

**IMPLEMENTACIÓN EN HARDWARE DE UN ANALIZADOR PARA UN CANAL
DE COMUNICACIONES BINARIO SIMETRICO (BSC)**

SERGIO ALEJANDRO TORRES HERNÁNDEZ

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2010 I**

**IMPLEMENTACIÓN EN HARDWARE DE UN ANALIZADOR PARA UN CANAL
DE COMUNICACIONES BINARIO SIMETRICO (BSC)**

**SERGIO ALEJANDRO TORRES HERNÁNDEZ
052055
SATH_ST@HOTMAIL.COM**

MONOGRAFÍA

**ASESOR TÉCNICO
ING. IVAN LADINO VEGA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2010 I**

Nota de aceptación

Ing. Iván Ladino Vega
Asesor

Nombre Jurado 1
Jurado 1

Nombre Jurado 2
Jurado 2

Ciudad y fecha (día, mes, año)

Dedico este trabajo primero que todo a Dios nuestro Señor por todas aquellas bendiciones y por permitirme estar culminando una etapa más de mi vida. A todas y cada una de las personas que de una u otra forma han estado a mi lado para apoyarme y brindarme su ayuda. A mis padres que son la base no solo para la realización de este proyecto sino para mi formación personal durante toda mi carrera. A mis hermanos que son mis amigos y siempre serán mi complemento. A mi novia por su amor y apoyo incondicional y todos mis amigos que representan ese grupo de personas con las que me forjé durante muchos años como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro Señor por darme salud, sabiduría y entendimiento para llegar a ésta etapa de mi formación profesional.

A mis padres por ser mi fortaleza y sustento diario ya que sin su gigantesco esfuerzo, nada de esto un hubiese sido posible.

A mis hermanos y demás familiares que a pesar de las dificultades nunca han dejado de apoyarme en las situaciones más complicadas.

A mi novia que ya hace parte de mi familia y ha sido un pilar fundamental para no caer ante las adversidades.

A mis amigos por su lealtad y apoyo, ya que sin ellos muchos de los logros no hubiesen sido posible.

A la Fundación Universitaria San Martín por preocuparse constantemente por las necesidades de sus alumnos. Al profesorado por su apoyo y conocimientos compartidos como maestros. A toda la Facultad de ingeniería y sus empleados que siempre han estado llenos de cordialidad y amabilidad para los estudiantes.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
4.1 ANTECEDENTES	19
4.2 MARCO CONCEPTUAL	19
4.2.1 Teorema del límite central	19
4.2.2 Información	20
4.2.2.1 Fuente de información	20
4.2.2.2 Propiedad de la entropía	21
4.2.3 Canal de información	21
4.2.3.1 Canal de Información BSC	22
4.2.4 Procesos Gaussianos	24
4.3 MARCO TEÓRICO	24
4.3.1 Información recibida	24

4.3.2	Canal Gaussiano	26
4.3.3	Entropías a-priori y a-posteriori	27
4.3.4	Información Mutua	28
4.3.5	Propiedades de la información mutua	29
4.3.5	Capacidad de canal	30
4.4	Comunicación Serial	32
4.4.1	Puerto serie RS232	32
4.4.2	El Baudio	34
4.4.3	Niveles lógicos RS-232	34
4.4.4	Formato de un Byte	36
4.4.5	MAX232	36
4.4.6	El Hyperterminal	37
4.5	ESTADO DEL ARTE	40
4.5.1	Capacidad de un canal Continuo	40
4.5.2	Información mutua $I(x; y)$	41
4.6	LIMITACIONES Y ALCANCES	41
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	43
5.1	ESQUEMA METODOLÓGICO	44
6.	DESARROLLO	45
6.1	Capacidad de un BSC	45

6.2	GENERACION DEL RUIDO GAUSSIANO (AWGN)	48
6.2.1	Código para la obtención de la información en el workspace del Matlab	50
6.3	ARCHIVO .wav	51
6.4	PROCESO DE NORMALIZACIÓN	52
6.5	Creación de archivo.wav	55
6.6	Conexión Puerto RS-232 y Microcontrolador	56
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS	60
7.1	Prueba número 1	60
8.	CONCLUSIONES	66
9.	RECOMENDACIONES	67
	GLOSARIO	68
	BIBLIOGRAFÍA	70

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Aproximación de Distribución de probabilidad Binomial a Gaussiana	20
Figura 2. Función de Entropía	21
Figura 3. Canal de información	22
Figura 4. Canal binario simétrico (BSC)	22
Figura 5. Descripción de un canal según probabilidades	23
Figura 6. Matriz de canal	23
Figura 7. Matriz BSC	23
Figura 8. Distribución normal Gaussiana	24
Figura 9. Señal recibida que pasa a través de un canal con AWGN	26
Figura 10. Relaciones entre magnitudes en un canal	30
Figura 11. Información mutua de un BSC	31
Figura 12. Análisis Geométrico de la Información mutua de un BSC	31
Figura 13. Capacidad de canal de un BSC	32
Figura 14. Patillaje del conector DB-9	33
Figura 15. Niveles de tensión lógicos para RS-232	34
Figura 16. Envío de un byte según la norma RS-232	35
Figura 17. MAX232	37
Figura 18. Hyperterminal	38
Figura 19. Configuración del puerto	38
Figura 20. REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO MÓDULO 2 DE LONGITUD N PARA LA GENERACIÓN DE SECUENCIAS MLSRS.	39
Figura 21. BSC (Diseño)	45
Figura 22. Plot $\Omega(z)$ (Diseño)	46
Figura 23. Capacidad de un BSC con respecto a su P_e (Diseño)	47
Figura 24. Modelo en bloques del registro MLSRS (SIMULINK)	48
Figura 25. Salida del registro MLSRS	49
Figura 26. Salida del registro con respecto a la señal que alimenta el sistema	49
Figura 27. Análisis probabilístico del vector de información aleatorio	50

Figura 28. Verificación de Gaussianidad	51
Figura 29. Señal del archivo shake_me.wav	52
Figura 30. Proceso de adecuación de la señal (Matlab)	53
Figura 31. Proceso de normalización (simulink)	54
Figura 32. Proceso de normalización 2 (simulink)	54
Figura 33. Histograma de la señal normalizada	55
Figura 34. Conexión Típica del MAX-232	56
Figura 35. Esquema del proceso BIDIRECCIONAL	57
Figura 36. Interfaz 1	57
Figura 37. Interfaz 2	58
Figura 38. Interfaz 3	58
Figura 39. Interfaz Final	59
Figura 40. Hyperterminal Prueba 1	60
Figura 41. Selección puerto Prueba 1	61
Figura 42. Configuración puerto. Prueba 1	61
Figura 43. Formato de envío de la información	62
Figura 44. Resultado en el osciloscopio (PRUEBA 1) DATO A (41H)	62
Figura 45. Selección puerto Prueba 2	63
Figura 46. Configuración puerto. Prueba 2	64
Figura 47. Formato de envío de la información 2	64
Figura 48. Resultado en el osciloscopio (PRUEBA 2) DATO B (42H)	65
Figura 49. Esquema general del proceso en bloques.	65

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Información Recibida	24
Ecuación 2. Información media de un símbolo s_i	25
Ecuación 3. Entropía de la fuente	25
Ecuación 4. Entropía de una fuente binaria	25
Ecuación 5. Probabilidad condicional	26
Ecuación 6. Señal recibida	26
Ecuación 7. Densidad espectral de potencia	27
Ecuación 8. Entropía a-priori	27
Ecuación 9. Entropía a-posteriori	27
Ecuación 10. Probabilidad del suceso	28
Ecuación 11. Equivocación de canal	28
Ecuación 12. Información mutua	29
Ecuación 13. Primera propiedad de la información mutua	29
Ecuación 14. Caso en que se hace nula la información mutua	29
Ecuación 15. Propiedad de reciprocidad	29
Ecuación 16. Información mutua de un BSC	30
Ecuación 17. Capacidad de canal	32
Ecuación 18. Salida del registro MLSRS	39
Ecuación 19. Entropía de un canal discreto	40
Ecuación 20. Entropía de un canal continuo 1	40
Ecuación 21. Entropía de un canal continuo 2	40
Ecuación 22. Información mutua de un canal continuo	41
Ecuación 23. Probabilidades a-priori (Diseño)	45
Ecuación 24. Información mutua (Diseño)	46
Ecuación 25. Información mutua 2 (Diseño)	46
Ecuación 26. Información mutua 3 (Diseño)	46
Ecuación 27. Información mutua 3 (Diseño)	47
Ecuación 28. Capacidad de canal BSC (Diseño)	47

LISTA DE ANEXOS

- Anexo1. Interfaz preliminar
- Anexo2. Interfaz mejorada
- Anexo3. Código del programa realizado
- Anexo4. Circuito impreso del canal y analizador
- Anexo5. PDF dispositivos utilizados
- Anexo6. Archivos o drivers de dispositivos utilizados

Los Anexos listados anteriormente se pueden encontrar en el CD que va con el Documento y que incluye toda la parte relacionada con el software del proyecto.

RESUMEN

El proceso para el desarrollo de este proyecto tuvo su punto de partida en el análisis de un canal binario simétrico y de las características principales del mismo. Por ende, se realizó un proceso de análisis matemático en el que se estudiaron algunas variables que se deben tener en cuenta a la hora de realizar el proceso de transmisión. Una vez se cumplió esta primera etapa la idea era desarrollar o utilizar un método que permitiera generar una señal estocástica con comportamiento Gaussiano que simulara de alguna forma el proceso de transmisión de datos en un canal de comunicaciones binario, en el que la presencia de ruido y elementos indeseables se hace inevitable .

