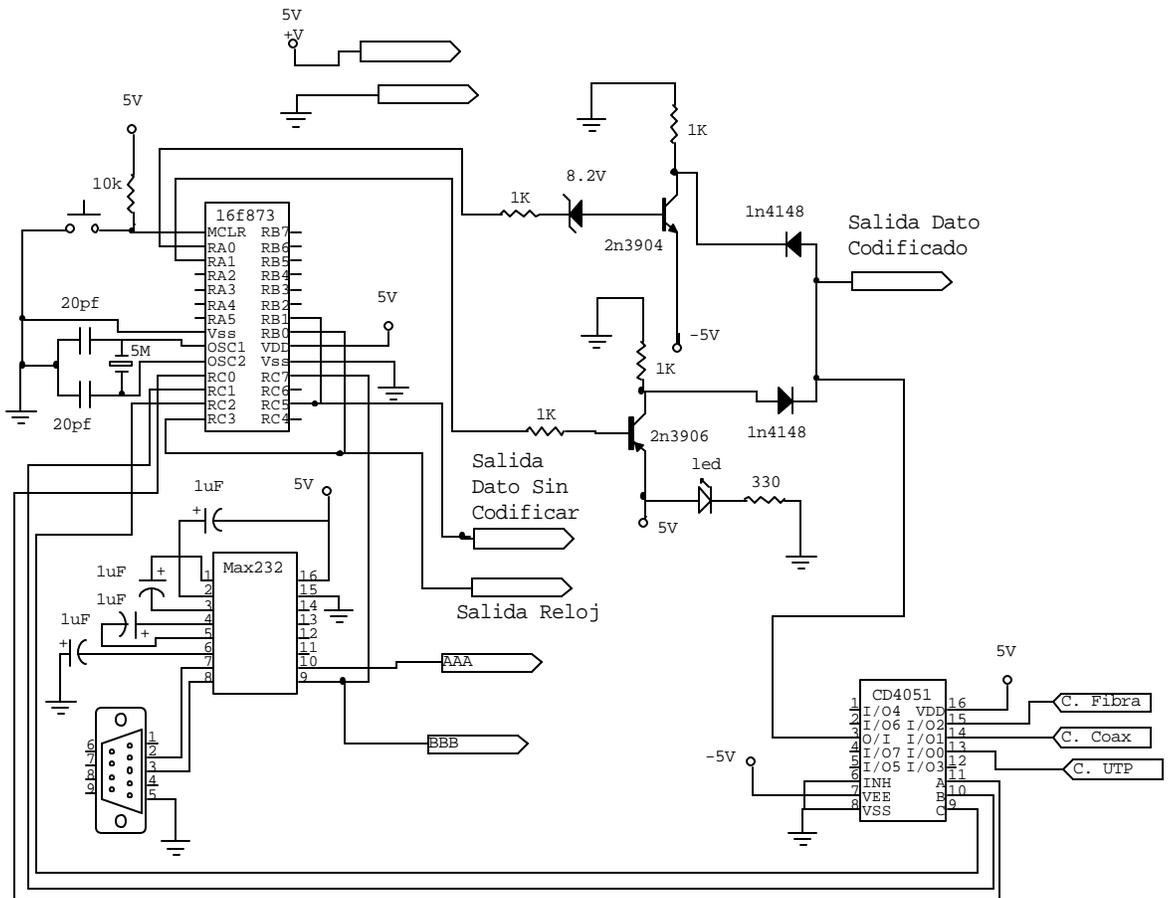
ENTRADAS		SALIDA
D1	D0	NIVEL
0	0	5
0	1	5
1	0	0
1	1	-5

Una vez analizado esto se observa que el uC debe generar los códigos de entradas correspondiente al nivel de salida que quiere obtener del

modulador, además se observa que se pueden seleccionar dos códigos como validos para generar el nivel de 5V.

El esquemático completo del circuito Codificador es:

Figura 50. Circuito codificador.



3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DECODIFICADOR.

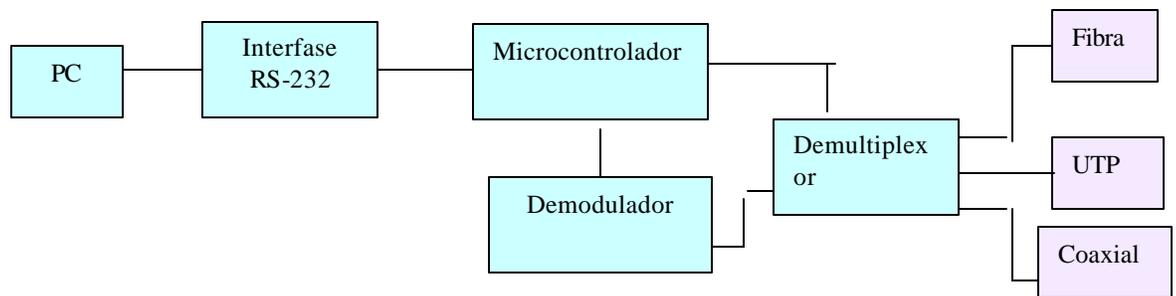
3.3.1 Parámetros. Debe ser capaz de comunicarse con el computador para poder Trasmitir el código decodificado.

- Debe permitir decodificar diferentes velocidades de transmisión.

- Realizar todas las decodificaciones y selección digital del medio de transmisión deseado, del cual se obtendrá la señal.
- Poseer una interfase o demodulador, capaz de convertir las señales de 0V, 5V o -5V en códigos digitales que serán enviados al computador.

A continuación se muestra el diagrama de bloque del decodificador

Figura 51. Diagrama de bloques del decodificador.



El microcontrolador controla al demultiplexor y le indica cual de las señales será aplicada al demodulador, el cual las convierte en códigos digitales, que el micro interpreta y luego envía al computador como el dato decodificado.

3.3.2 Implementación. Para minimizar el Hardware, se vio conveniente realizar todas las decodificaciones por software e implementar este en un microcontrolador. Al realizar las decodificaciones en un microcontrolador se limita la velocidad máxima de transmisión de los datos, debido a que se deben implementar rutinas de codificación para cada uno de los códigos deseados y estas rutinas unidas con el cristal que se elija para manejar el micro determinarían la máxima velocidad de transmisión. Pero debido al carácter didáctico de este proyecto de tesis es viable la utilización del microcontrolador, ya que esto conlleva a implementar mucho más diseño y

aplicación de conocimientos adquiridos, que el solo hecho de seleccionar un chip que posea todo el software diseñado de fabrica. Este Microcontrolador debe poseer las siguientes características:

- Un puerto Serial asíncrono que permita la comunicación con el Computador.
- Un puerto serial sincrónico, que facilite la transmisión tanto del dato deseado como del reloj o velocidad de transmisión.
- Una capacidad de memoria de programa que permita alojar todas las rutinas que harán referencia al código deseado.
- Suficiente puertos de entrada y salida, para manejar el circuito demodulador y el selector de medio de transmisión.
- Manejo de interrupciones, que permitan realizar un programa más eficiente y en tiempo real.
- El microcontrolador seleccionado fue el PIC 16f873 de 28 pines, el cual cuenta con todas las características anteriormente mencionada y además posee un tamaño reducido e ideal para minimizar el hardware del proyecto.
- Se seleccionó un cristal de 4MHZ para trabajar el microcontrolador, ya que este presenta menos porcentaje de error al implementar las rutinas de transmisión asíncrona o UART, como también la sincronía. Este cristal conlleva a una velocidad por instrucción del micro de 1MHz.
- La rutina más larga implementada en el micro es la decodificación de HDB3 y esta demora aproximadamente 0.1milisegundos.

- Este hecho conlleva a una velocidad de datos de transmisión eficiente de 10K.
- De ahí que al ser didáctico el proyecto, se seleccionaron velocidades de 2, 5, 10 y 15K; La de 15K solo con el fin de ver los errores que se presentan al decodificar el dato, ya que el micro no completa satisfactoriamente la decodificación en ciertos códigos.
- El Demultiplexor se utiliza para que el micro sea capaz de seleccionar el medio de transmisión deseado por el usuario de manera automática.
- El Demultiplexor necesitado es de 3 canales y debe ser análogo, ya que conmutará señales de 0V, 5V y -5V.
- Para dicho propósito se seleccionó el multiplexor/demultiplexor CMOS, que permite señales análogas: CD4051, este es de 8 canales, lo que permite en un futuro poder ampliar la aplicación a 4 medios más de transmisión.

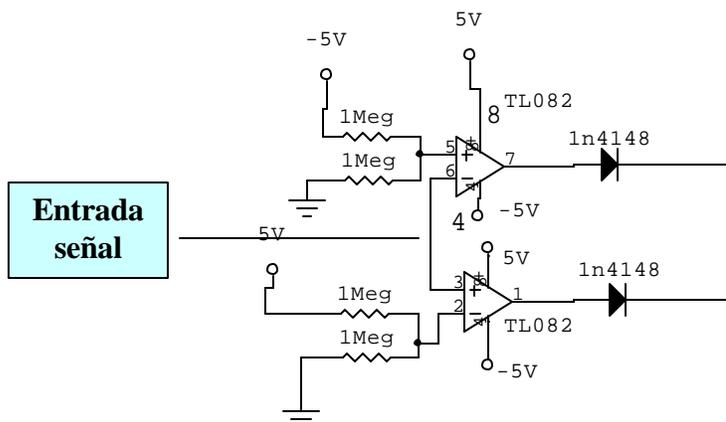
3.3.3 Diseño del Circuito Demodulador. Al ser señales de tres niveles obtenidas del medio de transmisión, éstas no pueden ser aplicadas directamente al microcontrolador, sino que deben ser convertidas en códigos binarios de dos bits, que el micro pueda posteriormente decodificar.

- Para simplificar el diseño se utilizan comparadores de voltaje con el fin de convertir las señales a niveles lógicos.
- La manera más sencilla es realizar un comparador de ventana, es decir, que compare entre dos límites o voltajes de referencia establecidos.

- Debido a que el límite superior es de 5V y el inferior de -5V, se utiliza una ventana a la mitad de cada valor, es decir, de 2.5V y -2.5V, de esta forma se garantiza el correcto funcionamiento del comparador a las señales de entrada.
- El voltaje de referencia de cada comparador se establece con dos resistencias del mismo valor conectado a la fuente de alimentación, ya sea a 5V o -5V, con el fin de minimizar componentes externos.
- Como criterio de diseño se seleccionaron resistencias de $1M\Omega$, para seguir manteniendo una impedancia de entrada alta, ante la señal aplicada.
- Al estar alimentados los comparadores con $\pm 5V$, es posible que para ciertos niveles de señales, estos posean -5V a la salida, de ahí que es necesario colocar diodos para garantizar que esta señal no pase al microcontrolador, sino solo los 5V.

El circuito diseñado de acuerdo los parámetros antes descritos es el siguiente.

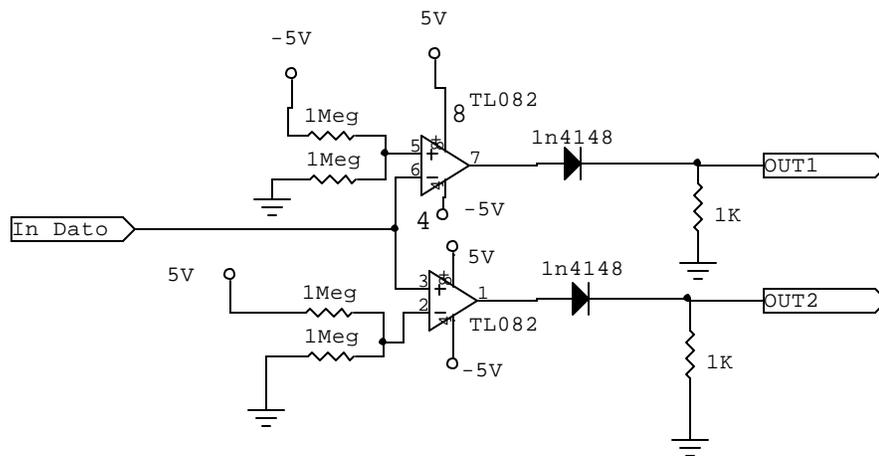
Figura 52. Etapa Demoduladora



En este circuito cada comparador deja pasar solo señales positivas, pero si son cero, son bloqueadas por los diodos. Con el fin de garantizar que el micro si vea reflejado el cero en su entrada cuando es necesario, se utilizó una resistencia aterrizada después de cada diodo y de esta forma impedir la lectura de bits falsos por parte del microcontrolador.

El circuito completo del demodulador es:

Figura 53. Demodulador Completo



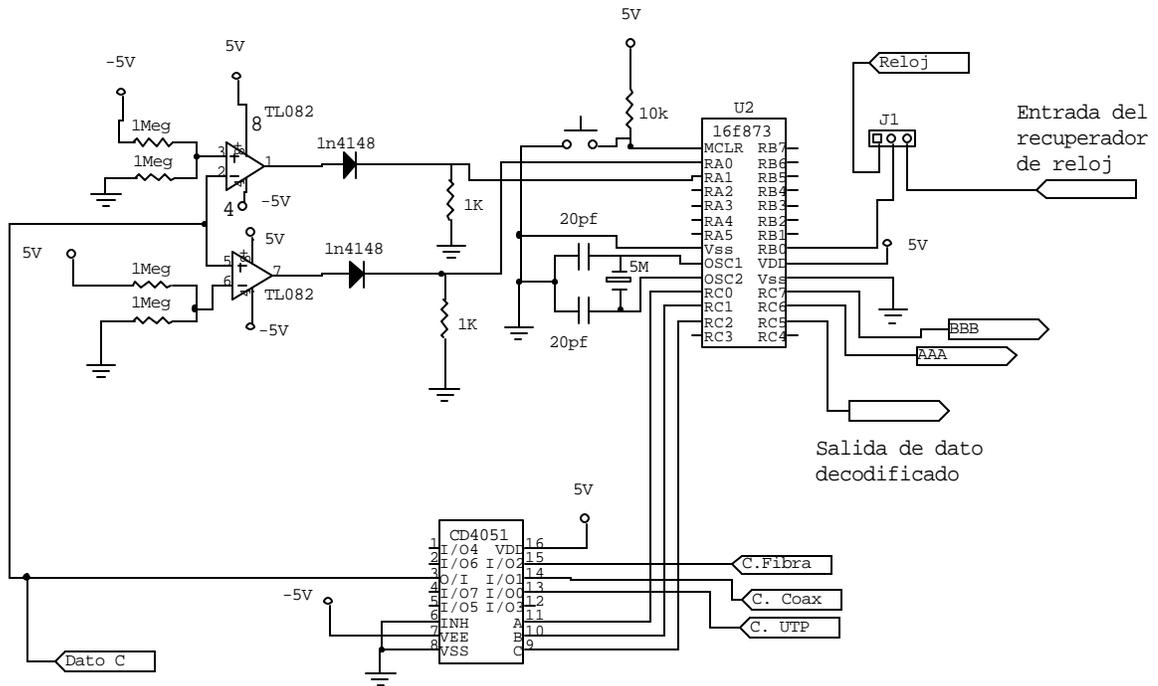
El comparador de ventana, dependiendo de la señal de entrada, generará los siguientes códigos a su salida:

Cuadro 5. Niveles de entrada y salida del demodulador

NIVEL DE ENTRADA	CÓDIGOS EN LA SALIDA	
	OUT1	OUT2
-5	1	0
5	0	1
0	0	0

El esquemático del decodificador completo es:

Figura 54. Diagrama del Transmisor.



3.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FIBRA ÓPTICA.

Este circuito esta formado por un transmisor y un receptor.

3.4.1 Parámetros de Diseño del Transmisor. El circuito debe excitar un LED

infrarrojo.

- Debido a que las señales son de baja corriente el LED debe ser excitado por un transistor.

El diagrama de bloques para los circuitos de fibra óptica es:

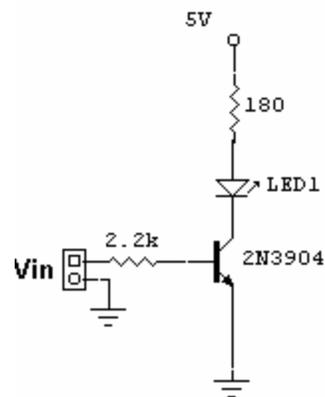
Figura 55. Diagrama de bloques de la transmisión por F.O.



Para el caso se seleccionó el transistor 2N3904, el cual ofrece características eficientes y económicas, actuando en conmutación para excitar al LED. Se selecciona NPN por facilidad, para que el transistor conmute con los 5V y para que no lo haga con 0V o -5V, se observa que solo se trabajarán dos voltajes, es decir, solo se pueden transmitir códigos que utilicen dos niveles.