Una vez se logró este cometido, se inicio un proceso de implementación del canal Binario Simétrico el cual representa el punto de referencia para el análisis principal de este proyecto. El proceso de transmisión se basó principalmente en la generación de una cadena de bits aleatoria desde el PC, la cual se sacó vía puerto serial realizando un proceso de adecuación en un microcontrolador. Este proceso permitió obtener datos libres de bits redundantes y facilitó el proceso de suma de ruido y recuperación de información. La suma del ruido se basó principalmente en la extracción de la señal estocástica del PC por medio de la tarjeta de audio. Teniendo en cuenta que los datos fueron contaminados del ruido de comportamiento Gaussiano, los datos son llevados a un analizador que es el que los compara con un valor referencia y los muestra para poder verificar el resultado final de proceso. Esta verificación incluyó un envío de los datos inicialmente extraídos, en donde se realizó un análisis de algunas variables importantes que como la capacidad de canal, información mutua y probabilidades a posteriori.

Teniendo en cuenta el desarrollo del proyecto, se puede afirmar que se trata de un proceso en el que la información es extraída del computador y una vez pasada por el canal y verificada en el analizador, se devuelve a la máquina para una caracterización de la información por medio de una interfaz grafica que sirva de centro de control.

INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo lo que se pretende realizar es a grandes rasgos la implementación de un proceso de envío de información a través de un modelo de canal binario simétrico BSC en el que de una manera fácil se pueda analizar ciertas variables correspondientes al proceso como tal, identificando las características típicas de un dato que viaja a través de un canal. Teniendo en cuenta esto, será pertinente identificar la naturaleza y comportamiento de aquellas variables y elementos que afectarán la información a la hora de ser enviada a través del canal. Esto tiene que incluir un análisis probabilístico de la señal estocástica en el que se verifique su comportamiento y se valide, con el fin de hacer el proceso lo más verás posible.

Es importante tener en cuenta que siempre que se habla de ruido en un canal de comunicaciones se hace referencia a la integridad de la información como tal. Ante ello se analizará la información enviada y recibida y se determinará el control del procedimiento realizado. En sí, éste proyecto maneja tres fases fundamentales en las cuales se verificará la eficacia de las mismas con un orden estricto para que el proceso sea 100% corroborado.

1. PROBLEMA

Con el paso de los años, los métodos usados en el campo educacional y de formación integral para profesionales, han llevado consigo técnicas que vinculan a los estudiantes con los conceptos básicos de determinada rama de la ciencia. De esta manera, las instituciones académicas basan sus cátedras en el uso de modelos conceptuales, inducidos por el contenido de diferentes libros y documentos científicos que soportan el proceso de investigación para los estudiantes.

En una rama como la Ingeniería, el uso de material de consulta calificado se hace indispensable para tener un adecuado proceso de formación profesional. No obstante, el hecho de tener un documento de base para el estudio de determinado tema, no garantiza el completo desarrollo del aprendizaje para una persona. Por el contrario necesita de muchos más elementos que le brinden la posibilidad de comprobar esos conceptos ya recibidos.

Por esta razón es necesario que se comprenda que un adecuado método de estudio no sólo consta de una parte teórica, en la que se revisan conceptos básicos, procedimientos matemáticos y modelamiento de algunos sistemas, sino que también incluye una parte muy importante en la que por medio de métodos prácticos se logre corroborar los conceptos ya aprendidos tomando como punto de referencia los resultados obtenidos.

Haciendo énfasis en los estudiantes de ingeniería electrónica y de Telecomunicaciones, es preciso puntualizar algunos aspectos que merecen ser revisados, en pro de buscar una mejora en los métodos de estudio. En primer lugar, la importancia del proceso de la comunicación, ha enfocado el trabajo de los ingenieros en la necesidad de optimizar la transmisión de información por determinado medio.

El proceso de la comunicación se ha convertido en un mundo cada vez más complejo, en el que un gran número de variables entran en análisis y en el que la pérdida o daño de información se transforma en el problema y dolor de cabeza para los Ingenieros. Sin embargo, a pesar de múltiples esfuerzos por lograr una transmisión libre de errores, ha sido muy complicado que las señales o datos transmitidos se recuperen en un 100%.

Por ende, es necesario la implementación de un dispositivo que haga de estas limitaciones, un asunto olvidado, en el que los estudiantes puedan dejar de hacer supuestos en cuanto a la teoría de las comunicaciones y pasen a una etapa en la que desde el laboratorio, tengan acceso a elementos que permitan conocer las características de un canal y aspectos que se deben tener en cuenta en un

proceso de transmisión de datos. Así mismo, el estudiante no sólo obtiene datos cuantitativos, sino que puede hacer inferencias acerca del experimento realizado.

2. JUSTIFICACIÓN

En el mundo de las telecomunicaciones se presentan un sin número de parámetros que son de vital importancia para el estudio del proceso de transmisión de datos y que para los profesionales en Ingeniería son de gran ayuda. A diario, se usan diferentes elementos que permiten expresar a las demás personas, algún tipo de información, donde se agiliza un proceso o se documenta un tema específico. Desde hace mucho tiempo, este proceso de comunicación se ha convertido en un reto para los ingenieros, no sólo por ser un mundo muy complejo con demasiadas variables, sino debido a que no ha podido llegar a un nivel en el que se tenga plena certeza que la información o mensaje que se expresa va a ser fielmente transmitido.

Desde el punto de vista de las Telecomunicaciones, un elemento que representa un valor trascendental es el medio por el cual viaja la información, o más exactamente el Canal de comunicaciones. Este no sólo representa la ruta que toma el mensaje, sino es en él, donde la información puede sufrir perturbaciones hasta tal punto que se degrade su contenido. Por tal motivo es que la investigación e implementación de este proyecto de grado es viable, ya que siendo el canal de comunicaciones un aspecto imprescindible para una adecuada transmisión de información, se hace necesaria la implementación de un dispositivo que permita valorar, modelar y analizar las características de un canal de comunicaciones y que a su vez permita involucrarse en la parte práctica donde se corroboren los resultados, apartándose de los elementos netamente teóricos que ofrecen los libros.

Teniendo en cuenta estos puntos de vista, el analizador para un modelo estándar de canal de comunicaciones como lo es el BSC (Binary Symetric Channel), representa una herramienta que para los ingenieros electrónicos y de Telecomunicaciones, corresponde un instrumento obligado para asignaturas como Comunicaciones Digitales, permitiendo así apartarse de un método de estudio plano en el que la práctica se deja a un lado. Paralelamente a ello, un ingeniero que no cuente con equipos necesarios para abordar este tema y sobre todo sin los recursos para la adquisición de dispositivos de alto costo expuestos en el mercado, puede tener la facilidad de revisar el presente proyecto y de esta manera encontrar en el mismo, una herramienta acomodada a las necesidades de un estudiante.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar en hardware un Analizador para un canal de comunicaciones binario simétrico (BSC).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar en hardware un modelo experimental de canal de comunicaciones binario simétrico (BSC) con un control de ajuste de nivel de ruido AWGN.
- Diseñar e implementar en hardware un analizador para un canal de comunicaciones binario simétrico (BSC) que determine la información mutua, probabilidades a-priori y a-posteriori y la capacidad del mismo.
- Realizar la simulación correspondiente al proceso implementado con el canal de comunicaciones con el fin de obtener los datos deseados, como la información mutua, probabilidades a-priori y a-posteriori y la capacidad de canal.

4. MARCO REFERENCIAL

En el trabajo de investigación que se presenta a continuación se toma como referencia todos aquellos conceptos y temas con énfasis en la TEORÍA DE INFORMACIÓN y diferentes características presentadas en un canal de comunicaciones. Así mismo se especifican los elementos que afectan al mensaje dentro de un canal y además, la naturaleza de estos componentes.

4.1 ANTECEDENTES

Tomando como referencia el tema planteado para este proyecto, se han realizado las investigaciones pertinentes acerca de trabajos que se hayan realizado anteriormente y que estén enfocados hacia un esquema similar del aquí propuesto. Además, se ha indagado acerca de posibles proyectos de grado no solo en la Fundación Universitaria San Martín, sino en otras instituciones que puedan comprender semejanzas en lo que respecta al análisis práctico de un canal de comunicaciones. El resultado de la investigación arrojó que el análisis implementado a diferentes tipos de canales de información se ha hecho netamente teórico y que las estimaciones realizadas forman parte de un amplio material de consulta hoy presente en los documentos de comunicaciones digitales.

Un aspecto a agregar, es que en cuanto a simulaciones, si se han realizado trabajos en esta institución. Para el primer periodo del presente año, los alumnos de la asignatura de comunicaciones digitales, basaron sus conceptos de TEORÍA DE INFORMACIÓN para simular un canal de comunicaciones y así poder analizar algunos de sus parámetros, teniendo en cuenta determinar las probabilidades a-priori y a-posteriori.

Es por ello que el presente proyecto representa un elemento innovador en el análisis de datos, de una manera práctica desde el trabajo de laboratorio.