El circuito es sencillo y el esquemático es el siguiente:

Figura 56. Diagrama del circuito transmisor para la fibra óptica



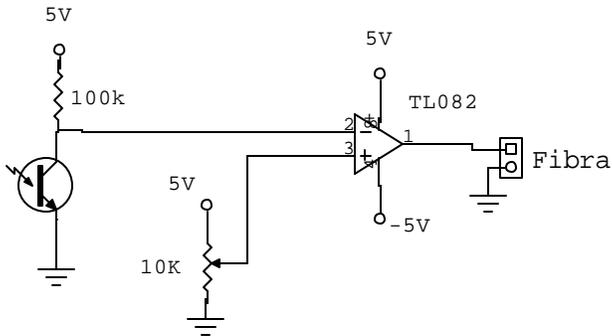
3.4.2 Parámetros de Diseño del Receptor

- Utilizar un fototransistor como receptor.
- Determinar la resistencia que ubica al fototransistor cerca de la zona de saturación.
- Utilizar un medio que permita ajustar la recepción en caso que existan cambios de la características del fototransistor, sea por temperatura u otros.
- Para ajustar la resistencia del fototransistor, se hicieron varias pruebas de recepción colocando un potenciómetro junto con el fototransistor, esto arrojó una mayor confiabilidad de recepción con una resistencia cercana a 100K.
- Para ajustar la recepción en caso de cambio por características del fototransistor, se utilizó un comparador de voltaje, que posee un

potenciómetro de precisión el cual permite ajustar el voltaje acorde a la capacidad de recepción que posee en un instante dado el fototransistor.

El esquemático del circuito es el siguiente.

Figura 57. Diagrama del circuito receptor para fibra óptica.



3.5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DEL PC.

3.5.1 Características del software. El programa que se desarrolló en el pc debe poseer las siguientes características.

- Ejecutarse bajo Windows.
- Ser de fácil manejo.
- Dar la opción de utilizar varios puertos serial.
- Brindar al usuario la facultad de seleccionar: El medio, velocidad, tipo de codificación y dato a enviar.
- Comunicarse en forma serial con el microcontrolador codificador y el decodificador.
- Mostrar constantemente el dato recibido del codificador y calcular la BER y numero de bits errados.

3.5.2 Implementación. Se Seleccionó Delphi 5.0 para la elaboración del Software, por su fácil manejo y numerosos componentes que se adaptaban a los requerimientos establecidos.

- Vía internet se adquirió el componente para manejar el puerto serial y el que realiza el espectro en frecuencia del dato recibido.
- El software es bastante sencillo, presenta varias casillas de selección, que permiten escoger el puerto serial, medio de transmisión, velocidad de bits y tipo de codificación. El componente Radiogroup de Delphi brinda todas las facilidades para este proceso selectivo.
- Una vez configurado, se creó una casilla donde se puede teclear el código a enviar.
- El software envía toda esta información en forma serial al codificador por medio del componente Comm, el cual se optó por configurar a una velocidad de transmisión de 9600 baudios.
- El mismo componente Comm, se configura para que cada vez que reciba una interrupción de Recepción, es decir, cuando reciba el dato codificado lo muestre en una casilla, aplique la Fórmula de BER y también lo muestre.

La siguiente es la ventana del software:

Figura 58. Ventana del Software.

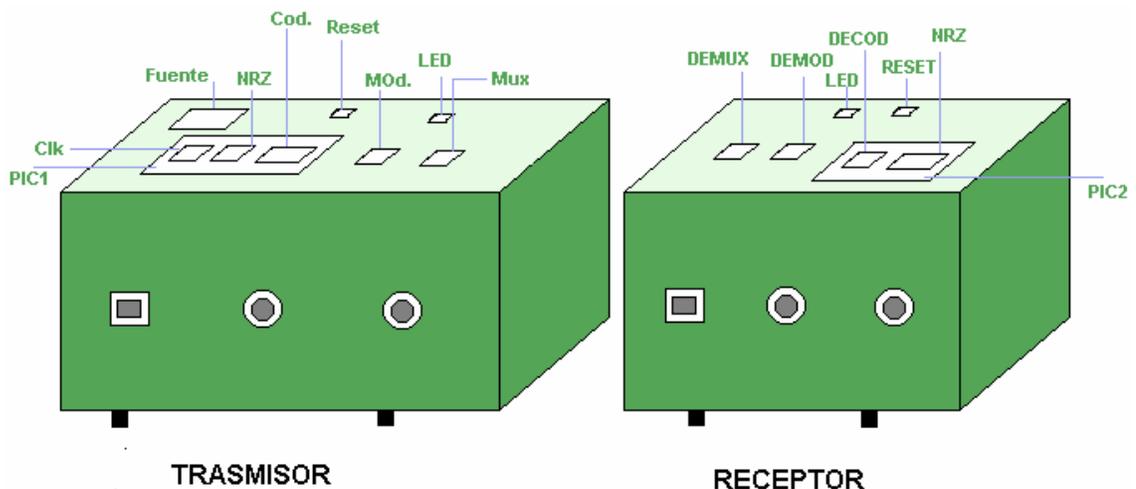


4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DESARROLLADO.

INTRODUCCIÓN

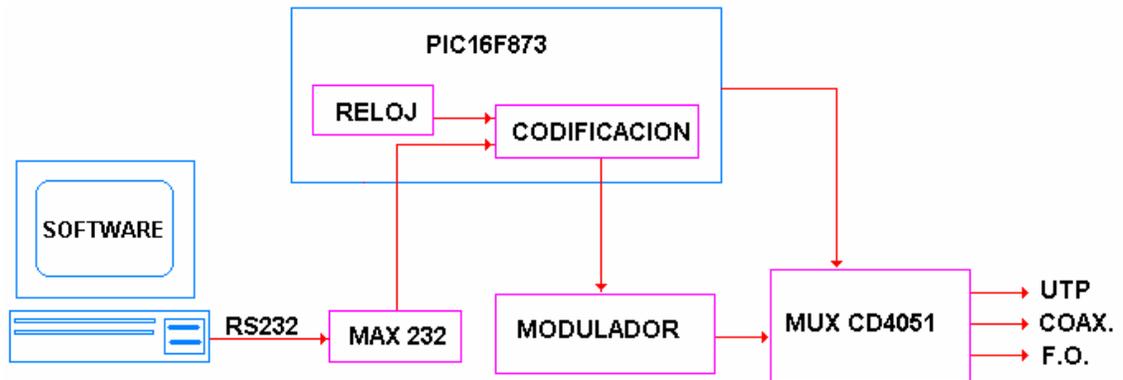
El equipo desarrollado está dotado de conversores de códigos NRZ, RZ, AMI, HDB3, MANCHESTER y CMI, los cuales se encuentran programados en el primer microcontrolador (PIC1 16F873). Estos están contenidos en las estructuras metálicas que hacen parte del hardware, como se muestra a continuación:

Figura 59. Representación del equipo de prueba.



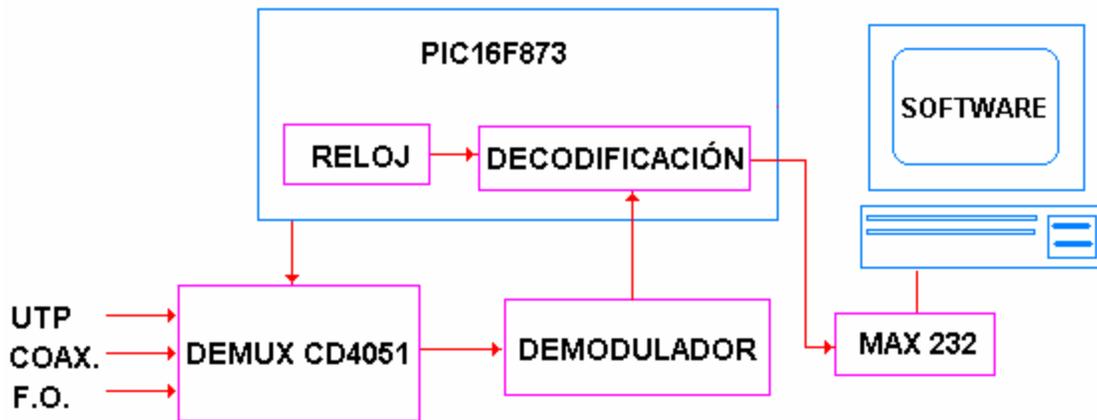
Para mayor claridad se incluye el diagrama de bloques del circuito transmisor

Figura 60. Diagrama de bloques del transmisor.



El dato se introducirá por medio de un computador que estará intercomunicado a través del puerto serial RS-232 con un microcontrolador (PIC1 16F873). En una ventana del computador se puede introducir el dato, escoger la velocidad a la que se va a transmitir, el código empleado para la transmisión, el medio por el cual se va a transmitir y obtener el dato del receptor. Este último será procesado mediante otro microcontrolador (PIC2 16F873). A través del PIC1 se realizarán las operaciones de selección del codificador a utilizar, del medio de transmisión y velocidad de transmisión lo cual será transparente al usuario. Habrá un multiplexor/demultiplexor (CD4051), controlado por el PIC1 para escoger el medio de transmisión que se va a utilizar, como el cable coaxial, UTP y fibra óptica. Ahora se presenta el diagrama de bloques del circuito receptor.

Figura 61. Diagrama de bloques del transmisor.



En el receptor se encuentra otro multiplexor/demultiplexor (CD4051) será manejado por el PIC2 para escoger el decodificador, que será el mismo seleccionado en el codificador. Este dato final es procesado en el PIC2 para luego ser llevado a la pantalla del computador por medio del puerto serial, y proceder a calcular la tasa de error de transmisión (BER). Además de esto el equipo cuenta con terminales de prueba antes y después del medio de transmisión, para colocar osciloscopios y visualizar la señal.

En lo que respecta al software, cuenta con una guía de la correcta utilización del hardware, una explicación de cada uno de los códigos utilizados y simulaciones del hardware como la codificación de cualquier dato de ocho bits (byte) y un programa en Delphi que extrae el espectro de cada código. Este último, en el anteproyecto, se propuso realizarlo en Matlab, pero por facilidades de programación se utilizó el programa Delphi, logrando el mismo objetivo. Este software permite al usuario comparar los resultados con los datos obtenidos en el hardware, admitiendo entonces un óptimo

aprovechamiento del equipo. Además esta simulación servirá como base para realizar el análisis espectral de las señales tratadas.

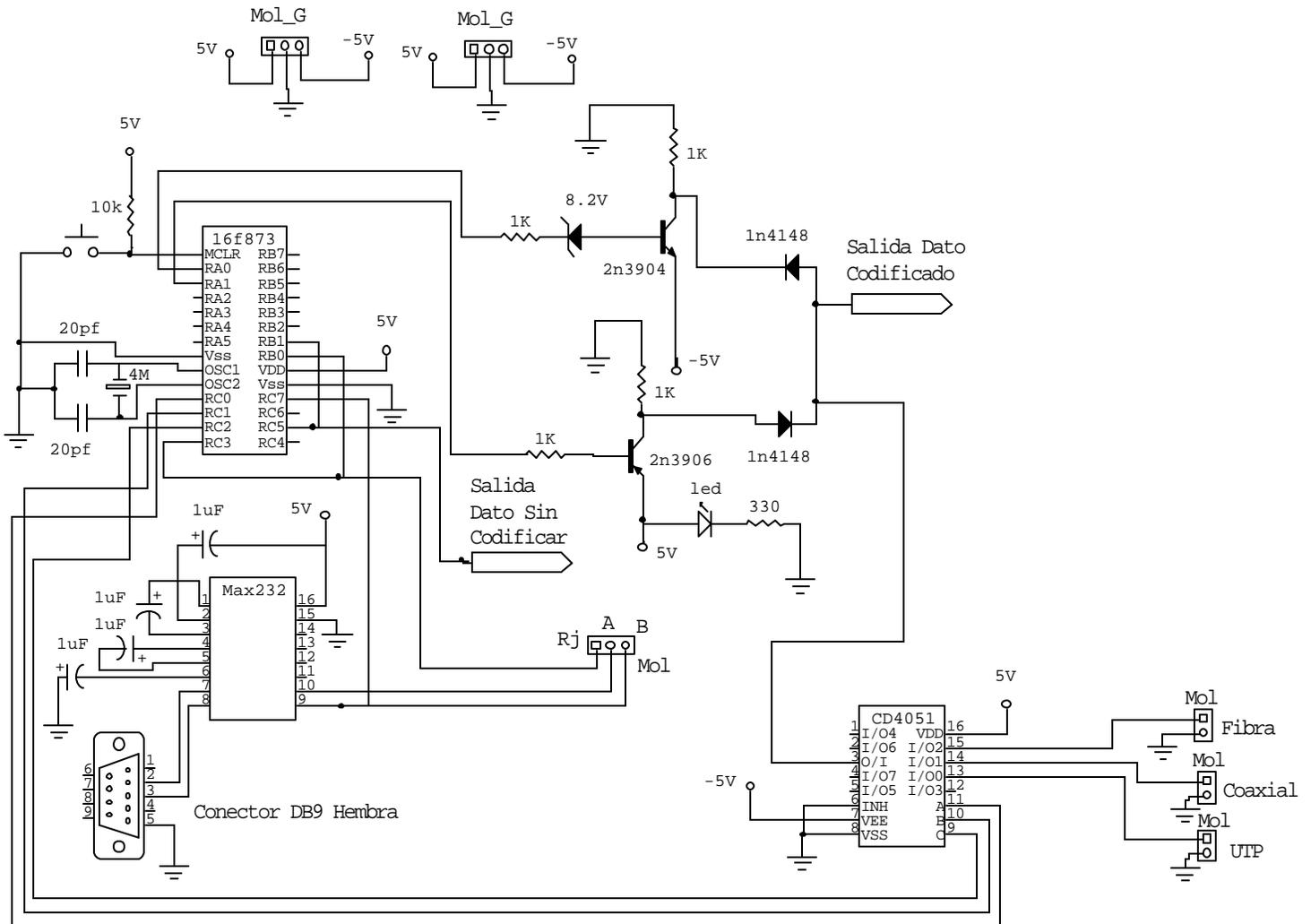
El programa diseñado permite seleccionar el dato que se quiere transmitir, la codificación deseada, la velocidad y el medio de transmisión.

Una vez que el usuario configura los parámetros anteriormente descritos, al pulsar el botón de enviar, la información se trasmite al codificador; este por medio del microcontrolador PIC1 y el hardware asociado inicia la codificación respectiva. El decodificador cuenta con otro microcontrolador PIC2, el cual decodifica el dato, lo captura y lo envía nuevamente al PC para su posterior análisis. Aparece entonces en pantalla el dato recibido y el BER de cada transmisión realizada.

4.1 DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS

4.1.1 Descripción del circuito codificador.

Figura 62. **Circuito codificador y transmisor.**



Este circuito está formado por:

- La CPU o microcontrolador PIC 16F873 (Necesario para realizar la codificación por software y manejar la multiplexación).

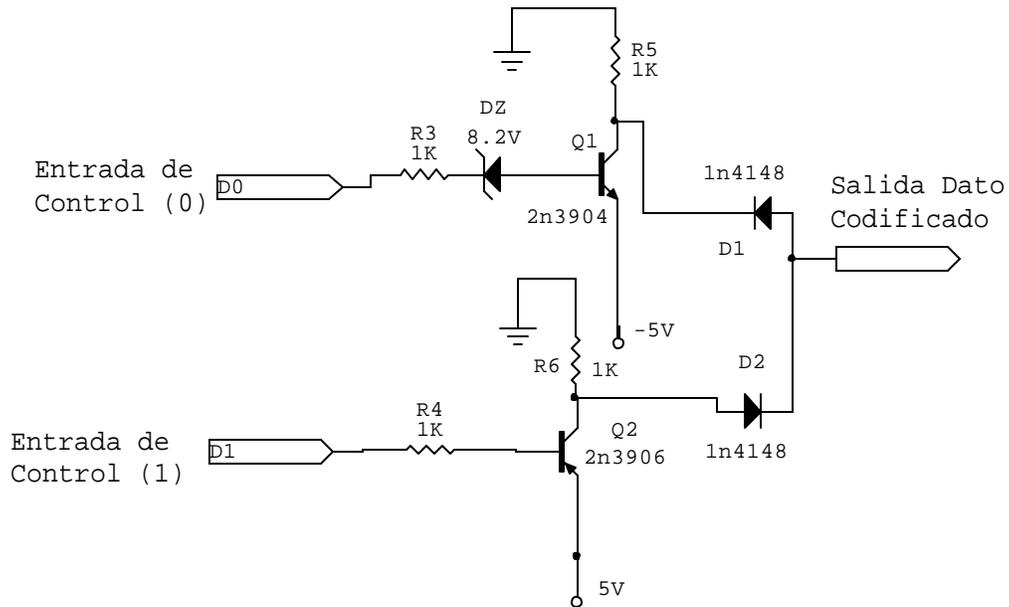
- **Interfase con el PC a través de una conexión hembra DB-9. (Necesario para convertir los niveles RS-232 a TTL y viceversa).**
- **Un Multiplexor CD4051. (Necesario para conmutar la salida al medio de transmisión deseado por el usuario).**
- **Un Modulador. (Necesario para convertir el código que genere el uC, a niveles de 5V, 0V o -5V)**

LA CPU o cerebro de la tarjeta del codificador está representado por el microcontrolador PIC 16F873. Se eligió este uC porque cuenta con un puerto serial UART que facilita la comunicación con el computador, además posee un módulo de transmisión sincrónica, es reprogramable y posee suficiente pines de entrada y salida que satisfacen las exigencias del proyecto.

El uC recibe la configuración del medio de transmisión, velocidad y dato deseado por el usuario del PC, por medio del circuito MAX 232, que es la interfase con el puerto serie del computador. Además el uC controla al multiplexor (Integrado CD4051) el cual se encarga, de acuerdo al dato recibido del uC, de seleccionar uno de los medios de transmisión, este dato se selecciona mediante las entradas A, B, C del CD4051. Otra de las tareas del uC es generar las señales que al ser aplicadas al modulador debe dar los datos del cuadro 4.

El diseño del circuito modulador, se basa en obtener mediante dos entradas digitales, los valores de voltaje correspondiente a +5V, 0V y -5V.

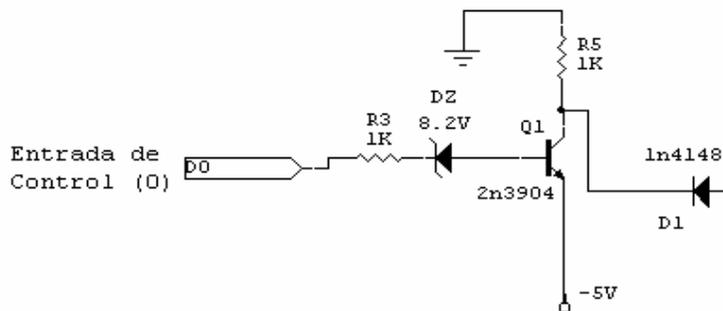
Figura 63. **Modulador.**



Este circuito consta de dos bloques, encargados de generar los niveles de voltajes adecuados para cada codificación. Cada bloque posee un transistor que actúa en conmutación

4.1.1.1 Primer bloque.

Figura 64. **Primer bloque del modulador.**



Para lograr un circuito que sea capaz de generar -5V o 0V al recibir un nivel alto o bajo (0V o 5V), se utiliza la configuración del circuito formado por (R3,

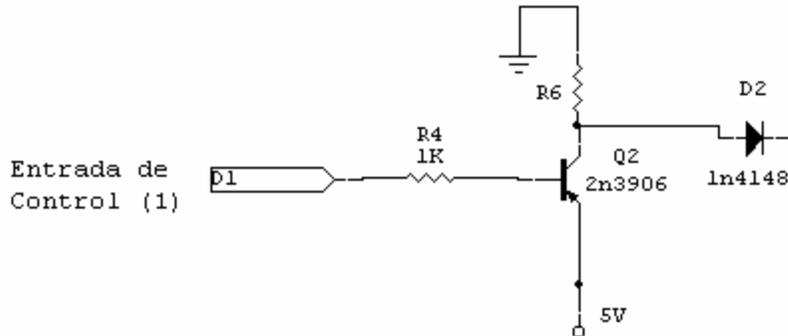
DZ, Q1, R5, D1); en este, Q1 actúa en conmutación, el cual se satura al recibir un nivel superior a 0.7V entre base y emisor; de lo contrario estará en corte.

Se puede observar al realizar un lazo entre R3, DZ, y VBE de Q1, que al aplicar un nivel alto (5V), entre la entrada D0 y el terminal positivo de DZ existe un potencial de: $5V - 0.7V - (-5V) = 5V - 0.7V + 5V = 9.3V$, lo cual permite seleccionar un zener menor de 9.3V para poder polarizar adecuadamente Q1 y por medio de su saturación obtener así -5V en su colector. Si por lo contrario se aplica un nivel bajo (0V) a D0; entonces, el potencial disponible para polarización del zener será: $0V - 0.7 - (-5V) = 4.3V$, lo cual indica seleccionar un zener mayor de 4.3V para que el transistor no se sature al recibir el nivel bajo y refleje un nivel de 0V en su colector. Para el caso se seleccionó un zener de 8.2V, el cual cumple con las especificaciones del análisis.

Al necesitarse tres niveles de voltaje y como ahora solo se han contenido dos, es necesario diseñar otra etapa, que sea capaz de proveer los 5V necesarios.

4.1.1.2 Segundo bloque.

Figura 65. Segundo bloque del modulador.



Este esta formado por R4, Q2, R6 y D2 y está diseñado exclusivamente para generar los 5V en la salida. Este circuito utiliza al transistor Q2 en conmutación, el cual al recibir en D1 un nivel alto, se satura y coloca en el colector de Q2 los 5V deseados. De lo contrario si se le coloca un nivel bajo, entonces Q2 está en corte y refleja 0V en su colector.

Ahora como la etapa uno se diseño para reflejar 0V o -5v, de ahí que del colector de Q1 se una la parte negativa de D1 hacia la salida. Y como de la segunda etapa solo nos interesa obtener 5V en la salida y así completar los tres niveles deseados por eso del colector de Q2 se une la parte positiva de D2 hacia la salida. D1 y D2 son esenciales en el diseño para evitar flujos de corriente entre la etapa uno y la dos, y optimizar el funcionamiento del hardware.

La siguiente tabla describe que nivel se obtiene a la salida de acuerdo al código que se aplique a la entrada del modulador.

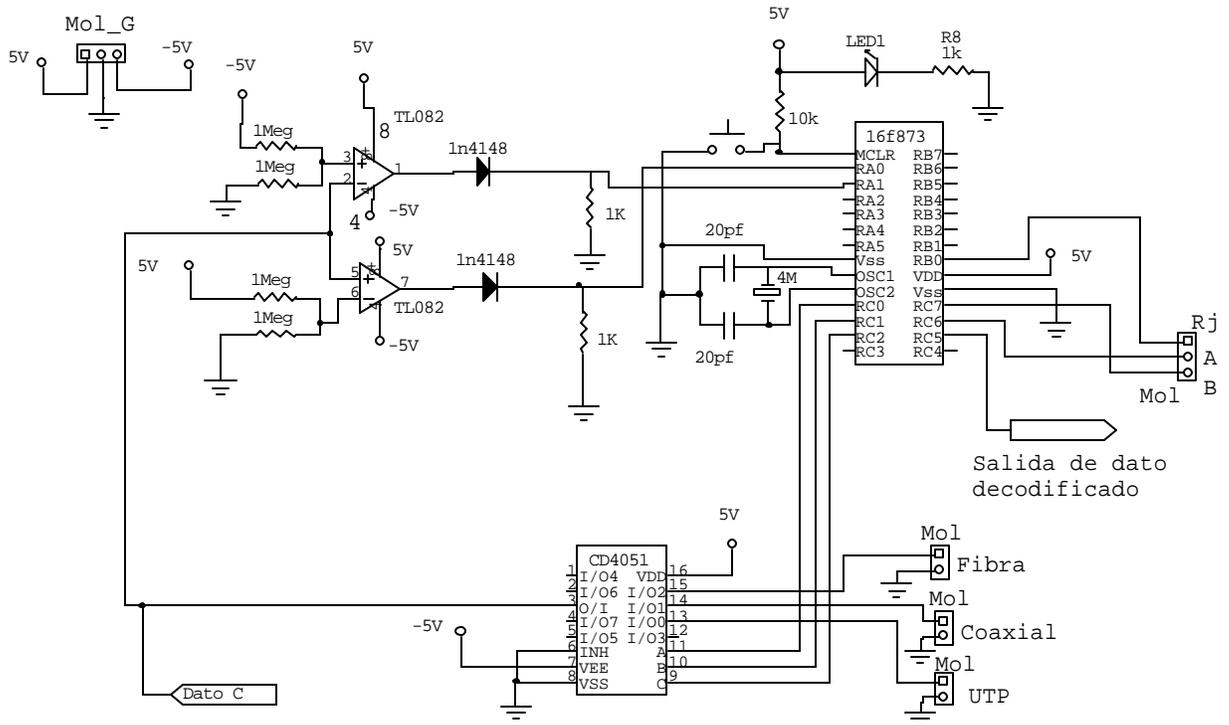
Cuadro 6. Entradas y salidas del modulador.

ENTRADAS		SALIDA
D1	D0	NIVEL
0	0	5
0	1	5
1	0	0
1	1	-5

Una vez analizado esto se observa que el uC debe generar los códigos de entradas correspondiente al nivel de salida que quiere obtener del modulador, además se observa que se pueden seleccionar dos códigos como validos para generar el nivel de 5V.

4.1.2 Descripción del circuito decodificador.

Figura 66. **Circuito decodificador.**



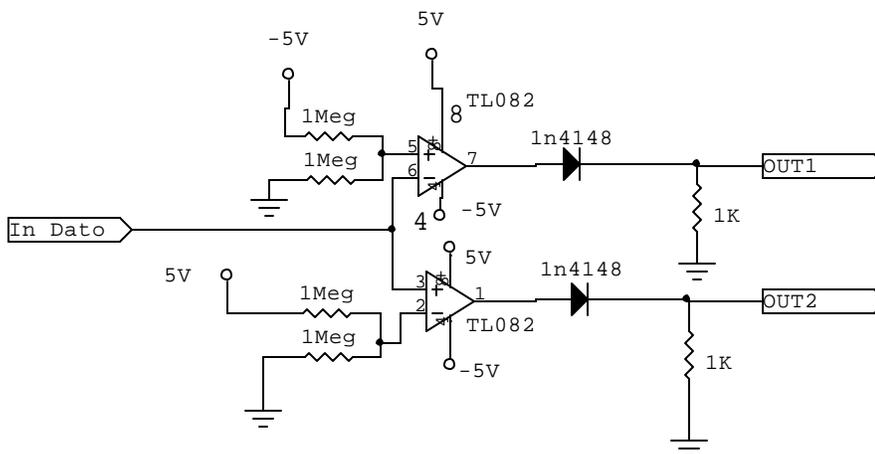
Este circuito está formado por:

- **Microcontrolador PIC 16F873.** (Utilizado para realizar la decodificación por software, multiplexado y enviar el dato al PC).
- **Multiplexor CD4051.** (Necesario para seleccionar el medio de transmisión deseado).
- **Demodulador.** (Utilizado para convertir en un código binario, el nivel de voltaje del dato recibido).

En este circuito el uC recibe del PC mediante el terminal “B” el medio de transmisión y realiza mediante el multiplexor cd4051 la selección del medio deseado. Luego cada vez que detecte el flanco de bajada del reloj, lee el código del dato y de acuerdo al sistema de codificación seleccionado arma el dato, el cual una vez culminado es enviado al PC por el terminal “A” para su análisis. Se utilizó como uC en el decodificador también el PIC 16F873, por las propiedades antes descritas en el circuito codificador.

La etapa que merece especial estudio es el bloque del Demodulador, este está formado por dos operacionales, que actúan como comparadores y los cuales basándose en el nivel de voltaje de entrada generan un código de dos bits.

Figura 67. Demodulador del circuito receptor.



El circuito es bastante sencillo y también costa de dos bloques.

4.1.2.1 Bloque superior. En este bloque el operacional posee un nivel de referencia de -2.5V en el pin 5 formado por la conexión serie de las dos resistencias de

1Meg, por consiguiente si el dato de entrada es menor de -2.5V se obtienen aproximadamente 5V en su salida y así en OUT1, pero si es mayor se obtienen -5V aproximadamente, pero debido a que no se polariza el diodo 1N4148, la salida permanece en 0V.

4.1.2.2 Bloque inferior. En este bloque el operacional posee un nivel de referencia de 2.5V en el pin 2 formado por la conexión serie de las dos resistencias de 1Meg, por consiguiente si el dato de entrada en el pin 3 es mayor que 2.5V, entonces a la salida se tienen 5V aproximadamente, lo mismo que en OUT2. Pero si el nivel de entrada es menor entonces se obtienen -5V los cuales no polarizan al diodo y la salida permanece en 0V.

Al analizar los tres posibles niveles de entradas en el demodulador y teniendo en cuenta la lógica antes descrita; se obtiene la siguiente tabla.

Cuadro 7. Entradas y salidas del demodulador.

NIVEL DE ENTRADA	CÓDIGOS EN LA SALIDA	
	OUT1	OUT2
-5	1	0
5	0	1
0	0	0

De lo anterior deducimos que cada vez que el micro detecte presencia del reloj, lee el código presente en OUT1 y OUT2, y de esta manera arma el dato que posteriormente transmitirá al PC.

4.1.3 Circuitos de enlace de fibra óptica. Estos circuitos están diseñados para convertir niveles de voltaje en señales de luz(transmisor) y viceversa (receptor).

Figura 68. Circuitos transmisor de fibra óptica

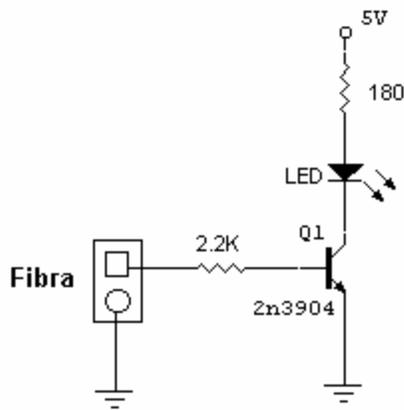
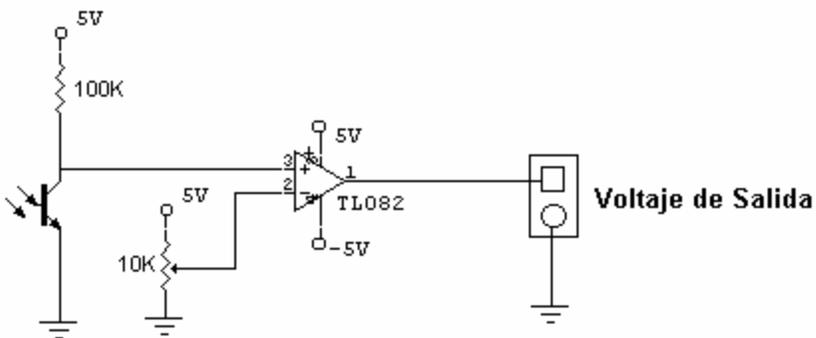


Figura 69. Circuitos receptor de fibra óptica.



El circuito transmisor funciona de la siguiente forma: a la resistencia de 2.2KO pueden llegar voltajes de 0v y 5v. Cuando es 5v el transistor 2N3904 se satura y se coloca en corto, de manera que el led se enciende, enviando luz a través de la fibra óptica. Cuando esta señal de luz llega al foto-receptor (Figura 69), este se polariza directamente y el voltaje del colector será 0v. En este circuito receptor, el integrado funciona como comparador, de manera que cuando lleguen 0v, la salida del circuito receptor será de 5v. Sucede lo contrario cuando a la resistencia de 2.2KO llegan 5v.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE LOS MICROCONTROLADORES

4.2.1 Descripción del programa del codificador en el microcontrolador

PIC 16f873. El software del uC, trabaja en base a dos interrupciones.

- La primera es la interrupción serial, la cual cada vez que ocurre (cada vez que se pulse enviar en el software de Delphi), se encarga de acceder a una rutina dedicada a capturar por medio de una interfase RS-232, el dato, la velocidad, el medio de trasmisión y el tipo de codificación deseado por el usuario. Una vez que el uC obtiene esta información, configura el multiplexor CD4051 para que seleccione la salida acorde al medio de TX deseado y luego envía en forma sincrónica a la velocidad deseada por su puerto SPI el dato sin codificar. Donde RC3= Reloj y RC5= Dato.
- La segunda interrupción es programada en el uC para que se ejecute cada vez que exista un pulso de bajada en el pin RB0. En este pin RB0

se conecta la salida del reloj del modulo SPI (RC3) y en RB1 se conecta la salida del dato (RC5), de forma que cada vez que exista un pulso de bajada del reloj; se produce la interrupción, el uC la detecta y lee el bit del dato que se encuentra presente en RB1, luego procesa la información y de acuerdo al tipo de codificación genera la salida en los pines RA0 y RA1 de forma que éstas contengan el código binario de dos bit que excite al modulador par generar la salida análoga deseada.

A continuación se presenta un diagrama de flujo de lo anteriormente descrito.

Figura 70. Interrupción Serial

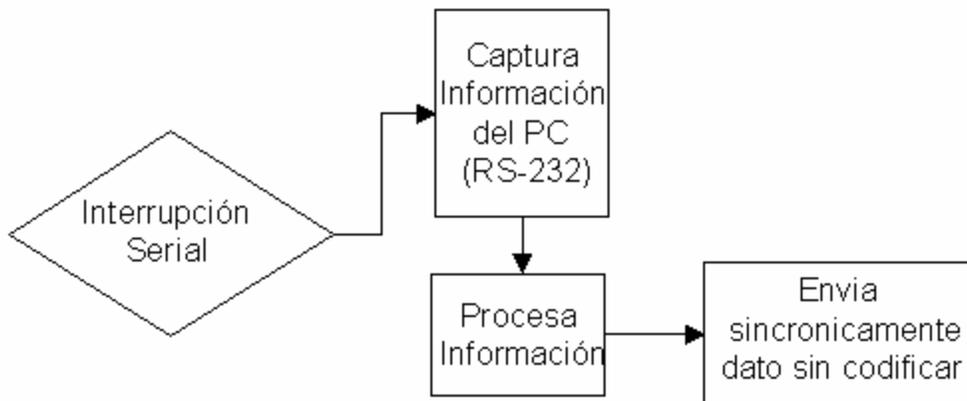
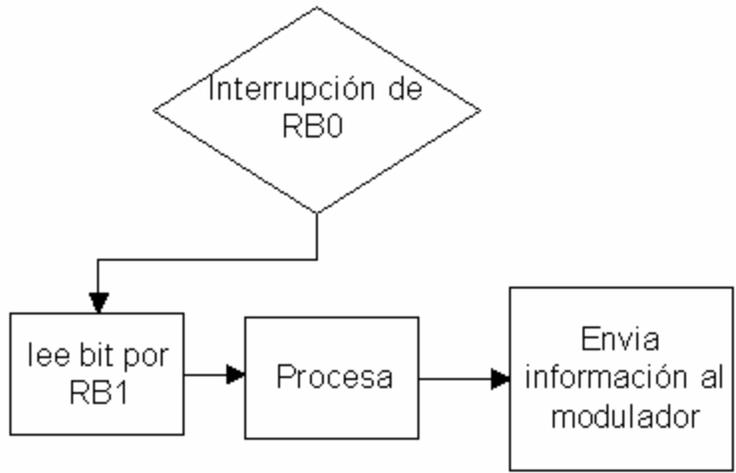


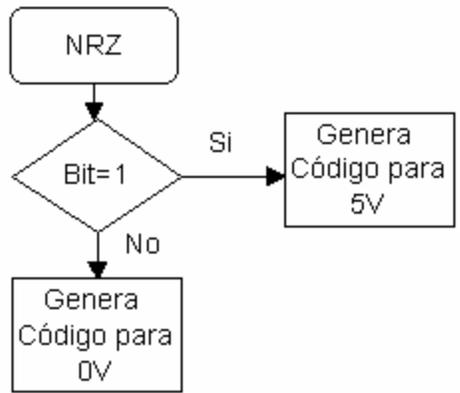
Figura 71. Interrupción de detección de reloj.