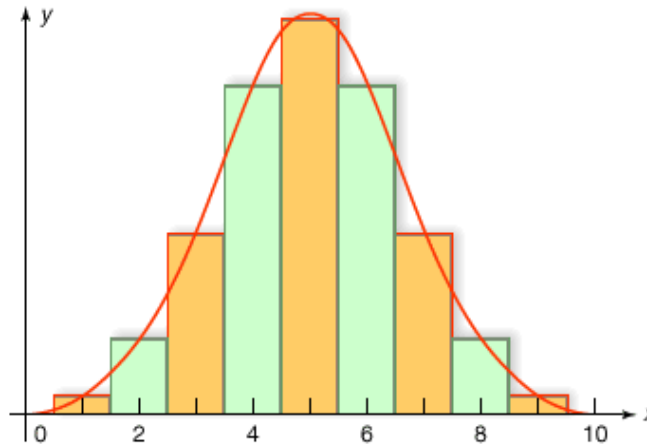
4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Teorema del límite central

“El *Teorema del límite central* dice si una muestra es lo bastante grande (Esto considerando bastante grande como mínimo, $n > 30$), sea cual sea la distribución de probabilidad de la variable aleatoria de interés, la distribución de la media muestral será aproximadamente una normal o también llamada *Gaussiana*. Además, la media será la misma que la de dicha variable y la desviación típica de la media muestral será aproximadamente el error estándar” (Robira, 2008).

En la Figura 1, se puede apreciar con claridad un ejemplo de cómo la distribución binomial se aproxima a la Gaussiana, comprobando el Teorema del límite central.

Figura 1. Aproximación de Distribución de probabilidad Binomial a Gaussiana



(ENCY, 2003)

4.2.2 Información

La información está relacionada con el elemento sorpresa, el cual es un resultado de la incertidumbre que se tenga de un evento. Entre menos certeza se posea de la ocurrencia de determinado evento, se puede decir que hay una mayor sorpresa y por ende, una mayor cantidad de información (Lathi, 1998).

Además es preciso complementar que la información está relacionada en la parte semántica a todo lo que le genera interés al usuario. A su vez en cuanto a la parte matemática, la información está relacionada con la novedad.

4.2.2.1 Fuente de información

Es importante poder describir matemáticamente un mecanismo generador de información. Podría imaginarse una fuente de información que se encuentre emitiendo una secuencia de símbolos pertenecientes a un alfabeto finito y fijo, $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n\}$. Los símbolos de esta fuente que a su vez son emitidos sucesivamente, se eligen de acuerdo con la probabilidad que se tenga.

Tal fuente de información la podemos conocer como fuente de memoria nula y puede describirse completamente mediante el alfabeto fuente \mathbf{S} y las probabilidades con que los símbolos emitidos por dicha fuente se puedan presentar, $P(S_1), P(S_2), P(S_3), \dots, P(S_n)$.

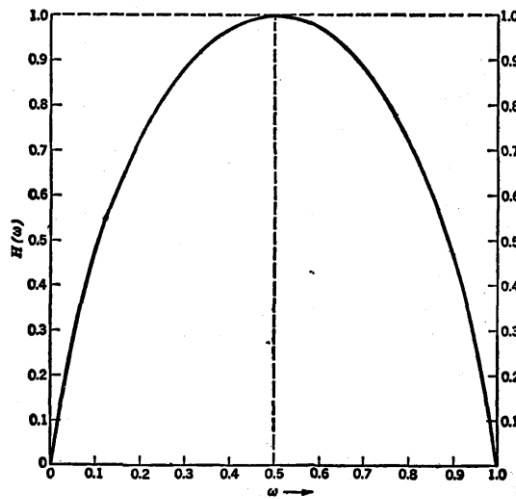
A su vez, puede ser calculada la información media suministrada por una fuente de información en presencia de un símbolo **Si**. Esta magnitud, representada como la cantidad media de información por símbolo de la fuente, recibe el nombre de **ENTROPÍA H(S)**.

4.2.2.2 Propiedad de la entropía

“Una propiedad fundamental de la Entropía se basa en el hecho de que para una fuente de información de memoria nula con un alfabeto de **q** símbolos, el valor máximo de entropía es precisamente $\log q$, que se alcanza única y exclusivamente si todos los símbolos de la fuente son equiprobables” (Abramson, 1963).

En la figura 2 se puede verificar la función de Entropía, teniendo en cuenta la probabilidad de símbolos lo que permite identificar en su punto máximo y así obtener la cantidad de información deseada.

Figura 2. Función de Entropía



(Abramson, N. 1963)

Se puede notar que la información media suministrada por un símbolo de tal fuente será siempre menor o igual a un bit, dándose de esta manera solo en el caso que los dos símbolos sean igualmente probables.

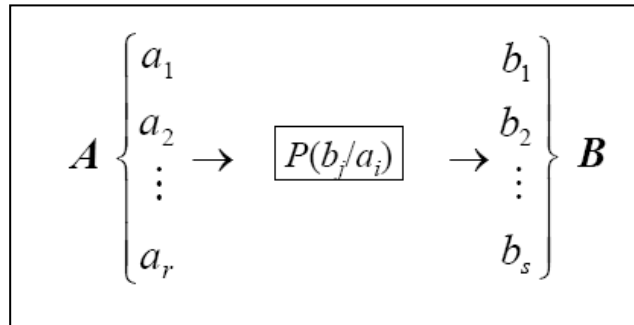
4.2.3 Canal de información

Un canal de información, está determinado por un alfabeto de entrada $A = \{a_i\}$, siendo $i = 1, 2, 3, \dots, r$; un alfabeto de salida $B = \{b_j\}$, siendo $j = 1, 2, 3, \dots, s$; y un

conjunto de probabilidades condicionales $P(b_i/a_i) \cdot P(b_i/a_i)$, es la probabilidad de recibir a la salida el símbolo b_i cuando se envía el símbolo de entrada a_i .

En la Figura 3 se observa tanto el alfabeto de entrada como el de salida, los cuales están determinados por las probabilidades condicionales.

Figura 3. Canal de información

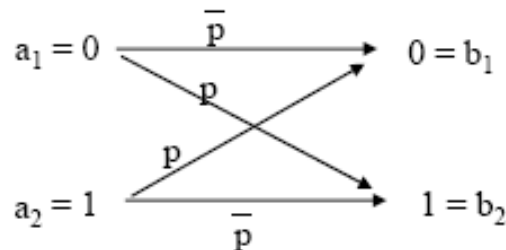


(Abramson, 1963)

4.2.3.1 Canal de Información BSC

Un canal de gran importancia para los análisis netamente teóricos de la teoría de la información, es BSC (**Binary Simetric Channel**). Este canal, como el mostrado en la Figura 4 posee dos símbolos de entrada ($a_1 = 0$ y $a_2 = 1$) y dos símbolos de salida ($b_1 = 0$ y $b_2 = 1$). Se le nombra con el término simétrico, debido a que existe una probabilidad de que tenga lugar un error ρ , en donde la probabilidad de recibir un 0 al haber enviado un 1, es igual a la probabilidad de recibir un 1 habiéndose enviado un 0.

Figura 4. Canal binario simétrico (BSC)



(Abramson, 1963)

Teniendo en cuenta las probabilidades, se hace más conveniente la descripción de un canal de comunicaciones como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Descripción de un canal según probabilidades

		Salidas			
		b_1	b_2	...	b_s
Entradas	a_1	$P(b_1/a_1)$	$P(b_2/a_1)$...	$P(b_s/a_1)$
	a_2	$P(b_1/a_2)$	$P(b_2/a_2)$...	$P(b_s/a_2)$

	a_r	$P(b_1/a_r)$	$P(b_2/a_r)$...	$P(b_s/a_r)$

(Abramson, 1963)

Además esta descripción se puede traducir con la utilización de la Figura 6.

Figura 6. Matriz de canal

$$P = \begin{pmatrix} P(b_1/a_1) & P(b_2/a_1) & \dots & P(b_s/a_1) \\ P(b_1/a_2) & P(b_2/a_2) & \dots & P(b_s/a_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(b_1/a_r) & P(b_2/a_r) & \dots & P(b_s/a_r) \end{pmatrix}$$

(Abramson, 1963)

Para el caso de un canal de comunicaciones Binario Simétrico (BSC), también es posible encontrar su representación matricial como la mostrada en la Figura 7.

Figura 7. Matriz BSC

$$P = \begin{pmatrix} \bar{p} & p \\ p & \bar{p} \end{pmatrix}$$

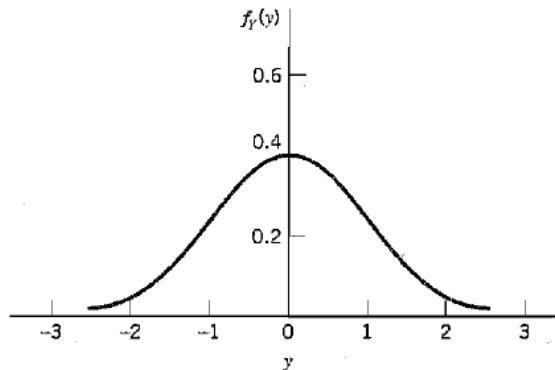
(Abramson, 1963)

Ya se ha utilizado el concepto de medida de información para poder obtener la cantidad de información suministrada por una fuente. La función de un canal de comunicaciones, sin embargo no es generar información, sino transmitirla de la entrada a la salida.

4.2.4 Procesos Gaussianos

En la Figura 8 se puede observar la representación grafica del comportamiento Gaussiano para una variable aleatoria y .

Figura 8. Distribución normal Gaussiana



(Haykin, 2001)

“El proceso Gaussiano tiene muchas propiedades que hacen posible resultados analíticos. Además, procesos aleatorios producidos por fenómenos físicos, permiten ver que el modelo Gaussiano es apropiado para su análisis. A su vez, experimentos realizados han confirmado que el modelo de la distribución de Gauss es apropiado para describir de manera perfecta los fenómenos físicos. Es por esto que el modelo de distribución normal es utilizado en desarrollos matemáticos en el estudio de las telecomunicaciones” (Proakis, 2001).