En el bloque denominado procesa del diagrama de flujo anterior, se realizan diferentes acciones dependiendo del sistema de codificación escogido. De esta forma tendrá diferentes procedimientos para cada codificación; entonces para:

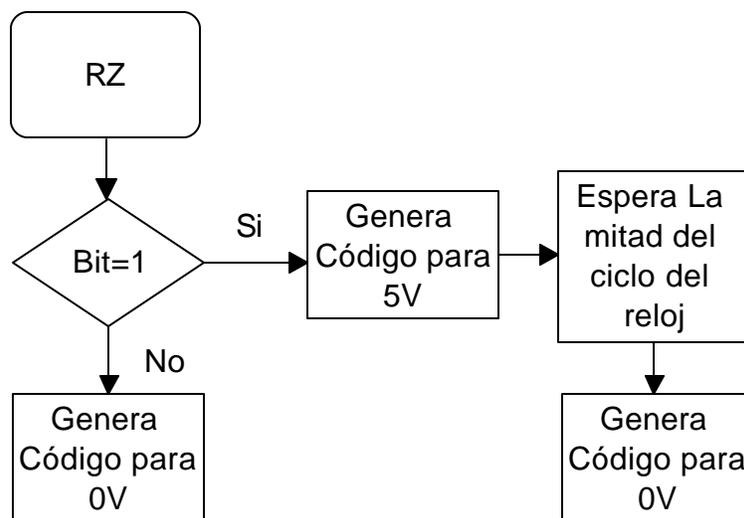
4.2.1.1 Programación NRZ. Es el código más sencillo y solo debe generar en RA0 y RA1 el código correspondiente al nivel análogo del bit leído en RB1. A continuación se muestra el procedimiento para NRZ.

Figura 72. Interrupción para generar el código NRZ.



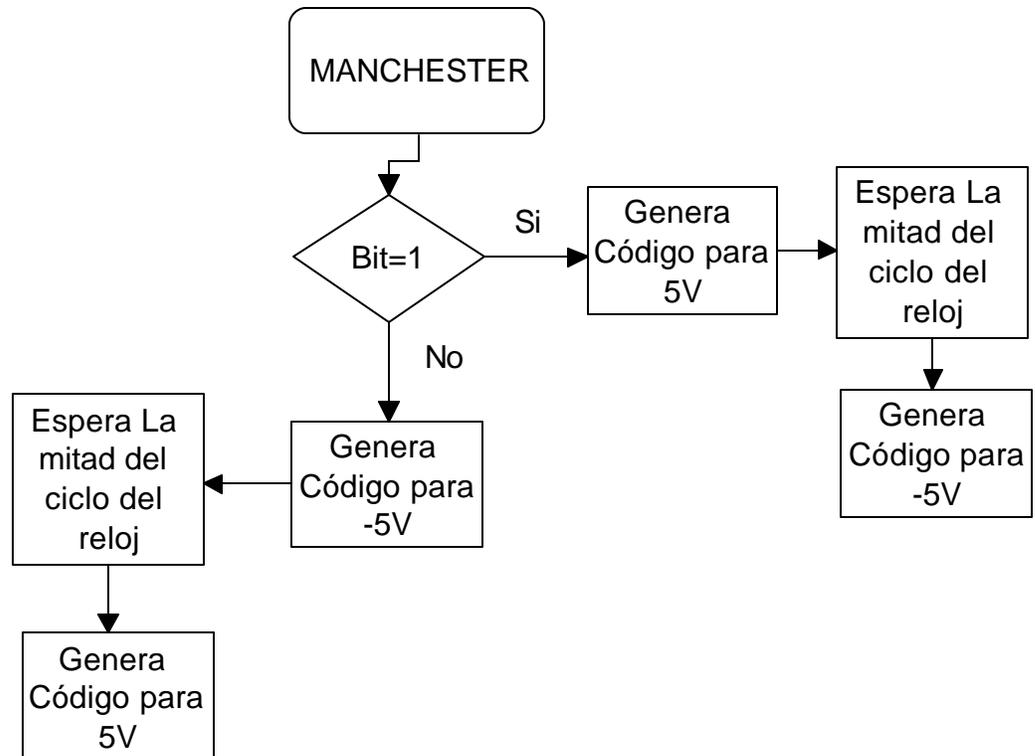
4.2.1.2 Programación RZ. El código RZ es similar a NRZ solo que si el bit detectado es uno, debe generar el código para 5V luego espera un retardo igual a la mitad del reloj y entonces genera el código correspondiente a cero voltios, esto debido a que el uno solo debe durar la mitad del reloj. En el siguiente diagrama se aprecia el procedimiento para NRZ.

Figura 73. Interrupción para generar el código RZ.



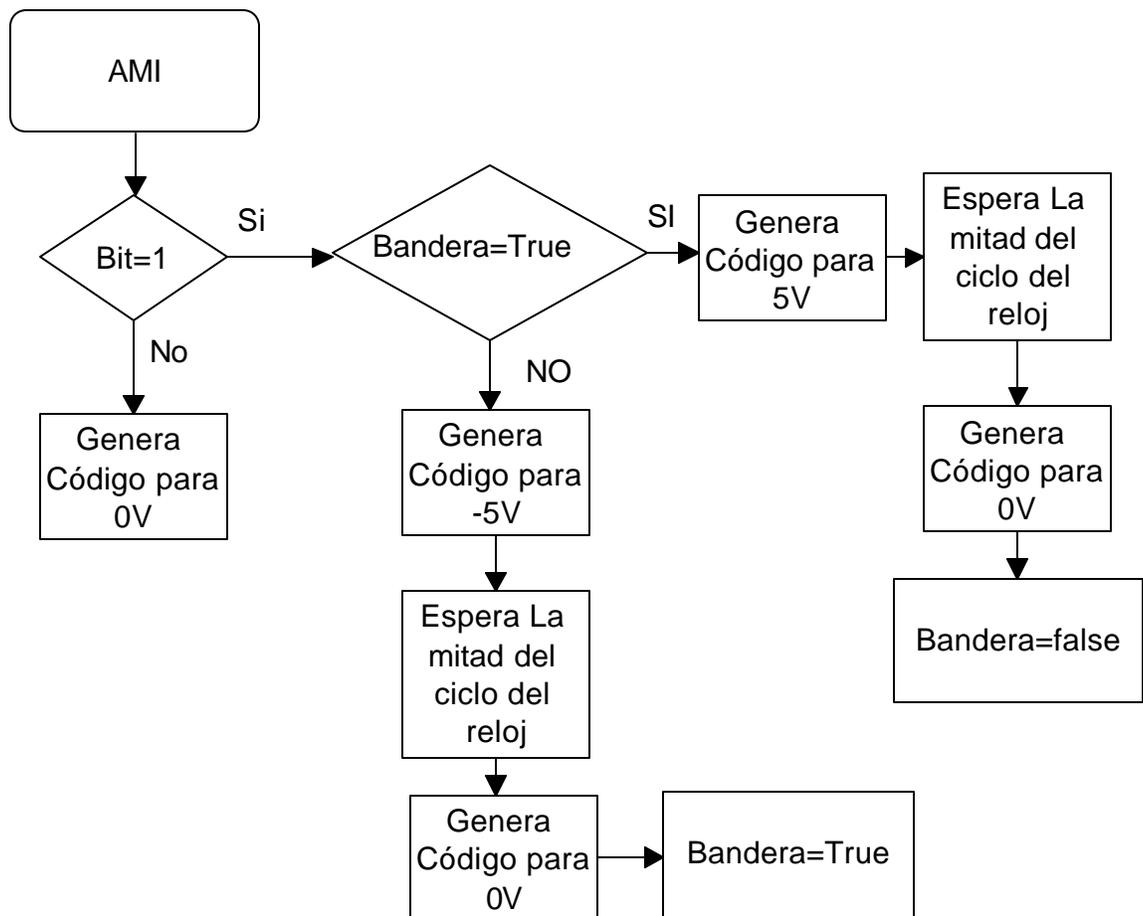
4.2.1.3 Programación de Manchester. Como bien se sabe en Manchester tanto el cero como el uno duran la mitad del ciclo del reloj y luego cambian de nivel. Además el cero para el caso está representado por -5V y el uno por 5V. A continuación se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de Manchester.

Figura 74. Interrupción para generar el código MANCHESTER.



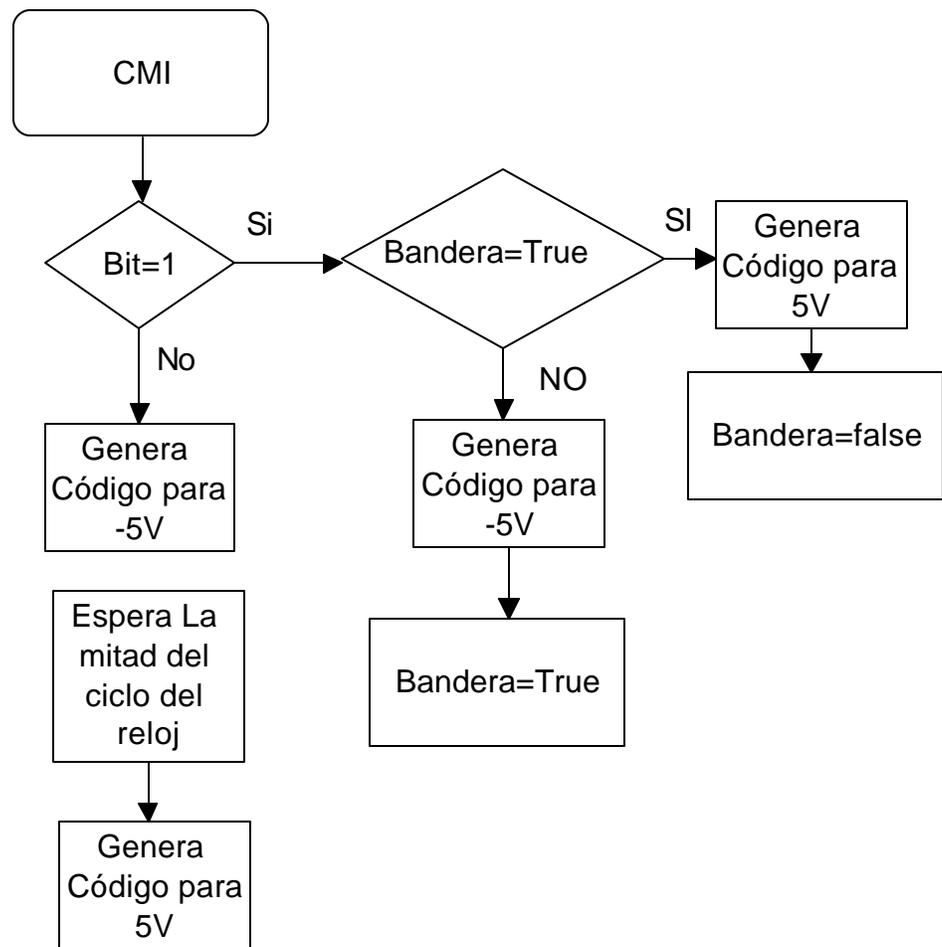
4.2.1.4 Programación de AMI. El código AMI posee los tres niveles y debe tenerse en cuenta que los unos duran la mitad del ciclo de reloj y son alternados. Para lograr alternar los uno se utiliza una bandera la cual indica el nivel del uno, dicha bandera cambia de estado cada vez que hay un uno y previamente fue inicializada en verdadera. A continuación se presenta el diagrama de flujo de AMI.

Figura 75. Interrupción para generar el código AMI.



4.2.1.5 Programación de CMI. En el código CMI los uno son alternados y duran todo el ciclo del reloj, pero los ceros duran la mitad del ciclo en $-5V$ y luego pasan a $5V$ la otra mitad. Para alternar los uno al detectar el código se utilizó la misma técnica de una bandera que cambie de estado cada vez que hay un uno.

Figura 76. Interrupción para generar el código CMI.



4.2.1.6 Programación de HDB3. Si el uC identifica que el usuario quiere codificar en HDB3; este antes de transmitir sincrónicamente el dato, por el puerto SPI, aplica un procedimiento o rutina que se encarga de hacer un tipo de codificación previa antes de que se detecten los bits que conforman el dato que se quiere transmitir. Esta rutina se basa en lo siguiente:

- Ya que en HDB3 es posible una violación; en caso que existieran más de 3 ceros consecutivos, es decir, que no se cumple con el alternado de los

unos; no es posible aplicar plenamente la técnica de la bandera anteriormente descrita.

- Este procedimiento entonces se basa en crear dos registros el primero contendrá los bits a sacar, sea cero o uno, y el segundo el estado de los unos del primer registro con un cero es positivo y con un uno es negativo.

Por ejemplo.

Dato	1	1	1	1	0	0	0	0
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---

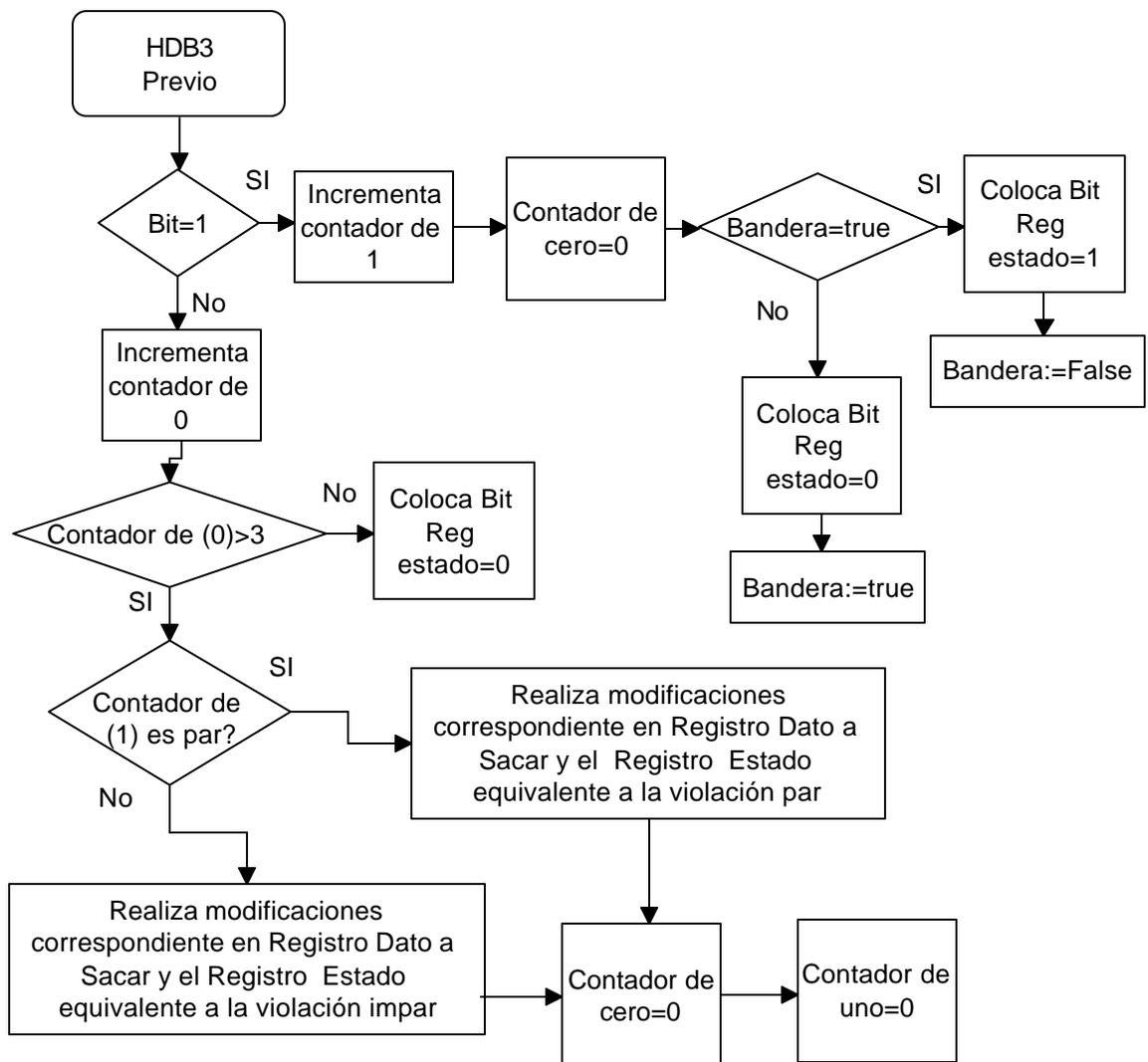
Dato a Sacar	1	1	1	1	1	0	0	1
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Estado	0	1	0	1	0	0	0	0
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---

De esta forma se sabe que los uno son alternados, sin embargo si existen más de tres cero, se aplica la teoría de la violación de HDB3 dependiendo si el numero de unos es par o impar. Lo que implica que uno o dos ceros deben ser convertidos en uno y se debe colocar en el registro de estado su nivel.