4.3 MARCO TEÓRICO

Con respecto a la información manejada en un canal de comunicaciones y todos los parámetros que se deben tener en cuenta, es importante que se revisen todos los procesos matemáticos, analizando aspectos que permitan indagar en la teoría de información.

4.3.1 Información recibida

Sea E un suceso que puede presentarse con una probabilidad de $P(E)$. Como se muestra en la Ecuación 1, cuando E sucede, se dice que se ha recibido

Ecuación 1. Información Recibida

$$I(E) = \log \frac{1}{P(E)} \text{ unidades de información (Bits)}$$

(Abramson, 1963)

Teniendo en cuenta que una fuente de información se encuentra emitiendo una secuencia de símbolos pertenecientes a un alfabeto, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n\}$. A su vez, cada símbolo está determinado por la probabilidad de que pueda ser emitido por dicha fuente, $P(S_1), P(S_2), P(S_3), \dots, P(S_n)$.

La información media suministrada por una fuente de información en presencia de un símbolo S_i puede ser calculada con la Ecuación 2.

Ecuación 2. Información media de un símbolo s_i

$$I(s_i) = \log \frac{1}{P(s_i)}$$

(Abramson, 1963)

A su vez, asociando la cantidad media de información por símbolo de la fuente y su probabilidad, es posible calcular la **ENTROPÍA $H(S)$** de la fuente por medio de la Ecuación 3.

Ecuación 3. Entropía de la fuente

$$H(S) = \sum_s P(S_i) \log \frac{1}{P(S_i)}$$

(Abramson, 1963)

Para el caso de una fuente de información binaria de memoria nula, el alfabeto se reduce solo a $\{0, 1\}$, en donde la probabilidad de que se produzca un 0 es de ω y la de 1, $\varpi = 1 - \omega$. Teniendo en cuenta esto, es posible calcular la entropía de la fuente por medio de la Ecuación 4.

Ecuación 4. Entropía de una fuente binaria

$$H(S) = \omega \log \frac{1}{\omega} + \varpi \log \frac{1}{\varpi} \quad \text{Bits}$$

(Abramson, 1963)

Existe un conjunto de probabilidades referentes al canal de comunicaciones que puede calcularse a partir de $P(a_i)$ y $P(b_i/a_i)$.

Refiriéndonos a lo que plantea la ley de Bayes, la probabilidad condicional de una entrada a_i , cuando se recibe una salida b_i , viene dada por la Ecuación 5.

Ecuación 5. Probabilidad condicional.

$$P(a_i / b_i) = \frac{P(b_i / a_i)P(a_i)}{P(b_i)}$$

(Abramson, 1963)

4.3.2 Canal Gaussiano

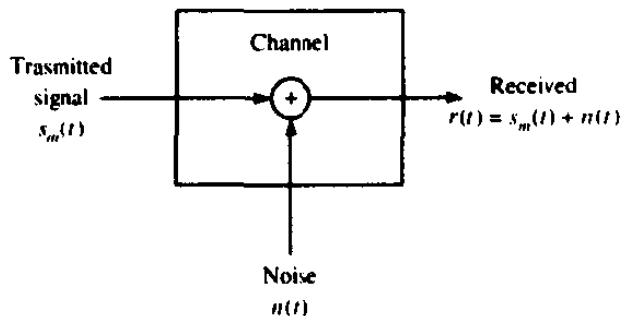
Se tiene una señal $s(t)$ transmitida a través del canal. En él, la señal sufre la presencia de elementos indeseables que se adicionan a esta $n(t)$ que es el AWGN. Esta expresión se puede visualizar de una mejor forma con la Ecuación 6 y que se representa por medio de la Figura 9.

Ecuación 6. Señal recibida

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

(Abramson, 1963)

Figura 9. Señal recibida que pasa a través de un canal con AWGN



(Proakis, 2001)

“En un canal con Ruido blanco Gaussiano Aditivo (**AWGN**), la señal $n(t)$ tiene una distribución de probabilidad normal o Gaussiana con propiedades como la que se muestra en la Ecuación 7 y siendo $N_0/2$, la densidad espectral de potencia” (Wiley, 2005).

Ecuación 7. Densidad espectral de potencia

$$E[n(t)] = 0, (\forall t)$$
$$R_n(\tau) = E[n(t)n(t-\tau)] = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$$

(Abramson, 1963)

4.3.3 Entropías a-priori y a-posteriori

“Cada uno de los símbolos que se reciben a la salida de un canal de comunicaciones, están relacionados de acuerdo con un conjunto de probabilidades $P(b_i)$. Teniendo en cuenta lo anterior, la probabilidad del símbolo de salida sea b_i dado que el símbolo de entrada es a_i es $P(b_i/a_i)$. Así mismo, la elección del símbolo de entrada a_i , se da con una probabilidad $P(a_i)$ ” (Abramson, 1969).

De esta manera, es posible denominar $P(a_i)$, como la probabilidad **a-priori** de los símbolos de entrada, es decir, antes de recibir algún símbolo a la salida del canal. Por ende, $P(a_i/b_i)$ recibirá en nombre de probabilidad **a-posteriori**, que representa la probabilidad una vez se haya recibido el símbolo b_i .

Con base en estas probabilidades, es posible calcular la entropía del conjunto de símbolos de entrada. Se le puede nombrar como entropía **a-priori** y se muestra en la Ecuación 8 y la entropía a-posteriori de A, dado que se recibió b_i mostrada en la Ecuación 9.

Ecuación 8. Entropía a-priori

$$H(A) = \sum_A P(a) \log \frac{1}{P(a)}$$

(Abramson, 1963)

Ecuación 9. Entropía a-posteriori

$$H(A/b_i) = \sum_A P(a/b_i) \log \frac{1}{P(a/b_i)}$$

(Abramson, 1963)

“Lo anterior entendiéndose $H(A)$, como el número medio de bits necesarios para representar un símbolo de una fuente con probabilidad a-priori $P(a_i)$ y $H(A/b_i)$, como el número medio de bits necesario para representar un símbolo de una fuente con probabilidad a-posteriori $P(a_i/b_i)$ ” (Abramson, 1969).

Las probabilidades $P(a_i/b_i)$, son denominadas en algunas ocasiones como probabilidades hacia atrás, para distinguirlas de las probabilidades hacia adelante $P(b_i/a_i)$.

Teniendo en cuenta lo anterior, la probabilidad suceso $P(a_i, b_i)$ se muestra en la Ecuación 10.

Ecuación 10. Probabilidad del suceso

$$P(a_i, b_i) = P(b_i / a_i)P(a_i)$$

$$P(a_i, b_i) = P(a_i / b_i)P(b_i)$$

(Abramson, 1963)

4.3.4 Información Mutua

Considerando nuevamente el modelo de canal usado en la Figura 3, con r entradas y s salidas, además tomando como referencia la entropía del alfabeto de entrada (Ecuación 3) y todo lo referente a las probabilidades hacia adelante y las de entrada; se puede calcular las probabilidades hacia atrás $P(a_i/b_i)$, las probabilidades afines $P(a_i, b_i)$ y finalmente la equivocación que se calcula con la Ecuación 11.

Ecuación 11. Equivocación de canal

$$H(A/B) = \sum_{A,B} P(a,b) \log \frac{1}{P(a/b)}$$

(Abramson, 1963)

“Con base en esto, se ha demostrado que la información mutua es el número medio de bits necesarios para determinar un símbolo a la entrada antes de conocer el símbolo de salida correspondiente, menos el número medio de bits

necesarios para especificar un símbolo de entrada después de conocer el símbolo de salida” (Abramson, 1963). Esto se expresa en la Ecuación 12.

Ecuación 12. Información mutua

$$I(A; B) = H(A) - H(A/B)$$

(Abramson, 1963)

4.3.5 Propiedades de la información mutua

Es necesario aclarar el hecho que determina el signo de la información mutua. Ante esto se determina la primera propiedad de la información mutua mostrada en la Ecuación 13 la cual se hace igual en la situación mostrada en la Ecuación 14.

Ecuación 13. Primera propiedad de la información mutua

$$I(A; B) \geq 0$$

(Abramson, 1963)

Ecuación 14. Caso en que se hace nula la información mutua

$$P(a_i, b_j) = P(a_i)P(b_j) , \text{ Para cualquier } i, j$$

(Abramson, 1963)

En conclusión, la información media recibida por un canal ha de ser siempre positiva. Además, como se hizo referencia anteriormente, la condición para que la información mutua sea cero es que los símbolos de entrada y salida sean estadísticamente independientes (Ecuación 14).

Una propiedad que es fundamental en el manejo del concepto de la información mutua es la de simetría con respecto a sus variables, sustituyendo la salida por la entrada y viceversa sin alterarse de alguna forma. Ésta se puede observar en la Ecuación 15.

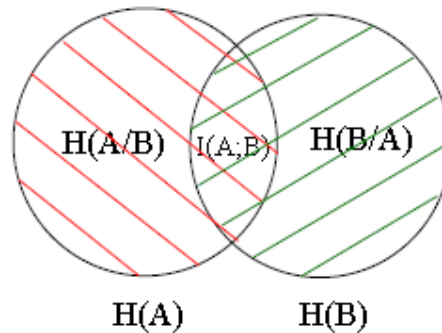
Ecuación 15. Propiedad de reciprocidad

$$I(A; B) = I(B; A)$$

(Abramson, 1963)

Una forma apropiada de entender los diferentes elementos y magnitudes presentes en un canal se expresa en la Figura 10.

Figura 10. Relaciones entre magnitudes en un canal



(Abramson, 1963)

En la Figura 10, el círculo de la izquierda representa la entropía de A y el de la derecha la entropía de B. La zona de la intersección corresponde a la información mutua y finalmente $H(A)$ y $H(B)$ equivalen a las equivocaciones respectivas.