A continuación se muestra el procedimiento que se realiza cuando se sabe que se codificará en HDB3. Este procedimiento es realizado antes de enviar el dato sincrónicamente y carga el dato verdadero en el Registro Dato a Sacar y los niveles de sus unos en el Registro Estado.

Figura 77. Interrupción para generar el código HDB3.

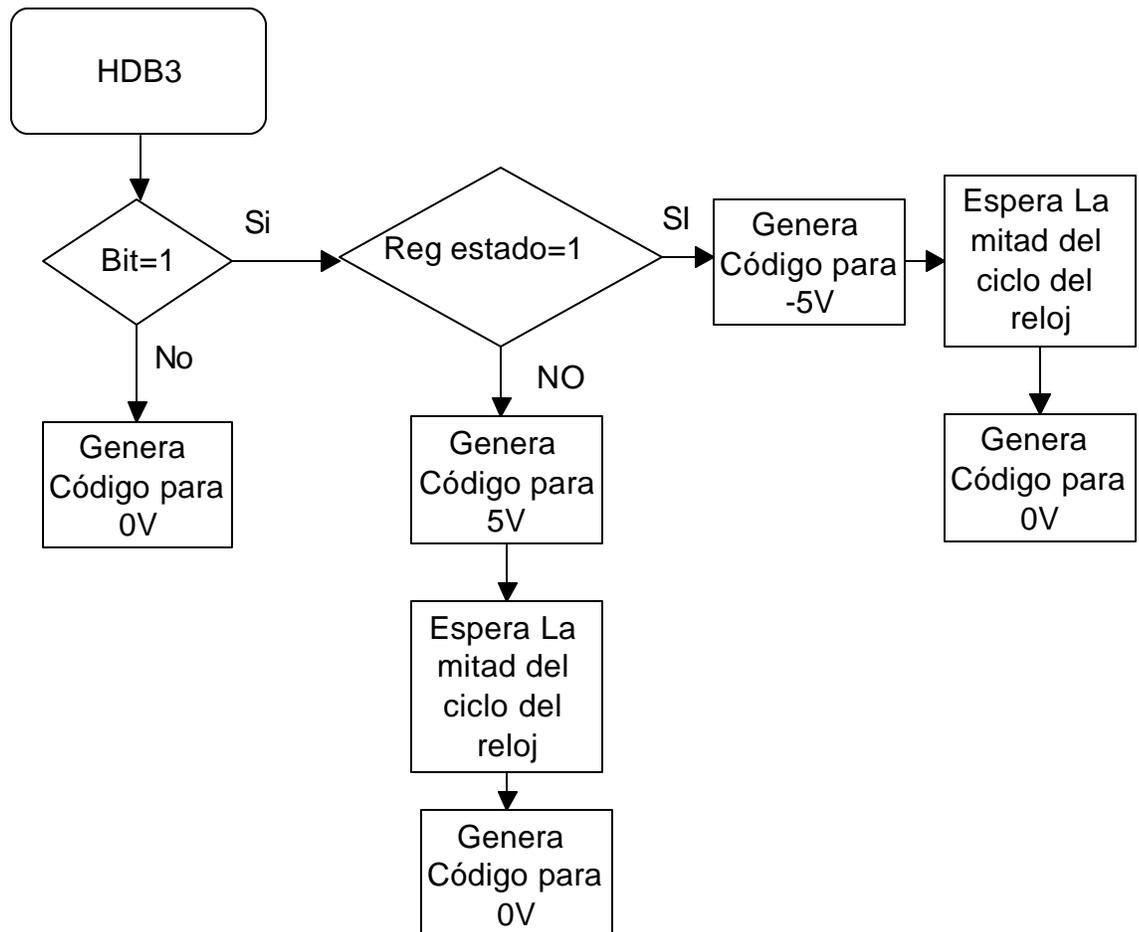


De esta manera el uC cuando entra al envío sincrónico envía son los del Registro: Dato a Sacar y cuando se detecta la interrupción de RB0 lee el dato por RB1 y en caso que sea uno localiza el nivel correspondiente en el Registro Estado

Y genera en RA0 y RA1 el código correspondiente al nivel análogo deseado.

El siguiente diagrama de flujo muestra la codificación en HDB3.

Figura 78. Codificación de HDB3.



4.2.2 Descripción del programa del decodificador en el

microcontrolador PIC16F873. El software del uC, trabaja en base a dos interrupciones.

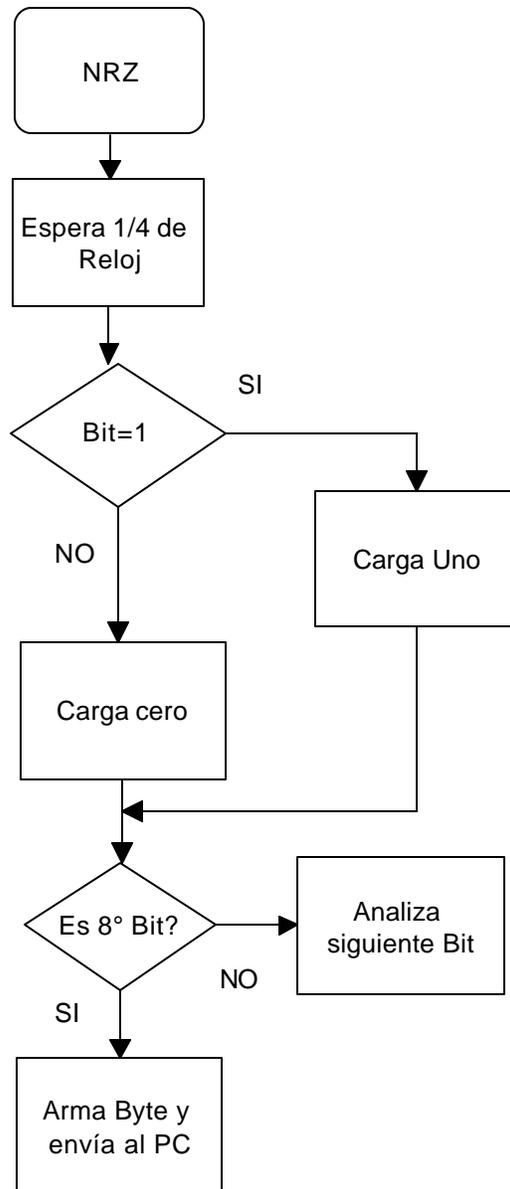
- La primera es la interrupción serial, la cual cada vez que ocurre (cada vez que se pulse enviar en el software de Delphi), se encarga de acceder a una rutina dedicada a capturar por medio de una interfase RS-232, el medio de trasmisión y el tipo de codificación deseado por el usuario. Una vez que el uC obtiene está información, configura el multiplexor CD4051 para que seleccione la salida acorde al medio de TX deseado.
- La segunda interrupción es programada en el uC para que se ejecute cada vez que exista un pulso de bajada en el pin RB0. En este pin RB0 se conecta al reloj del modulo SPI (RC3) y en RA0 y RA1 se conecta la salida del demodulador, de forma que cada vez que exista un pulso de bajada del reloj, se produce la interrupción, el uC la detecta y lee el código de dos bit que representa el nivel del bit analizado, luego procesa la información y de acuerdo al tipo de codificación va armando un byte para luego trasmitirlo al PC y este se encargue de ver si hubo o no errores en la recepción.

4.2.2.1 Decodificación de NRZ. En esta cada vez que se detecta un pulso del reloj, espera un corto tiempo igual a la cuarta parte del reloj, con el fin de poder detectar el dato, así este haya sido retrasado en el tiempo por no más de $\frac{1}{4}$ del tiempo del reloj, luego lee el código del demodulador, y carga el bit de registro de recepción con el valor del código obtenido, si es el ultimo bit

entonces arma registro de recepción y lo transmite al PC para que este lo compare con el transmitido.

El diagrama de flujo en el siguiente.

Figura 79. Decodificación NRZ.



4.2.2.2 Decodificación de RZ. Ya que en RZ el uno dura la mitad del tiempo del reloj en uno, es posible utilizar la misma rutina y diagrama de flujo de decodificar NRZ ya que el retardo esperado para leer el dato es de $\frac{1}{4}$ que es menor que la mitad del tiempo del reloj.

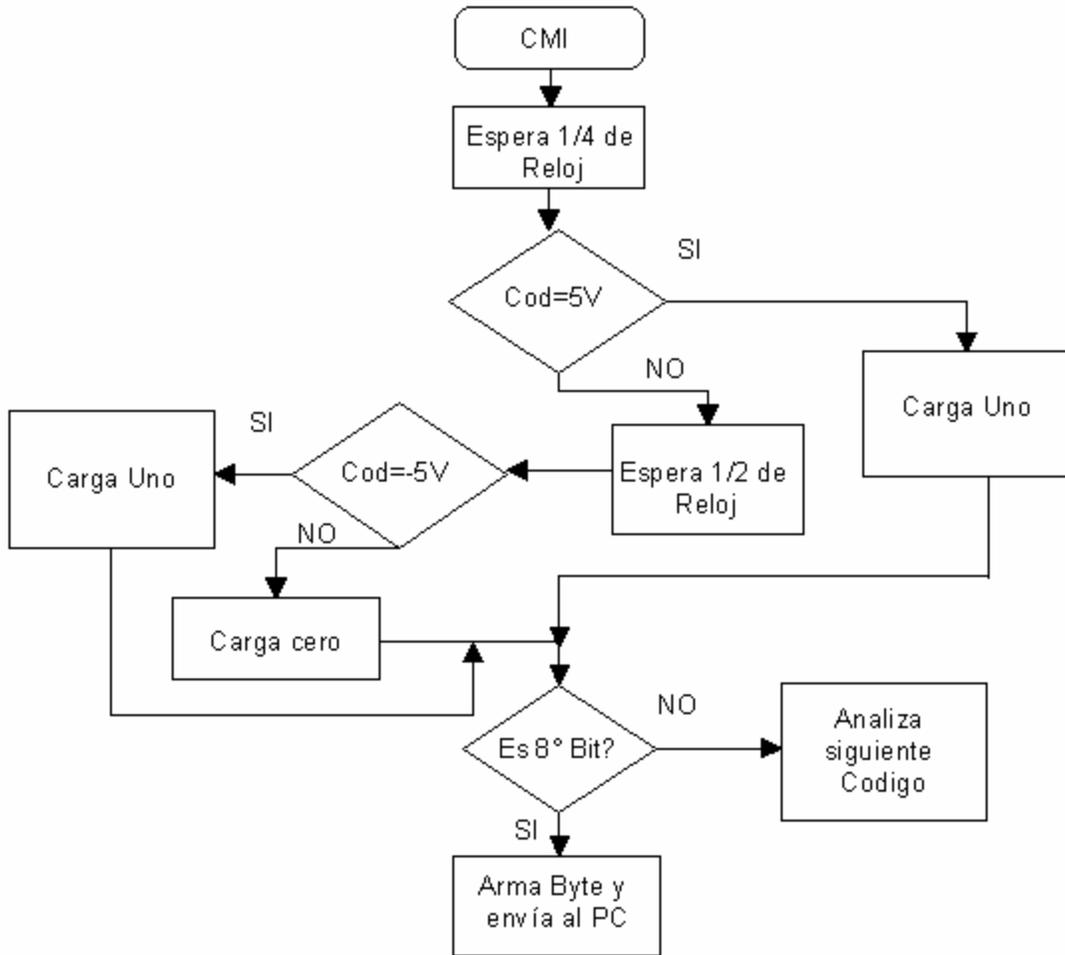
4.2.2.3 Decodificación Manchester. Por la misma razón antes explicada es posible ahorrarse la rutina de decodificar Manchester utilizando la ya implementada para NRZ.

4.2.2.4 Decodificación CMI. Para desarrollar esta decodificación fácil y eficazmente, se aplicó el concepto de que en CMI el cero dura medio tiempo en -5 y el resto en uno. Entonces para decodificar se tiene lo siguiente:

1. Espera el mismo $\frac{1}{4}$ de tiempo del reloj
2. Si el código es $5V$ entonces el bit corresponde un uno.
3. Si el código corresponde es -5 , este es leído nuevamente $\frac{1}{2}$ del tiempo del reloj, si sigue en -5 se sabe que es un uno, ya que en CMI los unos son alternado pero si es $5V$, se trata de un cero.

Diagrama de Flujo CMI

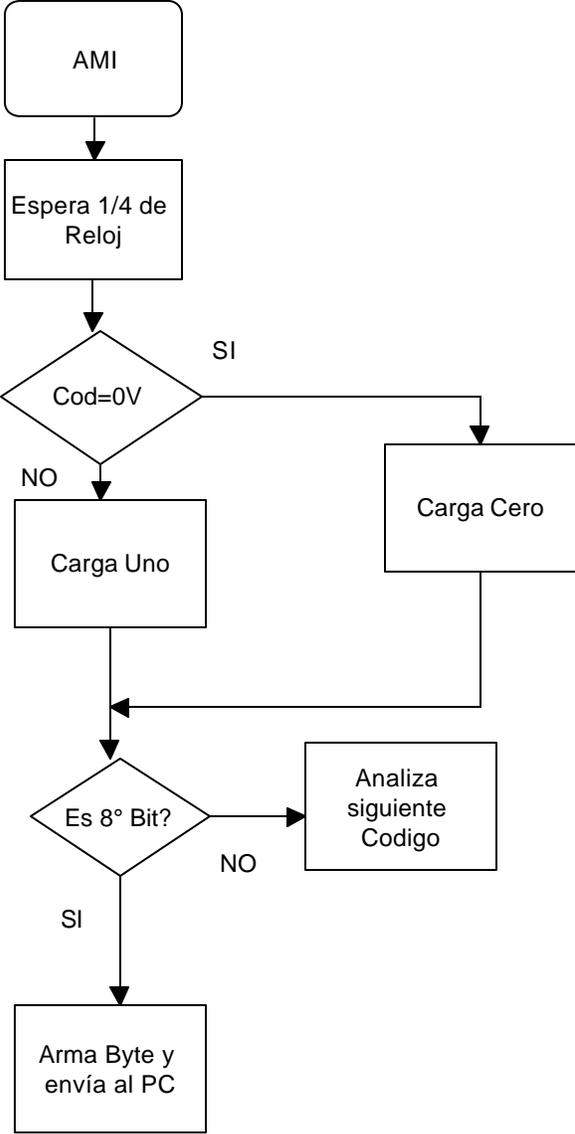
Figura 80. Decodificación CMI.



4.2.2.5 Decodificador de AMI. La rutina que decodifica AMI se basa en que en AMI el cero siempre es cero, así que lee el código si es cero corresponde a un cero pero se es 5V o -5V corresponde a 1.

El diagrama de flujo es el siguiente:

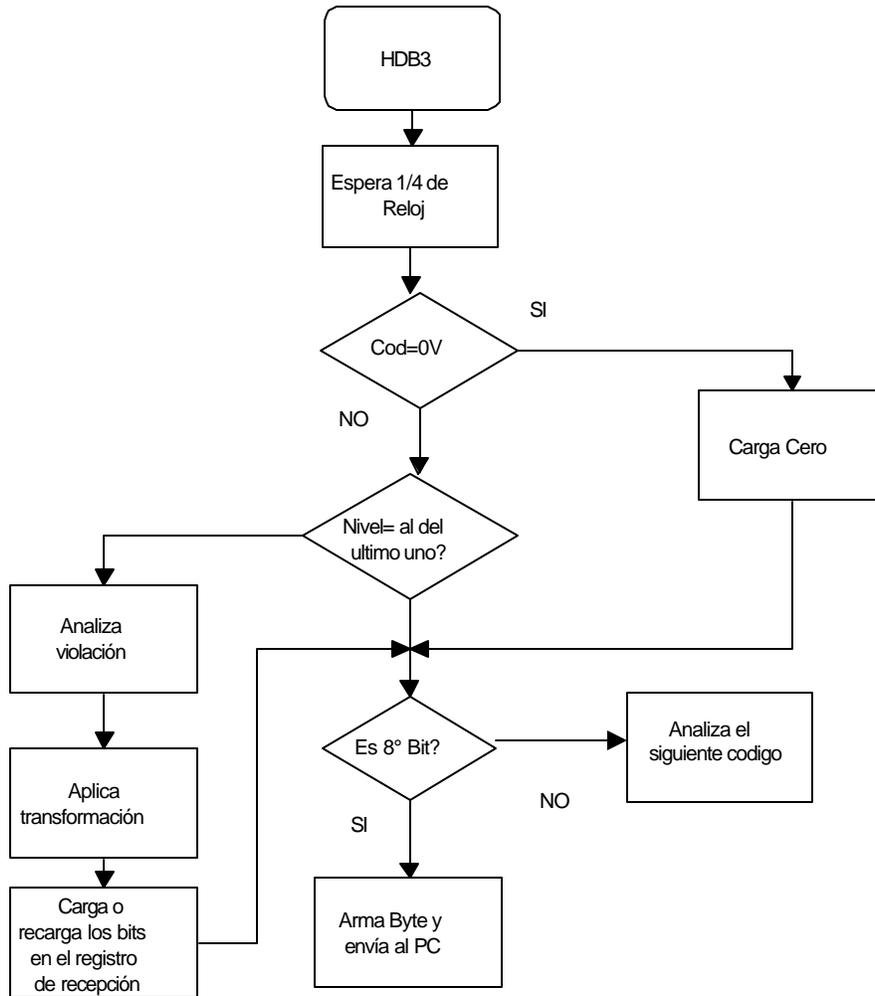
Figura 81. Decodificación AMI.