4.3.5 Capacidad de canal

A partir de la presencia de un canal con alfabetos de entrada y salida A y B respectivamente, se examina la variación de la información mutua $I(A;B)$, al variar las probabilidades de los símbolos de entrada.

Para el caso particular de un canal binario simétrico BSC de probabilidad de error p , se tiene la Ecuación 16.

Ecuación 16. Información mutua de un BSC

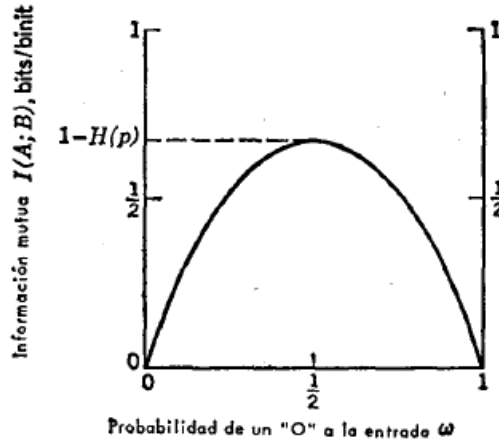
$$I(A;B) = H(\omega p + \bar{\omega} \bar{p}) - H(p)$$

(Abramson, 1963)

En la Ecuación 16 ω es la probabilidad de elegir un 0 de entrada y además $\bar{\omega} = 1 - \omega$, $\bar{p} = 1 - p$. La información mutua varía entre 0 y $1 - H(p)$. El mínimo, 0, se alcanza para $\omega = 0$ y $\omega = 1$. En estos casos se conoce el símbolo enviado con probabilidad 1, inclusive sin recibir el símbolo de salida correspondiente. En la figura 11 se

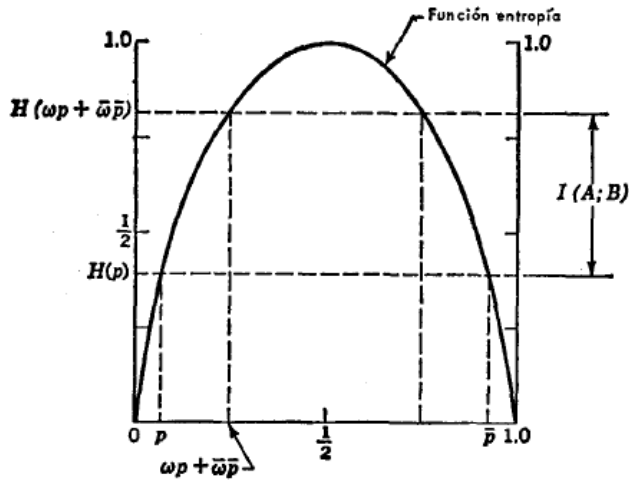
observa la información mutua de un BSC con respecto a la probabilidad de cero a la entrada y en la Figura 12 se observa el análisis geométrico del mismo.

Figura 11. Información mutua de un BSC



(Abramson, 1963)

Figura 12. Análisis Geométrico de la Información mutua de un BSC



(Abramson, 1963)

El valor mínimo de la información mutua puede lograrse simplemente al elegir un símbolo de entrada con probabilidad 1. El valor máximo de la información mutua es un poco más complicado de calcular. Se denomina C , **capacidad de canal** y se verifica con la Ecuación 17 en donde se ve que se calcula hallando el punto de inflexión de la Información mutua.

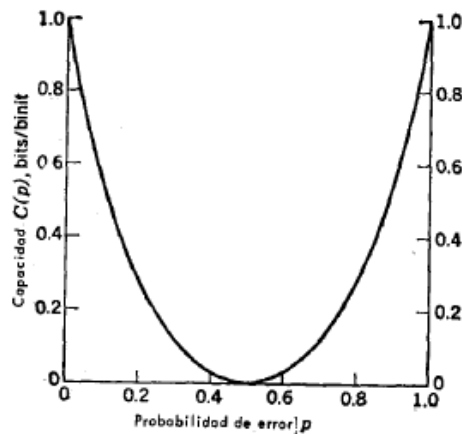
Ecuación 17. Capacidad de canal

$$C = \max_{p(a_i)} I(A; B)$$

(Abramson, 1963)

La capacidad de un canal de información es función única y exclusiva de sus probabilidades condicionales, sin depender en ningún momento de las probabilidades de entrada. Esto se ve en la Figura 13.

Figura 13. Capacidad de canal de un BSC



(Abramson, 1963)

Teniendo en cuenta la Figura 12, la capacidad de un BSC de probabilidad de error p es $1 - H(p)$.

4.4 COMUNICACIÓN SERIAL

En una comunicación serial el puerto envía y recibe bytes de información, un bit a la vez. A pesar que este proceso se hace más lento que la comunicación paralela, la cual permite la transmisión entera de bytes de una sola vez, es más sencillo y puede utilizarlo en distancias grandes.

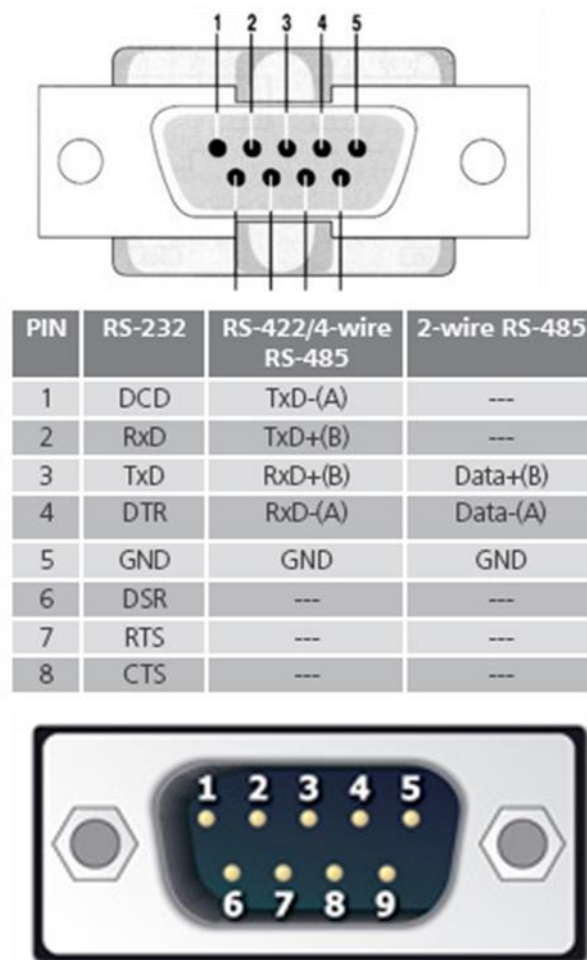
4.4.1 Puerto serie RS232

“La forma más fácil y más utilizada de comunicar cualquier dispositivo con un ordenador es a través de su puerto serie que es compatible con el estándar RS-

232 o EIA-232 Standard. En un ordenador puede haber varios puertos series normalmente denominados COM1, COM2,..., etc". (Palacios ,2006)

Los puertos Seriales son accesibles mediante cierto tipo de conectores. La norma RS-232 establece dos tipos de conectores llamados DB-25 (25 PINES) y el DB-9 (9 PINES). El patillaje de este conector se ve en la Figura 14.

Figura 14. Patillaje del conector DB-9



(Palacios ,2006)

En el caso de quererse la comunicación con un microcontrolador, simplemente es necesaria la utilización de 3 pines:

- Línea de transmisión (TDX), pin 3 (Transmitted Data)

- Línea de recepción (RXD), pin 2 (Received Data).
- Pin de masa (SG), pin 5 (Signal Ground)

4.4.2 El Baudio

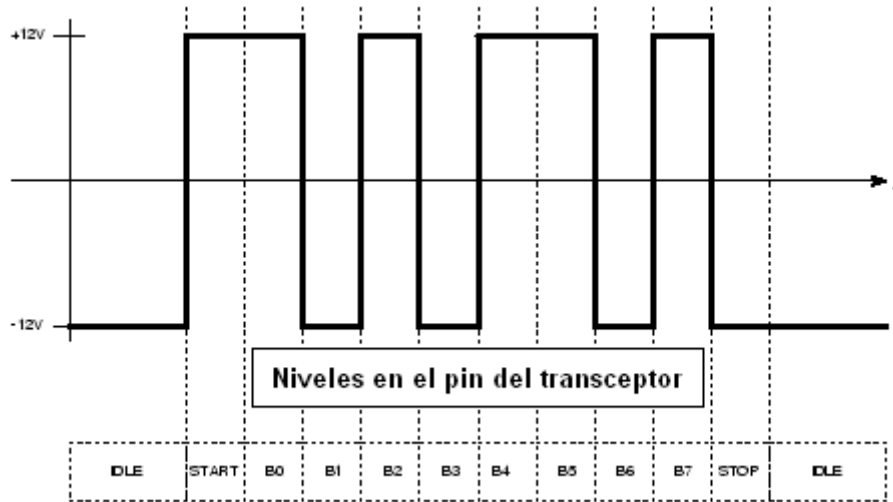
Un dato importante tener en cuenta en cualquier comunicación es la velocidad de transmisión, que es la cantidad de información enviada por determinada línea de transmisión en la unidad de tiempo. La unidad más conocida para expresar esta medida es el BAUDIO, que es proporcional a los bits/s (bps), definidos como el número de bits de información enviados por segundo. (Palacios ,2006)

La velocidad a la que pueden trabajar los puertos COM de un ordenador está normalizada a 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, Baudios, etc.

4.4.3 Niveles lógicos RS-232

La figura 15 ilustra los requisitos en cuanto a niveles lógicos que debe cumplir una transmisión serie según la norma RS-232.

Figura 15. Niveles de tensión lógicos para RS-232



(Palacios ,2006)

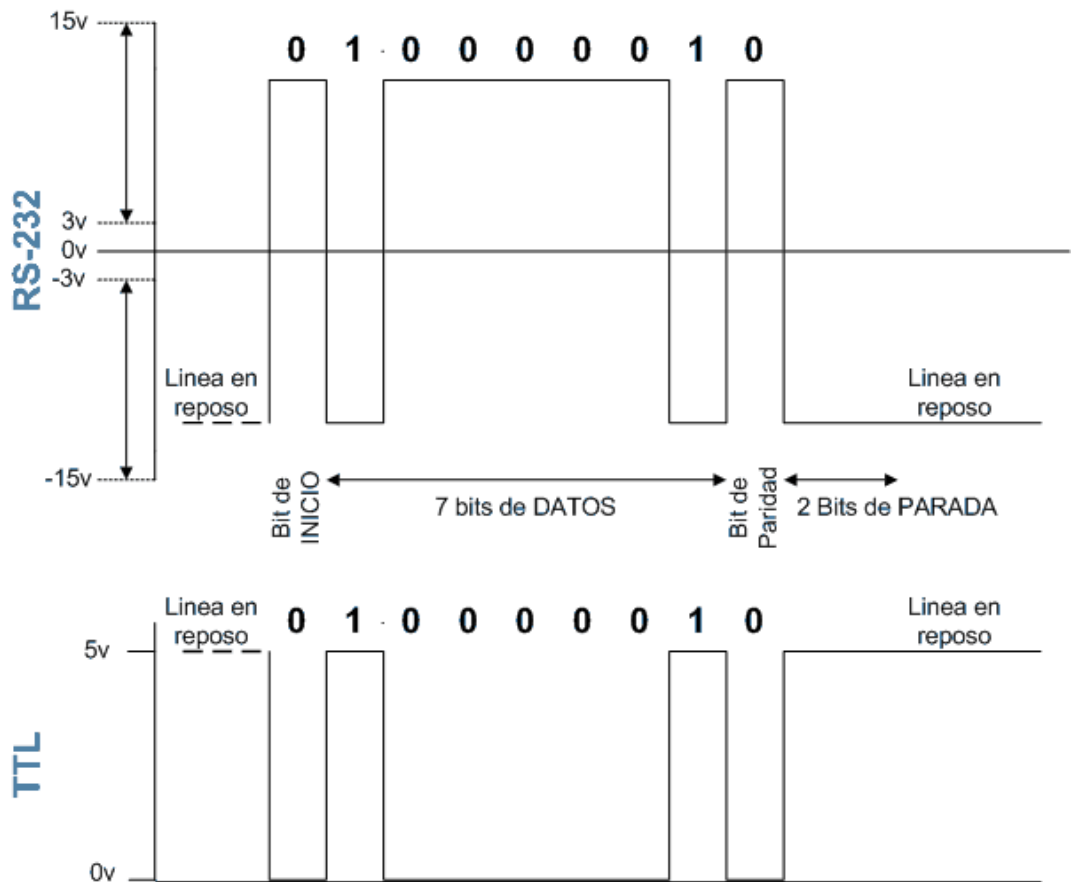
Los datos se transmiten con lógica negativa, es decir, un voltaje positivo en la conexión representa un '0' lógico, mientras que un voltaje negativo representa un

'1' lógico. Para garantizar un '0' una línea debe mantener un voltaje entre +3 y +15v. Del mismo modo para un '1' lógico debe estar entre -3 y -15v. Los voltajes mas usados son +12 v para el '0' y -12v para el '1'.

Cuando el puerto serie no está transmitiendo mantiene el terminal de transmisión a '1' lógico a -12v normalmente. La banda muerta entre -3v y +3v se conoce como la región de transición donde los niveles lógicos no están definidos. Esto significa que cualquier valor en ese intervalo puede interpretarse como '0' o '1'. (Palacios ,2006)

La Figura 16 muestra la relación en el envío de un byte con respecto a los datos RS-232 y TTL.

Figura 16. Envío de un byte según la norma RS-232



(Palacios ,2006)

4.4.4 Formato de un Byte

“La comunicación de datos en un puerto serie RS-232 se usa normalmente para efectuar comunicaciones asíncronas sin tiempo preestablecido para iniciarse. Los datos llegan en paquetes de información normalmente de 8 bits. Algunos dispositivos envían dato por dato, otros guardan muchos caracteres en la memoria y cuando les toca enviarlos los envían uno tras otro.” (Palacios ,2006)

El protocolo establecido por la norma RS-232 envía la información estructurada en 4 partes mostradas en la Figura 16.

- Bit de inicio o arranque (*start*). Es un paso de -12v a +12v, es decir, de un '1' a un '0' lógico en la lógica negativa de la norma RS-232. Cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y, a partir de entonces debe leer las señales de la línea a distancias concretas de tiempo en función de la velocidad fijada por emisor y receptor.
- Bits de datos (*Datas*). Los bits de datos son enviados al receptor después del bit de start. El bit de menos peso LSB (Least Significant Bit) es transmitido primero y el de mayor peso MSB (Most Significant Bit) el último. Un carácter de datos suele consistir en 7 u 8 Bits.
- Bit de paridad (*Parity*). Dependiendo de la configuración de la transmisión un bit puede ser enviado después de los bits de datos. Con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits '1' enviados sea par.
- Bit de parada (*Stop*). La línea queda a -12v después del último bit enviado, es decir, queda a '1' en la lógica negativa de la norma RS-232. Indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 ó 2 bits de parada.

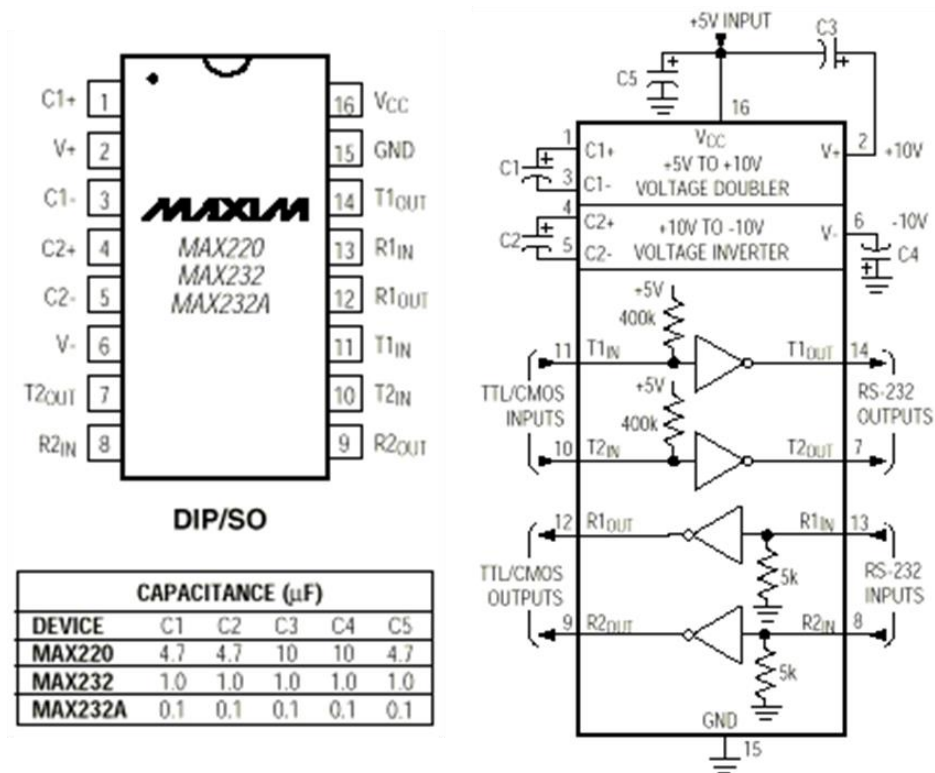
4.4.5 MAX232

En el mercado hay muchos circuitos integrados que permiten la conversión entre niveles TTL y niveles RS-232. Entre ellos destaca el transceptor MAX232 fabricado por Dallas Semiconductor – MAXIM.

El MAX232 convierte los niveles RS-232 (cerca de +12 y -12v) a voltajes TTL (0 a 5v) y viceversa sin requerir nada más que una fuente de +5v. El chip contiene dos drivers TTL – RS232 y dos RS232 – TTL como se puede verificar en la Figura 17.

Necesita cuatro condensadores externos de unos pocos microfaradios para generar el voltaje RS-232 internamente.

Figura 17. MAX232



(Palacios ,2006)

4.4.6 El Hyperterminal

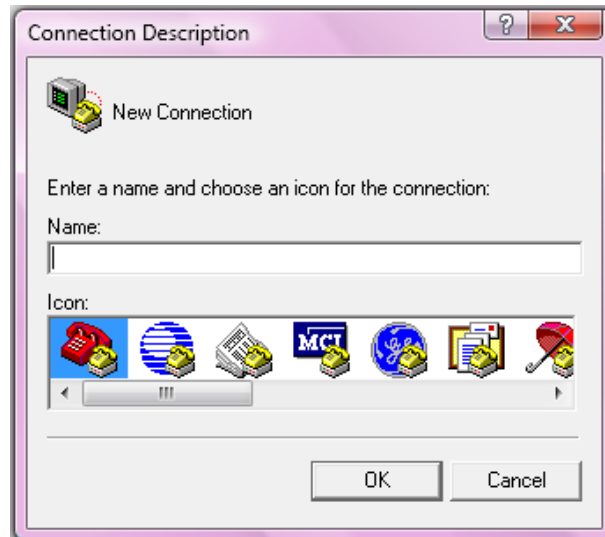
Hyperterminal es un programa general de comunicaciones de Windows, que resulta válido para conectarse con otros ordenadores o dispositivos. Hay programas de comunicaciones mucho más potentes que éste, sin embargo, Hyperterminal se caracteriza por su facilidad de uso y su fácil adquisición, ya que viene integrado con el Windows.