4.2.2.6 Decodificador de HDB3. La rutina de decodificar HDB3 sigue el concepto básico de la rutina de AMI en cuanto que si lee 0v es un cero, pero está rutina además cuando lee 5V o -5V, analiza si el próximo nivel diferente de cero leído será de igual magnitud al actual, así que de esta forma detecta la violación, y contando si el numero de uno es par o impar realiza la decodificación correspondiente, alterando el dato del registro de recepción.

El diagrama de flujo es el siguiente.

Figura 82. Decodificación HDB3.



4.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS PROGRAMAS

4.3.1 Ventana de configuración del hardware.

Figura 83. Ventana de comunicación con el Hardware.



La ventana se encuentra compuesta por los siguientes bloques:

- **Puerto (COM).** Este bloque contiene selectores tipo radio con opciones 1, 2, 3 y 4, para realizar la interfase entre el conector instalado del puerto RS-232 y el Circuito Integrado MAX232.

Figura 84. Bloque para configurar el puerto (Com).



- **Medio de transmisión.** Este bloque contiene selectores tipo radio con opciones cable coaxial, Cable par trenzado y Fibra Óptica. Al escoger el medio de transmisión por el cual se desea enviar la información, el PIC1

activa la posición del medio de transmisión correspondiente de los multiplexores y demultiplexores CD4051.

Figura 85. Bloque para seleccionar medio de transmisión.



- **Velocidad de transmisión.** Este bloque contiene selectores tipo radio con opciones 2k, 5k, 10k y 15k

Figura 86. Bloque para seleccionar la velocidad de transmisión.



- **Bloque de Codificación.** Este bloque contiene selectores tipo radio con opciones NRZ, RZ, MANCHESTER, AMI, CMI Y HDB3

Figura 87. Bloque de codificación.



- **Dato enviado.** En este bloque contiene un botón con nombre “Enviar”, que debe pulsarse luego de haber colocado los ocho bits que se desea simular en el cuadro que se encuentra arriba de este botón.

Figura 88. Bloque dato enviado.



- **Dato recibido.** Este bloque contiene un cuadro donde se colocan los bits recibidos por el circuito receptor.

Figura 89. Bloque dato recibido.



- **Botones de Simulación.** Estos botones tiene la función de llamar a los programas que realizan las simulaciones de la codificación y del análisis espectral en frecuencia.

Figura 90. Botones de simulación.



- **Botón Salir.** Este botón tiene la función de salir del programa.

Figura 91. Botón salir.



- **Bloque BER.** En este bloque se permite visualizar el BER para cada código transmitido.

Figura 92. Bloque del BER.

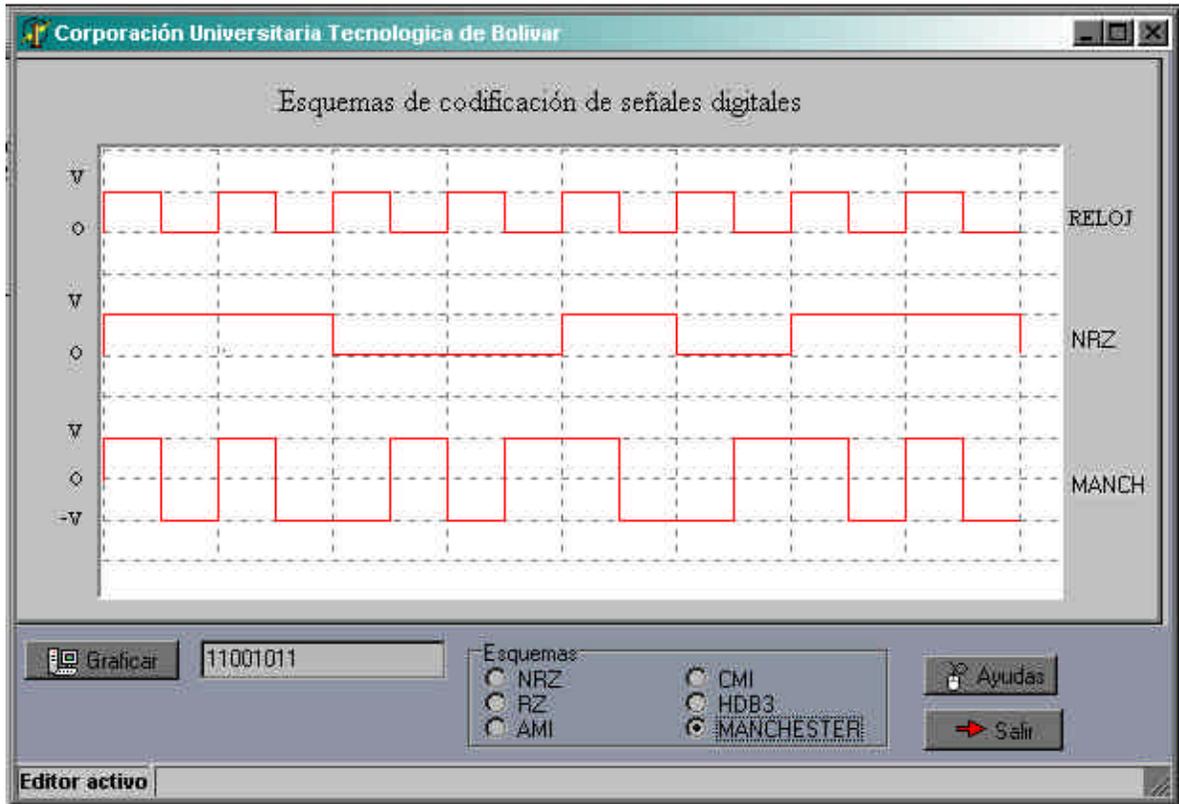


4.3.2 Simulador de códigos. El objetivo del software es convertir una entrada estándar NRZ a los demás esquemas de codificación digitales que tratamos en nuestra tesis.

Para su desarrollo se partió de las reglas básicas que definen los diversos códigos tratados. El programa se desarrollo en Delphi y su función básica es desarrollar un entorno visual que acepte una entrada binaria de 8 bits y muestre la entrada representada según la codificación NRZ o su equivalente en RZ, AMI, HDB3, CMI, MANCHESTER.

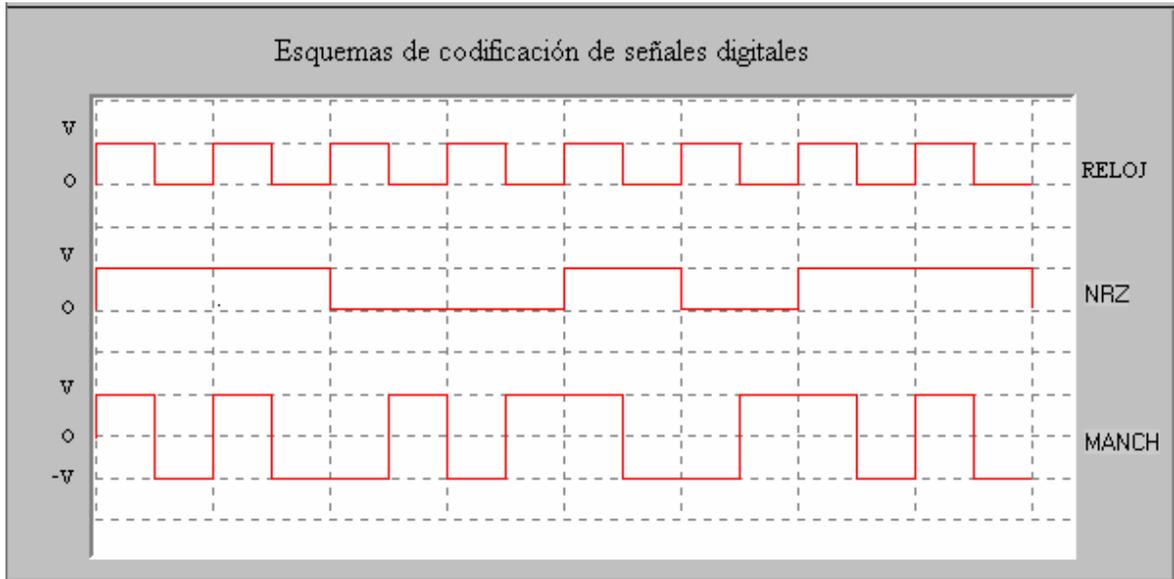
Para graficar los esquemas se hace uso de la interfaz grafica que Delphi provee al usuario; básicamente se hace uso de los comandos para dibujar líneas rectas, siguiendo un esquema lógico, que permite convertir de un esquema a otro.

Figura 93. Ventana del simulador de codificación.



La ventana del simulador esta compuesta por una pantalla similar a la de un osciloscopio, con cuadrículas para identificar el periodo y el nivel de tensión de las señales codificadas.

Figura 94. Pantalla.



Además contiene los siguientes bloques y botones:

- **Botón Graficar.** Este se debe pulsarse luego de haber colocado los ocho bits que se desean simular, en el cuadro que se encuentra en el lado derecho de este botón.

Figura 95. Botón Graficar.



- **Selector de Código.** Cuadro con selectores tipo radio con las opciones NRZ, RZ, AMI, HDB3, MANCHESTER y CMI. Se debe escoger un código antes de pulsar el botón “Graficar”.

Figura 96. Bloque selector de código.



- **Botón Ayuda.** Este es un botón al pulsarse se encuentra una guía de la correcta utilización del hardware, una explicación de cada uno de los códigos y una explicación de la simulación del espectro en frecuencia de la señal codificada.

Figura 97. Botón Ayuda.



- **Botón Salir.** Este botón permite abandonar el programa al momento de pulsarlo.

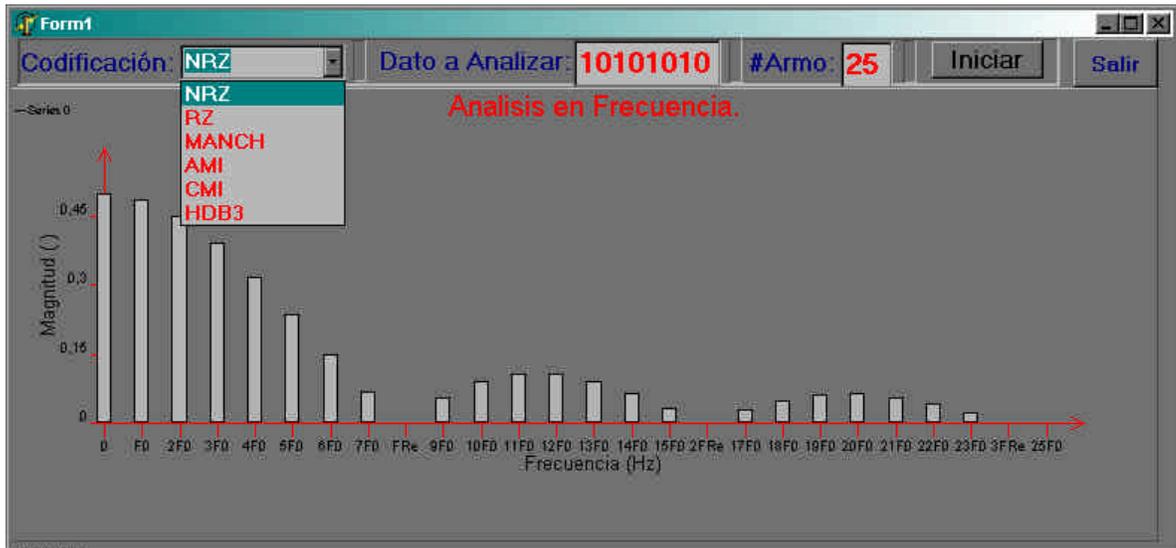
Figura 98. Botón salir.



4.3.3 Simulador de espectros en frecuencia.

- **Ventana del simulador de espectros.** En esta ventana se encuentran dos ejes, Magnitud Vs Frecuencia los cuales se utilizan para observar los valores de estas variables y analizar la forma de la señal del dato introducido, de acuerdo al código y el numero de armónicos escogidos.

Figura 99. Ventana del simulador de análisis en frecuencia.



- **Bloque de selección de códigos.** En este bloque se encuentra una lista desplegable para escoger el código al cual se desea observar el espectro.

Figura 100. Bloque de selección de códigos.



- **Dato a analizar.** En este bloque se colocan los ocho bits de la señal digital que se le desea analizar el espectro en frecuencia.

Figura 101. Editor del código.



- **Numero de armónicos.** En este bloque se coloca el numero de armónicos que se desea que tenga el espectro; este varia entre 8 y 30.

Figura 102. Numero de armónico.



- **Botón Iniciar.** Este se debe pulsar luego de haber colocado los ocho bits que se desean simular, en el bloque de dato.

Figura 103. Botón iniciar.



- **Botón salir.** Este botón permite abandonar el programa al momento de pulsarlo.

Figura 104. Botón salir.



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LOS CÓDIGOS

Al realizar las pruebas correspondientes a la codificación, transmisión decodificación y recepción de datos se presentaron las siguientes características:

- Para velocidades de 2KHz, 5KHz se realizan dichas funciones efectivamente, a través de todos los medios de transmisión.
- Para velocidades de 10KHz, se presentan problemas en la decodificación en CMI, ya que las rutinas que presenta el programa son demasiadas y el PIC no alcanza a procesar en tiempos precisos todas las instrucciones. En este caso, el PIC debe diferenciar cuando es 0 o es -1, para esto debe utilizar $\frac{1}{2}$ adicional ($\frac{1}{4} + \frac{1}{2}$) de frecuencia de reloj.
- Para velocidades de 15KHz, se presentan problemas para todos los códigos excepto para NRZ, ya que su proceso de decodificación no implica muchas instrucciones, a diferencia de los otros códigos, en los que en las rutinas del uC, se presentan pérdidas de bits.
- Inicialmente no era posible la decodificación de HDB3 a ninguna velocidad, debido a que el tiempo de espera entre una y otra instrucción ($\frac{1}{2}$ ciclo de reloj) era demasiado amplio. Finalmente se optó por disminuir un poco dicho tiempo, mejorando notablemente la decodificación de dicho código.
- Cabe destacar, que la perfecta transmisión de NRZ a través de STP y cable coaxial se dio en este proyecto, debido a que se transmitió el reloj

directamente del transmisor al receptor, sin esto hubiese sido imposible sincronizar dicho código con el receptor.

5.2 ANÁLISIS ESPECTRAL

Existen factores que determinan el éxito o el fracaso del receptor al interpretar la señal proveniente del emisor. Entre estos factores tenemos:

a) Eficiencia espectral. Se desea que el código:

- **No presente componente continua. No contribuya al traspaso de información y generando dificultades en la recepción.**
- Presente pocas componentes espectrales de frecuencias cercanas a 0 Hz, con el objetivo de eliminar variaciones muy lentas de la señal que también dificultan la recepción
- Presente el menor ancho de banda posible en banda base
- Que las componentes espectrales fuera de la banda principal sean muy poco significativas, de modo que si se usan para modular una portadora, no generen muchas señales espúreas.
- Que el ancho de banda sea el más pequeño posible.

b) Sincronismo y transparencia. Se desea que el código:

- Incorpore información de reloj en los datos, que permita al receptor sincronizarse para detectar claramente los límites de tiempo de cada símbolo recibido.
- Que esta información no requiera de una señal especial, sino que sea parte de los datos, incorporando transiciones suficientes en ellos

- Que estas transiciones no impliquen un aumento de ancho de banda
- Que la información de sincronismo pueda recuperarse sin importar el número de ceros o de unos sucesivos que vayan en la información.

c) Detección de Errores: El código debe tener la capacidad de detectar de detectar los posibles errores.

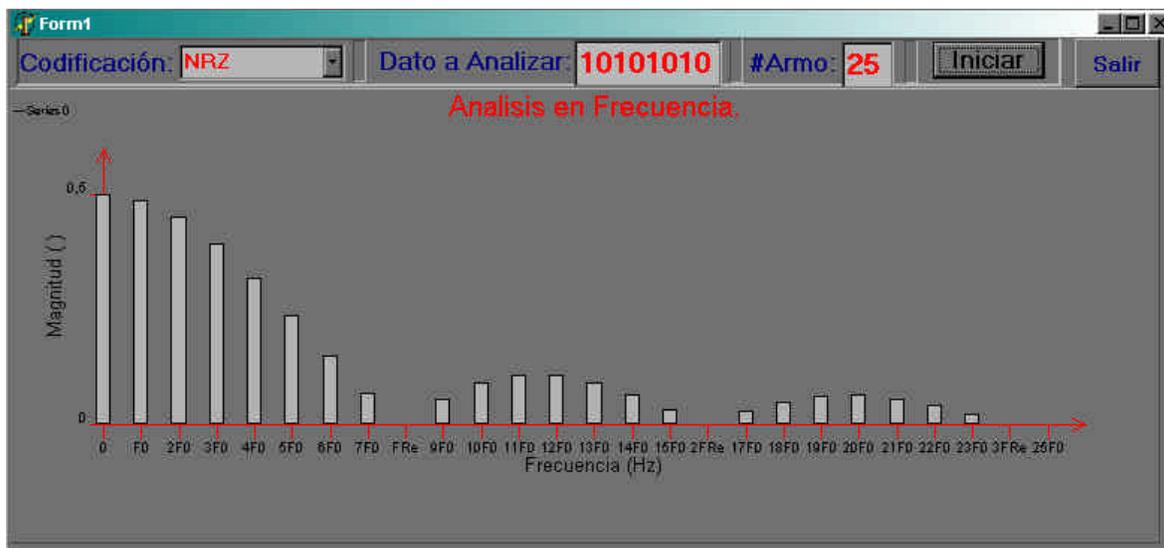
d) Inmunidad al Ruido: Algunos códigos exhiben un comportamiento superior que otros en presencia de ruido. Esto se mide en términos de la tasa de error por bit (BER).

e) Coste y Complejidad: Aunque el costo de la lógica digital continua bajando, no se debe ignorar este factor. En particular, cuanto mayor es la razón de elementos de señal para una velocidad de transmisión dada, mayor es el precio

A continuación se hará el análisis espectral de cada uno de los códigos sometidos a estudio. Se debe tener en cuenta que, teóricamente, para poder obtener el reloj se usan las transiciones que se producen a esa frecuencia o a un múltiplo de ella, para sincronizar un VCO.

5.2.1 Análisis espectral NRZ.

Figura 105. **Espectro NRZ**



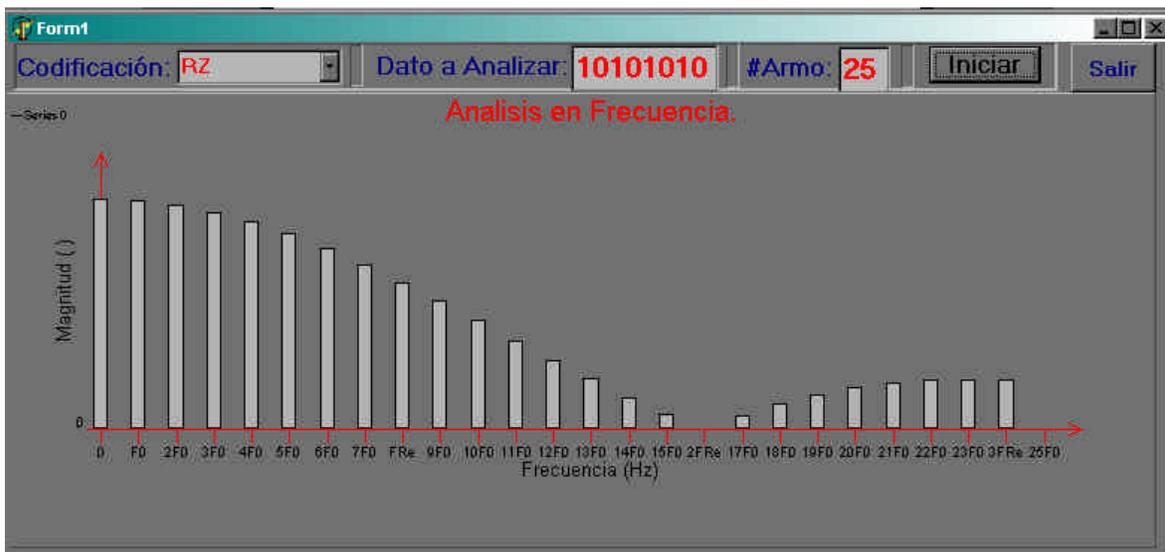
El espectro de NRZ presenta una componente en continua, esto se debe al nivel unipolar que se posee este tipo de codificación, es decir, las integrales o áreas del código no se cancelan entre sí; al presentar una componente continua, se deduce que este código no está adaptado para la transmisión por cable por las siguientes razones:

- La componente continua no permite enviar por la línea la telealimentación de los posibles regeneradores (encargados de reconstruir la señal).
- Todos los circuitos por los que circula la señal deben tener una respuesta en frecuencia que se extienda hasta las componentes continuas, (por ejemplo, los amplificadores no pueden tener acoplamiento capacitivo o mediante transformador) ya que en caso contrario, el espectro de la señal quedaría alterado de forma irremediable, modificando la señal.
- Se observa que no existe ningún armónico en la frecuencia de reloj, por lo que es imposible extraer en recepción la señal recibida, y por lo tanto, si se usa este código es necesario transmitir también aparte la señal de reloj, es decir, no presenta capacidad de sincronización.

- El código NRZ se caracteriza por hacer un uso eficaz del ancho de banda, ya que la mayor parte de la energía para este código está comprendida entre la componente continua y la mitad de razón de bits. Debido a su sencillez y a la respuesta en bajas frecuencias, los códigos Nrz se usan comúnmente en las grabaciones magnéticas.

5.2.2 Análisis Espectral de RZ.

Figura 106. Espectro de RZ.



- En el código RZ todos los bits tienen polaridad positiva por lo que en su espectro existe una componente continua, lo cual provoca los mismos inconvenientes que la señal NRZ. Ya que posee una componente en la frecuencia de reloj, es posible extraer el reloj directamente de ella, pero es sumamente complicado cuando se presenta una secuencia larga de ceros.

5.2.3 Análisis espectral de AMI. Es considerado un código de línea. Ya que los "1" son alternativamente positivos y negativos. Al aplicar la ecuación que extrae los valores de las magnitudes del espectro, pueden presentarse las siguientes posibilidades:

- **Si el número de "1" es par, se cancelarán las áreas correspondientes entre si, para el caso en que los periodos o intervalos en que se analiza la señal tengan la misma amplitud, caso en el que no se presentará componente continua; si dichos intervalos o periodos son muy parecidos se presentará una componente en continua de valor pequeño.**

Figura 107. Espectro de AMI sin valor de componente continua.

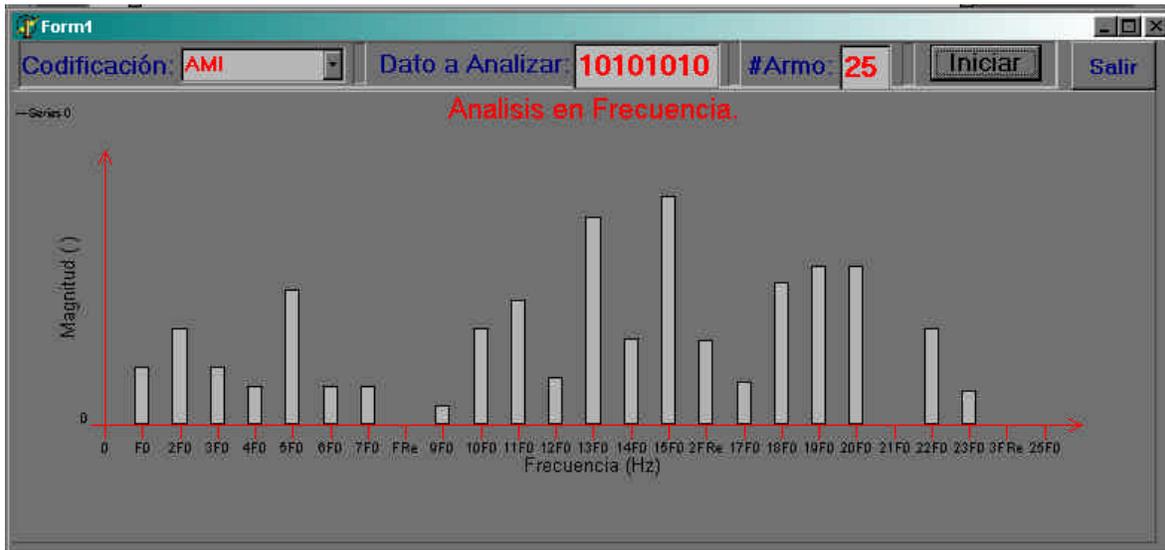
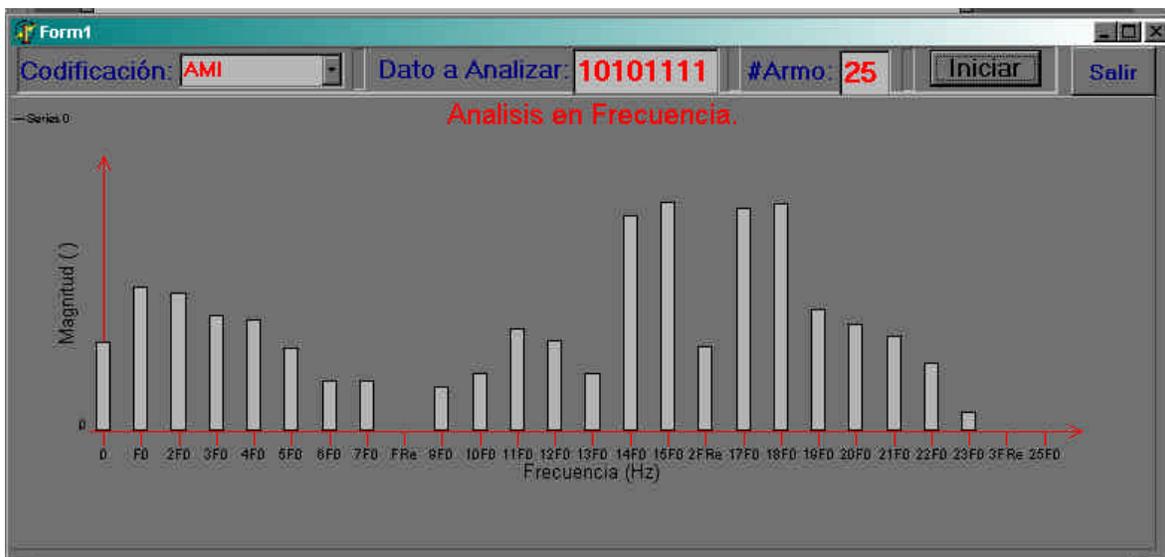
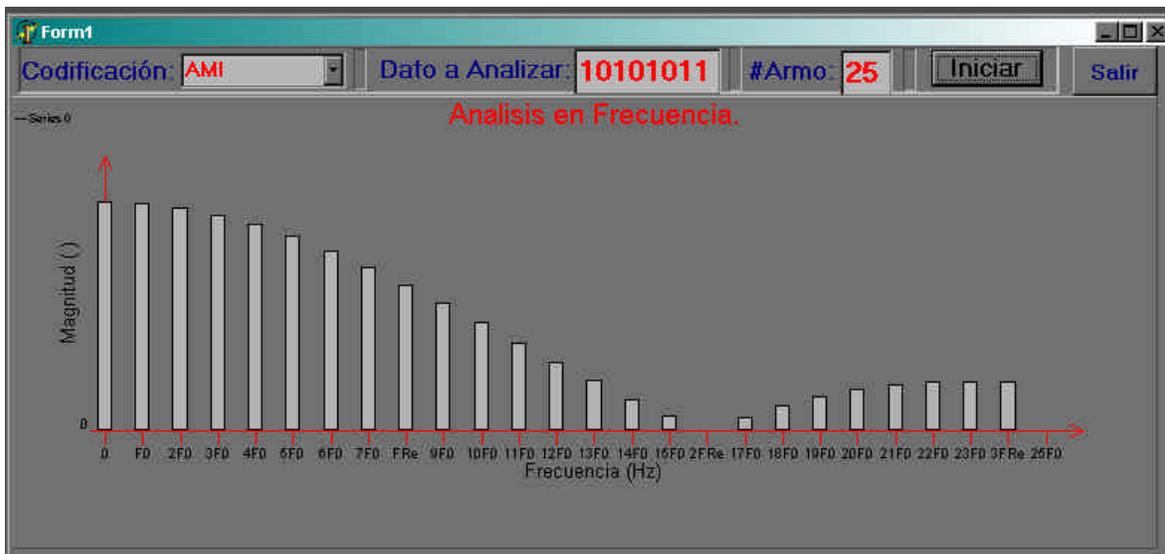


Figura 108. Espectro de AMI con valor pequeño de componente continua.



- Si el número de "1" presentes en la señal es impar, ya no se presentará cancelación de valores de área, y se le sumarán además los posibles residuos de magnitudes que no se hayan cancelado.

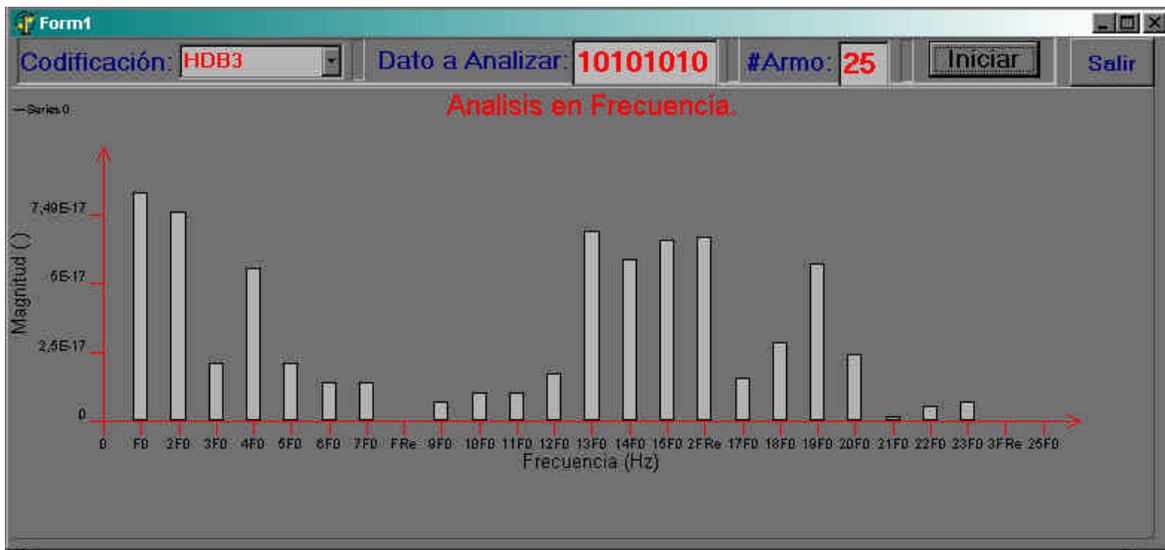
Figura 109. Espectro de AMI con componente continua.



- La ausencia aparente de la frecuencia de reloj o sus múltiplos, se evita rectificando la señal para hacer positivos los "1" negativos, haciéndola similar a RZ; en este caso la señal recibida ya ha atravesado la línea de transmisión y por tanto la componente continua no importa, y la frecuencia de reloj se puede extraer del nuevo espectro que presente la señal. También existe la posibilidad de que para una secuencia larga de "0" se haga imposible la extracción de la frecuencia de reloj. Una característica de AMI es que el receptor se ve obligado a distinguir tres niveles (+A, 0 y -A), en lugar de los dos niveles de los esquemas anteriores. Por lo tanto, la señal de un código binario multinivel necesita aproximadamente 3dB más de potencia que las señales bivaluadas para la misma probabilidad de error, en otras palabras, la tasa de errores por bit para los códigos Nrz, a una relación S/N, es significativamente menor que la necesaria en binario multinivel.

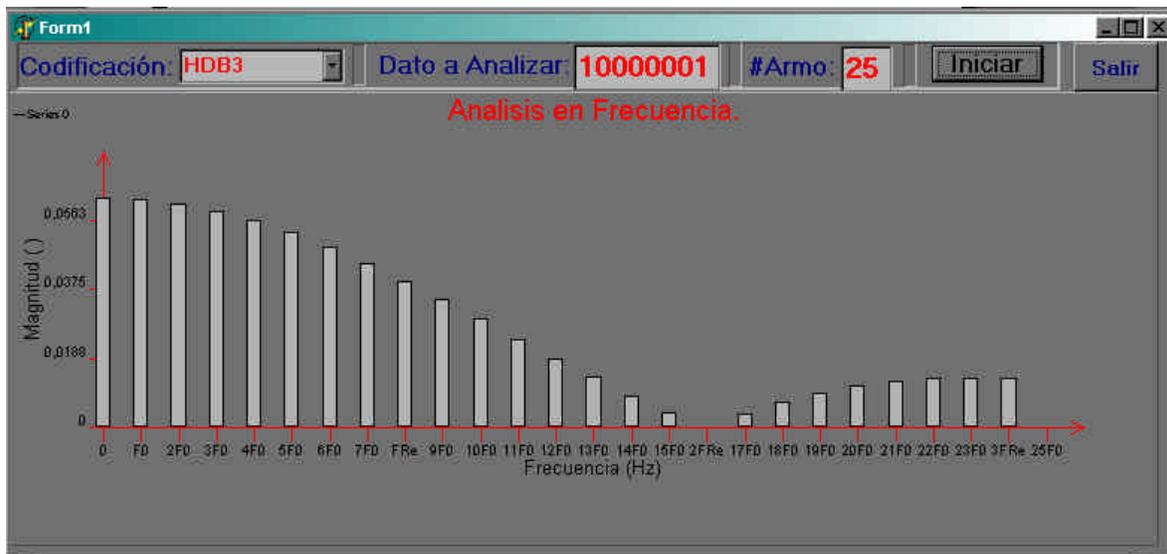
5.2.4 Análisis espectral HDB3.