Para ejecutar Hyperterminal hay que seguir los siguientes pasos:

- Dentro de Windows hay que activar Inicio> Todos los programas > Accesorios > Comunicaciones y selecciona Hyperterminal.

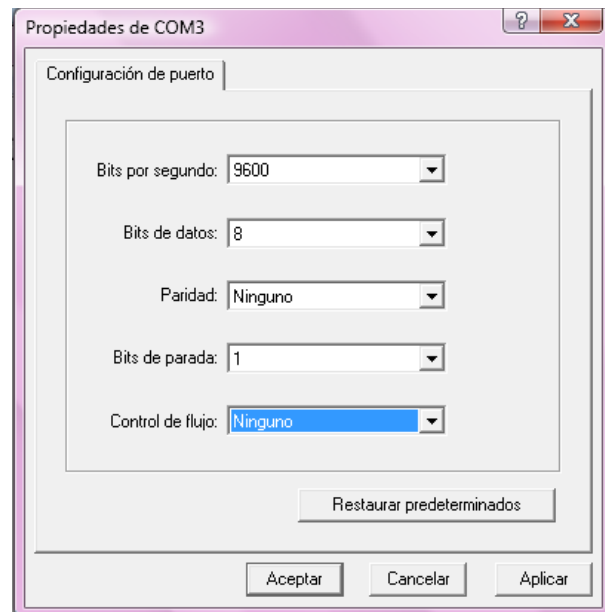
Aparece una pantalla con las propiedades del puerto donde se establece las apropiadas para el sistema utilizado como se ve en las Figuras 18 y 19.

Figura 18. Hyperterminal



(Palacios ,2006)

Figura 19. Configuración del puerto



(Palacios ,2006)

4.4.7 Generadores con registros realimentados de máxima longitud de secuencia (MLSRS).

La Figura 20 muestra el esquema general para el caso de un registro de desplazamiento realimentado módulo 2 [GF(2)] para generar una distribución cualquiera de acuerdo a la elección de los coeficientes de peso g_i especificados en la Ecuación 18.

En el caso de la función de densidad de probabilidades uniforme el vector de los coeficientes de peso sigue la ley general $g = [1 \ 2 \ 4 \dots \ 2^{N-1}]^T$.

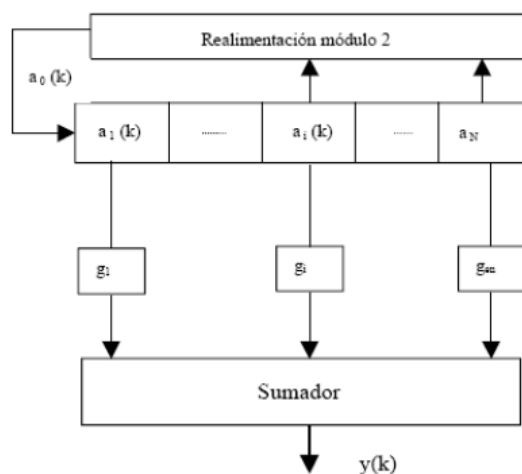
La salida vendrá dada por la expresión dada en la Ecuación 18 y que se representa en la Figura 20.

Ecuación 18. Salida del registro MLSRS

$$y(k) = \sum_{i=1}^N a_i(k) g_i$$

(Infante, 2005)

Figura 20. REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO MÓDULO 2 DE LONGITUD N PARA LA GENERACIÓN DE SECUENCIAS MLSRS.



(Infante, 2005)

4.5 ESTADO DEL ARTE

4.5.1 Capacidad de un canal Continuo

Para una variable aleatoria discreta x se toma n valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ con probabilidades $P(x_1), P(x_2), P(x_3), \dots, P(x_n)$, la entropía $H(X)$ puede ser definida en la Ecuación 19.

Ecuación 19. Entropía de un canal discreto

$$H(X) = \sum_{i=1}^n P(x_i) \log P(x_i)$$

(Lathi, 1998)

Para datos análogos, se tiene que trabajar basándose en variables aleatorias continuas. Así mismo, es necesario extender el concepto de entropía a variables aleatorias continuas como se muestra en la Ecuación 20.

Ecuación 20. Entropía de un canal continuo 1

$$H(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log \frac{1}{p(x)} dx$$

(Lathi, 1998)

Sin embargo, la anterior definición no puede ser aceptada. Una variable aleatoria x toma un valor en el rango $(n\Delta x, (n+1)\Delta x)$ con probabilidad $p(n\Delta x)\Delta x$ en el límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$. Entonces, la entropía de una variable aleatoria continua x , está dada por la Ecuación 21.

Ecuación 21. Entropía de un canal continuo 2

$$H(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log \frac{1}{p(x)} dx - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \log \Delta x$$

(Lathi, 1998)

“En el límite que aparece en la Ecuación 15, $\Delta x \rightarrow -\infty$. Por lo tanto la entropía de una variable aleatoria continua es infinita. La magnitud de la incertidumbre asociada con una variable aleatoria continua es infinita. Una variable aleatoria

continua asume un infinito número de valores, y por ende la incertidumbre esta en un orden infinito.” (Lathi, 1998)

4.5.2 Información mutua $I(x; y)$

Si se desea transmitir una variable aleatoria x a través d un canal, cada valor de x en un determinado rango continuo es ahora un rango que puede ser transmitido como lo puede ser un pulso de altura x . Si el canal es libre de errores, el valor recibido esta determinado únicamente por el valor transmitido de x . Pero el error introduce una cierta incertidumbre sobre el valor de x .

Considerando en el transmisor un valor de x en un intervalo $(x, x + \Delta x)$ se ha transmitido $(\Delta x \rightarrow 0)$. La probabilidad de este evento es $p(x)\Delta x$ en el límite $(\Delta x \rightarrow 0)$. Por ende, la cantidad de información transmitida es $\log[1/p(x)\Delta x]$.

Debido a que $\log[1/p(x)\Delta x]$ es la información transmitida y $\log[1/p(x|y)\Delta x]$ es la información que se pierde a través del canal, la información recibida es $I(x; y)$ y está dada por la Ecuación 22.

Ecuación 22. Información mutua de un canal continuo

$$I(x; y) = \log \frac{p(x|y)}{p(x)}$$

(Lathi, 1998)

Es preciso aclarar que esto es verdadero siempre y cuando $(\Delta x \rightarrow 0)$. Entonces, $I(x|y)$, representa la información transmitida sobre el canal cuando se recibe un y ($y = y$) y cuando x es transmitida ($x = x$).

4.6 LIMITACIONES Y ALCANCES

Con respecto a las limitaciones presentes en este proyecto se puede hablar del hecho que la utilización de un modelo de canal de comunicaciones como lo es el binario simétrico BSC, aborda un estudio netamente enfocado en este tipo de canal. Esto representaría, un trabajo limitado por las características propias de un BSC.

Teniendo en cuenta que este proyecto está enfocado en el análisis de un modelo de canal de comunicaciones binario simétrico (BSC), sería muy importante tener en cuenta aspectos como el avance en la tecnología o la llegada de nuevos dispositivos al mercado, con el fin de abordar no solo un canal de comunicaciones estándar, sino incorporarse en el estudio de cualquier tipo de canal lineal, permitiendo a los Ingenieros del mañana, realizar estimaciones sobre métodos que puedan calcular no solo las características básicas del mismo, sino poder controlar esas perturbaciones presentes en el canal y así, corregir algunas irregularidades muy probables a lo largo de la transmisión.

Mucho se ha hablado acerca de la presencia de ruido en un canal de comunicaciones, por lo cual el hombre ha intentado desarrollar métodos que de alguna forma protegen la información de aquellos aspectos indeseables que la alteran. No obstante, siempre el resultado trae consigo la presencia de elementos que modifican de algún modo la señal. Por tal motivo sería adecuado y favorable para el hombre proyectar este concepto que se plantea con el fin de reducir si es posible en un 100% todas aquellas alteraciones o deformaciones que se involucren con el proceso de comunicación.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

El aspecto metodológico del presente proyecto incluye una parte de indagación o análisis investigativo que permita recolectar conceptos claves para un desarrollo futuro. Posteriormente se hace un proceso **exploratorio** en el que se abordan modelos matemáticos ya existentes para el diseño e implementación de elementos aun no tratados prácticamente. Finalmente después de llevar a cabo la implementación del dispositivo, se realiza un proceso **descriptivo** en el que a partir de la recolección de datos, se pueda inferir al respecto. A continuación se presenta cómo se llevará a cabo cada etapa del proceso.

En primera instancia, el proceso conlleva una etapa de investigación, que se considera obligada para la implementación y desarrollo de cualquier proyecto. En esta, se obtiene y recolecta todo tipo de material que me permita documentar cada uno de los análisis que se realicen en pro de cumplir con los objetivos. No obstante, se debe tener en cuenta la calidad que debe contener dicha materia, debido a que las bases teóricas deben ser lo suficientemente fuertes como para poder realizar los procesos y modelamientos requeridos.