Figura 110. Espectro HDB3



- Este código también es un código de línea. Como los "1" son alternativamente positivos y negativos no existe componente continua. Este código presenta las mismas características espectrales que AMI, pero con la diferencia de que cuando se presenta una secuencia de ceros mayor o igual a cuatro, tendrá componente continua (ya que se presentan pulsos adicionales), debido a que HDB3 tiene consideraciones especiales llamadas violaciones, las cuales fueron estudiadas anteriormente. En general, HDB3 presenta un ancho de banda ligeramente menor al código AMI.

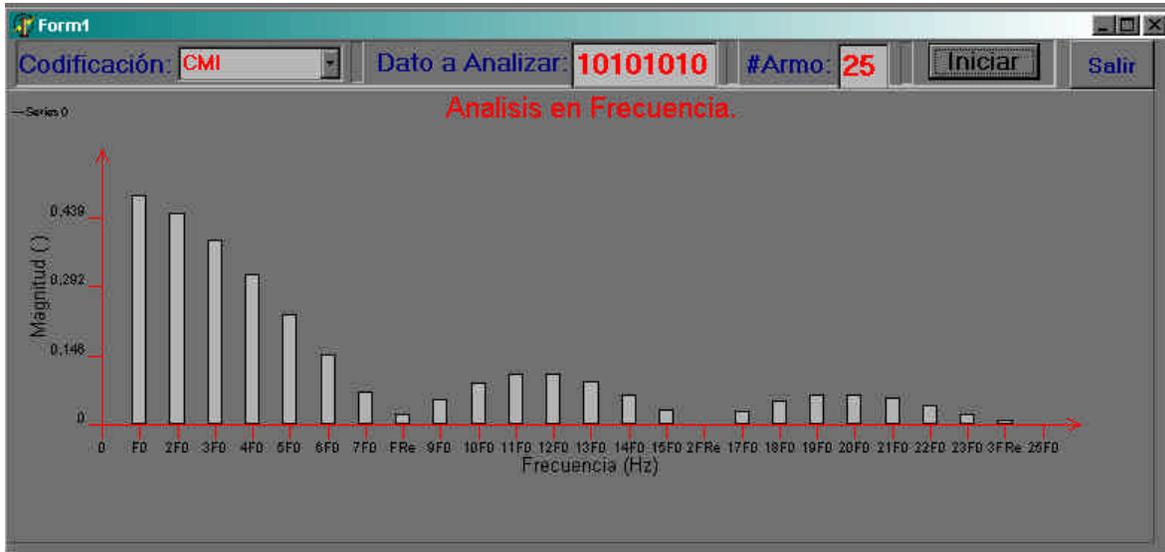
Figura 111. Espectro HDB3 cuando se presenta violación.



➤ Es posible extraer el reloj.

5.2.5 Análisis espectral CMI.

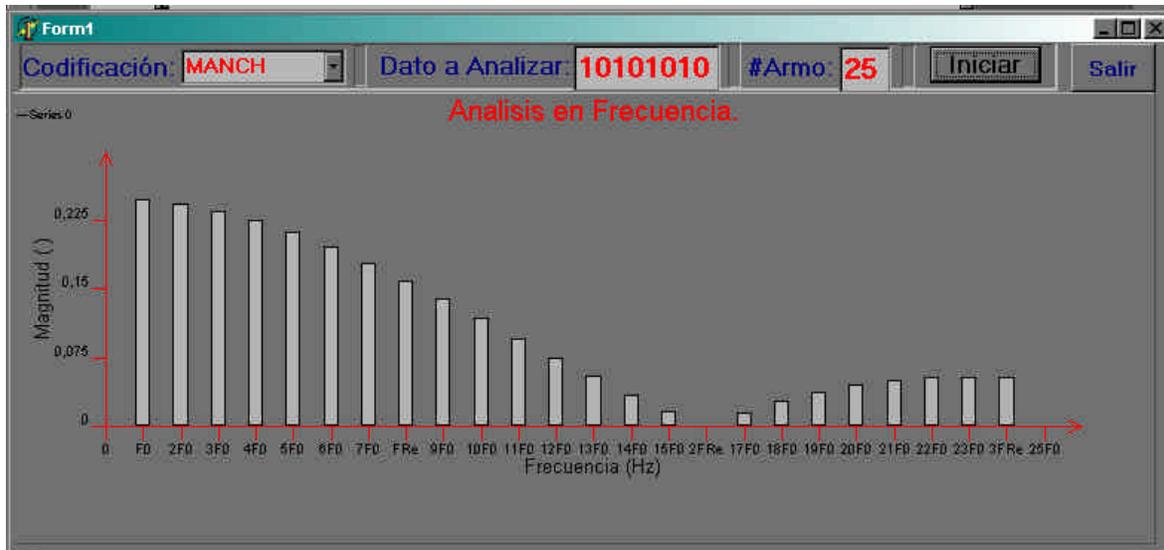
Figura 112. **Espectro de CMI.**



- **CMI es también considerado un código de línea. El reloj, idealmente, se puede extraer fácilmente debido al elevado número de transiciones aún cuando se presenten secuencias de ceros durante un tiempo máximo de $1.5T$ de reloj. Además posee componente en la frecuencia de reloj**
- **Este código no presenta componente continua, lo que facilita su transmisión.**

5.2.6 Análisis Espectral Manchester

Figura 113. Espectro de Manchester.



- El espectro de este código muestra que se puede obtener el reloj, ya que en este o en sus múltiplos se presentan transiciones. Ya que esta técnica bifase fuerza al menos una transición por cada bit, la máxima velocidad de transmisión es el doble que en los NRZ; esto significa que el ancho de banda es mayor. No obstante este esquema tiene varias ventajas como la sincronización, debido a la transición que ocurre durante el intervalo de duración correspondiente a un bit, el receptor puede sincronizarse usando dicha transición. Su espectro no contiene componente continua. La mayor parte de la energía de los códigos bifase está en la zona del espectro correspondiente a la mitad superior de la razón de bits. Por tanto el ancho de banda en este código es estrecho, teniendo el ancho de banda mayor que los códigos multinivel (AMI).

5.3 ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN UTILIZADOS.

5.3.1 STP. Inicialmente se planteó transmitir por un cable UTP la señal codificada, pero por conveniencias de funcionamiento y del mercado, fue más factible utilizar

cable STP, por medio del cual se transmiten todos los códigos sin ningún inconveniente. Aunque como se dijo en las secciones anteriores, NRZ no presenta características adaptadas para transmitir por cable, se debió transmitir el reloj del transmisor al receptor, sin presentarse problemas de acoplamiento capacitivo.

5.3.2 Cable coaxial. A través del cable coaxial se presentaron las mismas características que para STP.

Cabe resaltar que comparando estos cables no se presentan diferencias en cuanto a localización de errores, debido a que las distancias que se utilizaron para la transmisión a través de cada uno de ellos, no son trascendentes, es decir, para cable STP, se presentan errores de transmisión para distancias mayores de 100m, mientras que para cable coaxial se presentan errores para distancias máximas de transmisión, sin utilizar regeneradores es de 300-400m.

5.3.3 Fibra óptica. En un sistema de transmisión digital por fibra óptica, el transmisor óptico convierte una secuencia de pulsos eléctricos en una secuencia de pulsos ópticos, los cuales se transmiten a través de la fibra óptica. La señal sufre atenuación y distorsión antes de que la convierta en señal eléctrica el receptor óptico.

El receptor óptico está diseñado para tener la máxima sensibilidad posible, el mayor intervalo dinámico, proporcionar en su salida un nivel de señal constante, y estar perfectamente acoplado.

La señal de salida del receptor óptico se compara con un umbral en el periodo T para determinar si existe o no pulso, si está presente un pulso significa que incidió luz en el detector.

Los sistemas de transmisión digital con fibras ópticas utilizan los códigos unipolares, presentados en NRZ y RZ, ya que la fibra brinda la opción de transmisión / no transmisión (presencia de luz / ausencia de luz). Además, fue posible transmitir también el código Manchester, ya que presenta dos niveles de voltaje (1/0). Los códigos AMI, HDB3, CMI, (presentan tres niveles), tendrían que convertirse o codificarse en NRZ/RZ para poder ser transmitidos, lo que haría redundante el proyecto, por esta razón se presenta un BER alto cuando se transmiten dichos códigos por fibra óptica. La fibra de vidrio presenta un diámetro muy pequeño, teniendo en cuenta que la fuente óptica (LED) presenta inconvenientes como la dispersión modal y la dispersión cromática. Además con la fibra de plástico existe mayor posibilidad de evitar pérdidas por acoplamiento. Adicionalmente, los patch-cord con que se contó durante la elaboración del proyecto de longitudes demasiado largas para la potencia que posee la fuente óptica, de manera que la luz no es capaz de atravesar dicha fibra.

Se utilizó la fibra plástica porque esta tiene mayor posibilidad de transmitir la luz utilizada. El principal problema que se tuvo fue de desacoplamiento de área, ya que el patrón de radiación de la fuente utilizada (LED), es grande con respecto al área transversal del núcleo de la fibra. Para solucionar este problema, se redujo al máximo la distancia entre la fuente y la fibra. La otra solución sería emplear fuentes con patrones pequeñas de radiación, en particular, más pequeños que el núcleo, lo que implicaría características ópticas mucho más sofisticadas; la utilización del LED no requiere compensación ni etapas de protección. En general se debe tener mucho cuidado al conectar o desconectar la fibra.

5.4 RECUPERACIÓN DEL RELOJ.

Inicialmente, el circuito encargado de recuperar el reloj de los códigos estudiados, fue diseñado con base en el PLL 567 para comparar las frecuencias, pero no se logró un “enganche” perfecto con la frecuencia de la señal codificada. Con este integrado NE567 se lograba recuperar el reloj pero para frecuencias muy elevadas (mayores de 5MHz), lo cual no estaba al alcance del proyecto, ya que la máxima velocidad de transmisión con el PIC utilizado es de 1MHz. No obstante, se trató de encontrar un chip con las características de frecuencia óptimas, pero en el mercado no está disponible; los que se hallaron están diseñados para aplicaciones industriales (155 MHz). Debido a estos hechos, se optó por transmitir el reloj por medio de un puerto del PIC1 al PIC2, cumpliendo con el objetivo de recuperar la señal en el lado receptor.

5.5. TASA DE ERROR DE BITS

El valor de la tasa de error de bits a velocidades de 2 y 5KHz es cero utilizando tres de los seis códigos (NRZ, RZ, MANCHESTER), transmitiéndolos por los tres medios de transmisión empleados en la práctica.

Cuando se trasmite por fibra óptica a 10KHz y 15KHz ,se presenta BER para todos los casos. Esto se da debido a que el LED no posee la rapidez necesaria para cambiar la intensidad de la luz a estas velocidades. Si se trasmite para el mismo caso, con velocidades de 2KHz y 5KHz, el BER es cero para los códigos NRZ, RZ y MANCHESTER; para los otros códigos CMI, AMI y HDB3, siempre se

presentará BER a estas velocidades, ya que la luz a través de la fibra, solo puede ser alta o nula, no permite otra modulación.

A continuación se muestran las tabulaciones del VER para cada código, teniendo en cuenta el medio de transmisión y la velocidad para cada caso.

Cuadro 8. Tabulación del BER para NRZ.

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0
5	0	0	0
10	0	0	0.75
15	0	0	0.75

Cuadro 9. Tabulación del VER para RZ

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0
5	0	0	0
10	0	0	0.75
15	0.125	0.125	0.75

Cuadro 10. Tabulación del BER para AMI.

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0.75 – 1
5	0	0	0.75 – 1
10	0	0	0.75 – 1
15	0	0	0.875 – 1

Cuadro 11. Tabulación del BER para HDB3.

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0.75 – 1
5	0	0	0.75 – 1
10	0 - 0.125	0 – 0.125	0.875 – 1
15	0.25	0.25	0.875 – 1

Cuadro 12. Tabulación de BER para CMI.

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0.75
5	0	0	0.75 – 0.875
10	0 - 0.125	0 – 0.125	0.75 – 1
15	0.25	0.25	0.875 – 1

Cuadro 13. Tabulación del BER para MANCHESTER.

V (KHz)	BER		
	UTP	Cable Coaxial	Fibra Óptica
2	0	0	0
5	0	0	0
10	0.5	0.5	0.875
15	0.5 – 0.75	0.25 – 0.5	0.875

CONCLUSIONES

Al realizar este proyecto, los autores profundizaron sus conocimientos con respecto a la transmisión de datos.

Los códigos NRZ y RZ poseen la característica de ser adecuados para trabajar en circuitería interna, ya que manejan la lógica SI/NO (transmite / no transmite). Además de esto, están calificados para ser transmitidos a través de fibra óptica ya que en esta trabaja con señales binarias (luz / no luz); Como tal, estos códigos no permiten ser transmitidos por cable coaxial ni UTP, ya que su espectro presenta una componente continua, lo cual imposibilita un acople capacitivo dentro de los circuitos. Para NRZ, específicamente, no se puede recuperar el reloj ya que su espectro no se presenta componentes a la frecuencia de reloj o sus múltiplos, lo que no permite sincronización con el reloj del receptor. Para el caso de este proyecto, se logra decodificar dicho código, debido a que el reloj se envía directamente del emisor al receptor sin presentarse efectos capacitivos porque la frecuencia utilizada no es de valor representativo. Para RZ si se puede extraer el reloj, excepto en el caso de que se emita una cantidad de ceros continuos.

El espectro del código AMI no presenta componente continua. Además, en dicho espectro, aparentemente no se presenta componente de reloj y valores nulos en sus múltiplos; Pero este inconveniente se supera rectificando la señal recibida, obteniéndose una señal digital semejante a la de RZ. También presenta el inconveniente de que a secuencias largas de ceros no se puede recuperar el reloj. La ventaja de este código es la posibilidad de detectar errores, ya que si en esta

señal se encuentran unos consecutivos al mismo nivel de voltaje se presentaría una violación del código. No es posible su transmisión por fibra óptica debido a que presenta 3 niveles (+5, 0 y -5) y esta solo transmite dos niveles (luz /no luz).

El código HDB3 presenta las mismas características de AMI, con la excepción de que puede extraer el reloj, independientemente del número de ceros consecutivos que se presentes, debido a que cuando hay más de tres ceros continuos se aplican características especiales llamadas violaciones. Para el caso de este proyecto se presentan errores cuando se transmite HDB3 a velocidades de 15KHz, debido a que el uC no alcanza a procesar las instrucciones a esta velocidad (el tiempo de rutina del decodificador HDB3 es muy grande y el uC no puede reconocer la señal recibida de manera efectiva).

El código Manchester es considerado un código de línea. Presenta características semejantes a NRZ, excepto en que no contiene componente continua, además con ajustes especiales, es posible su transmisión por fibra óptica. En las pruebas pertinentes, Manchester se puede transmitir perfectamente hasta la velocidad de 10KHz. Para 15Khz se presentan problemas, ya que presenta un tiempo de rutina muy grande en el decodificador y el uC no lo puede reconocerlas con efectividad.

En lo referente a CMI, se concluye que es un código de línea, ya que no presenta componente continua en su espectro. Debido a su elevado numero de transiciones se puede recuperar el reloj fácilmente. En el proyecto se presentan errores en las velocidades de 10KHz y 15KHz, debido a que su rutina presenta un tiempo de espera muy grande para reconocer la diferencia entre un 1 de nivel bajo y un "0". También es complicado transmitirlo por fibra óptica; Se necesita circuitería óptica especializada que reconozca las diferencias entre 0 y -1.

Los problemas de procesamiento que se presentan en el uC, no se presentarían si se hubiesen montado los circuitos codificadores y decodificadores con compuertas lógicas como se planteó inicialmente, pero con estos se presentan dificultades de flexibilidad y eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

CALLEGARI, D., Introducción a los sistemas de transmisión digital: orientada a cursos de entrenamiento. España: Telettra, 1993. p.36 - 102.

HALSALL, Fred, Comunicaciones, Redes de Computadores y Sistemas abiertos. USA: Addison Wesley, 1998. 440p.

STALLING, William. Comunicaciones y redes de computadoras. México: Prentice may, 2000. 513p

STREMLER, Ferrel G Sistemas de Comunicaciones. Bogotá: Alfaomega S.A., 1996. p. 58- 96.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de Computadores. Naucalpan de Juárez, México: Pearson, 1997. p.95-148.

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México. Prentice Hall, 1999. p.512-810.

Disponible En Internet

www.itec/capacita/bv/tecnicapcm/default.htm

www.mparra/transmision_digital/index.htm

www.ual.mx/metodologia/fibra/fibraopt.htm

www.occfiber.com/espanol/index.html

www.geocities.com/SiliconValley/Way/4302/fibra.html

www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingsis/cursos/cursodelhaire/welcome.html

www.unige.ch/seinf/jfl/fibre/

www.terra.es/personal/rubter/

www.inec.org

www1.gratisweb.com/jorgeulisses/fibra.htm

ANEXOS

ANEXO A. Especificaciones del fabricante PIC 16F873

ANEXO B. Especificaciones del fabricante de dispositivos utilizados

ANEXO C . Especificación Medios de Transmisión utilizado.

ANEXO D. Especificación de los Conectores.