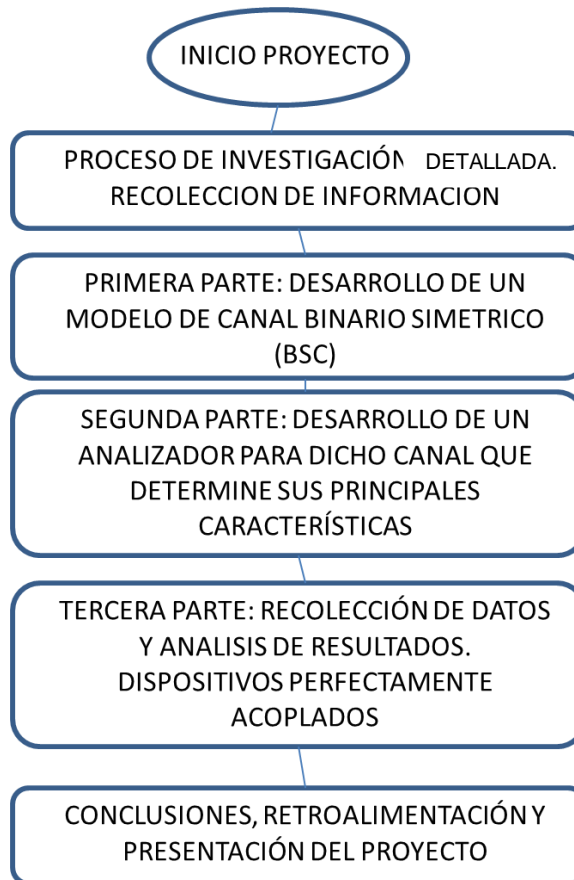
Una vez se haya llevado a cabo esta etapa primaria, el proyecto consta de 3 partes fundamentales dependientes una de la otra y que conforman el proceso de acople final en el que se estiman parámetros y se hacen los experimentos necesarios para saber la efectividad del mismo.

- **PARTE1:** En primer lugar el diseño de un modelo de canal de comunicaciones binario simétrico (BSC), se considera como un desafío, ya que es necesario que las perturbaciones producidas por el mismo referentes a la información que contiene, deben tener características Gaussianas. Esto quiere decir que el Ruido presente en el canal de comunicaciones será AWGN (Additive White Gauss Noise). El por qué de las características de este ruido tiene que ver con la gran cantidad de fuentes de ruido que existen dentro del canal y además que una distribución de probabilidad Gaussiana es considerada apropiada para lo correspondiente a estudios de sistemas de comunicación. Es importante aclarar que sin importar la distribución que manejen ciertas variables dentro del canal, el comportamiento de las mismas tiene tendencia Gaussiana al aumentar el número de fuentes de ruido (Componentes, temperatura, personas). Es importante aclarar que el uso de microcontroladores, hace parte de una estimación acerca de una probable forma de implementar el canal de comunicaciones, teniendo en cuenta el tráfico del tren de bits.
- **PARTE2:** Para la segunda parte de este proyecto es importante tener en cuenta muchos conceptos relacionados con la teoría de información. La idea general de este nuevo proceso, es diseñar e implementar un dispositivo capaz

de analizar el canal que ya se hizo. El analizador, conlleva un trabajo detallado en lo que corresponde a la entrada y salida del canal y de esta manera poder identificar la capacidad de canal, las probabilidades a-priori y a-posteriori y la información mutua del mismo.

- PARTE3: Teniendo en cuenta que el canal y el analizador se encuentra perfectamente bien acoplados, se lleva a cabo la parte de recolección de datos en donde se realiza toda parte experimental y análisis de resultados. Esta parte concluyente, lleva consigo la verificación de la información y datos obtenidos por medio de una interfáz grafica en la que se realice la simulación. A su vez es fundamental tener en cuenta que el acople se encuentre en las mejores condiciones debido a que cuando en una línea de transmisión no existe un perfecto acople en sus terminales, se producen ondas reflejadas y se deteriora la información. Esta parte consta de un proceso de simulación usando la versión estudiantil de Matlab R2008a.

5.1 ESQUEMA METODOLÓGICO



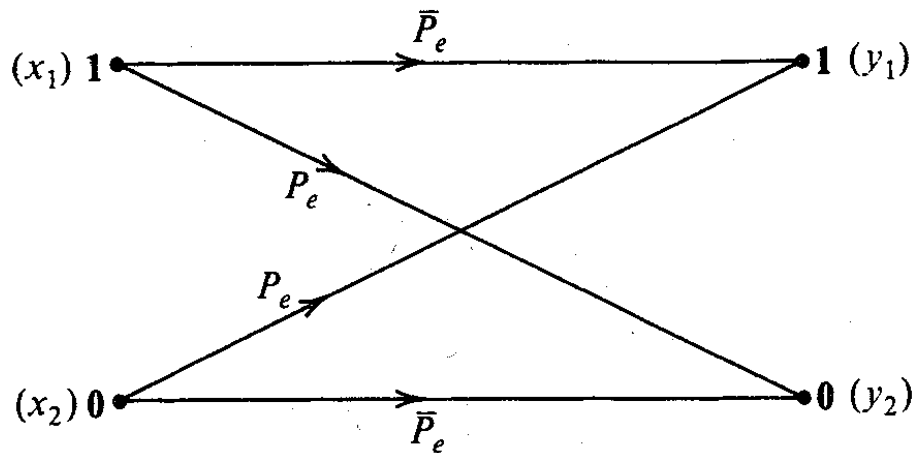
6. DESARROLLO

Con el fin de realizar el análisis correspondiente al canal de información que hace parte del trabajo investigativo, es preciso realizar ciertos procedimientos matemáticos que servirán como base para el diseño del canal binario simétrico como tal.

6.1 CAPACIDAD DE UN BSC

Para encontrar la capacidad de un canal binario simétrico se debe tener en cuenta los parámetros mostrados en la Figura 21.

Figura 21. BSC (Diseño)



(Lathi, 1998)

Se tiene una $P(x_1) = \alpha$ y $P(x_2) = \bar{\alpha} = 1 - \alpha$. Teniendo en cuenta esto se tienen las probabilidades a-priori como se ven en la Ecuación 23.

Ecuación 23. Probabilidades a-priori (Diseño)

$$P(y_1 | x_2) = P(y_2 | x_1) = P_e$$

$$P(y_1 | x_1) = P(y_2 | x_2) = \bar{P}_e = 1 - P_e$$

(Lathi, 1998)

Se reemplaza las probabilidades en la Ecuación 23 y se obtiene la expresión de la Ecuación 24.

Ecuación 24. Información mutua (Diseño)

$$I(X;Y) = \sum_i \sum_j P(x_i)P(y_j | x_i) \log \frac{P(y_j | x_i)}{\sum_i P(x_i)P(y_j | x_i)}$$

(Lathi, 1998)

Ésta representa la información mutua en términos de de las probabilidades de los símbolos de entrada y la matriz de canal representándose en la Ecuación 25.

Ecuación 25. Información mutua 2 (Diseño)

$$I(X;Y) = \alpha \bar{P}_e \log \left(\frac{\bar{P}_e}{\alpha \bar{P}_e + \bar{\alpha} P_e} \right) + \alpha P_e \log \left(\frac{P_e}{\alpha P_e + \bar{\alpha} \bar{P}_e} \right) + \bar{\alpha} P_e \log \left(\frac{P_e}{\alpha \bar{P}_e + \bar{\alpha} P_e} \right) + \bar{\alpha} \bar{P}_e \log \left(\frac{\bar{P}_e}{\alpha P_e + \bar{\alpha} \bar{P}_e} \right)$$

$$I(X;Y) = (\alpha P_e + \bar{\alpha} \bar{P}_e) \log \left(\frac{1}{\alpha P_e + \bar{\alpha} \bar{P}_e} \right) + (\alpha \bar{P}_e + \bar{\alpha} P_e) \log \left(\frac{1}{\alpha \bar{P}_e + \bar{\alpha} P_e} \right) - \left(P_e \log \frac{1}{P_e} + \bar{P}_e \log \frac{1}{\bar{P}_e} \right)$$

(Lathi, 1998)

Si se define $\Omega(z) = z \log \frac{1}{z} + \bar{z} \log \frac{1}{\bar{z}}$ con $\bar{z} = 1 - z$, entonces se obtiene la Ecuación 26.

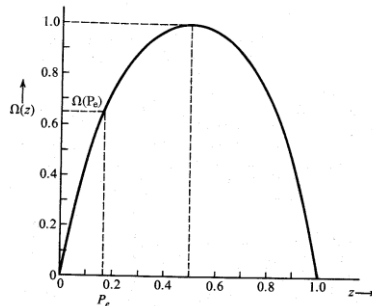
Ecuación 26. Información mutua 3 (Diseño)

$$I(x; y) = \Omega(\alpha P_e + \bar{\alpha} \bar{P}_e) - \Omega(P_e)$$

(Lathi, 1998)

Si se analiza la función $\Omega(z)$ vs z se tiene la gráfica mostrada en la Figura 22.

Figura 22. Plot $\Omega(z)$ (Diseño)



(Lathi, 1998)

Esta función toma su valor máximo en $z = 1/2$. Para determinada Pe , $\Omega(Pe)$ esta fija, por lo tanto la $I(x; y)$ es máxima cuando $\Omega(\alpha Pe + \bar{\alpha} \bar{Pe})$ es máxima. Esto ocurre cuando se da la igualdad de la Ecuación 27.

Ecuación 27. Información mutua 3 (Diseño)

$$\alpha Pe + \bar{\alpha} \bar{Pe} = 0.5$$

(Lathi, 1998)

A su vez, la Ecuación 27 satisface cuando $\alpha = 0.5$. Para este valor de α , $\Omega(\alpha Pe + \bar{\alpha} \bar{Pe}) = 1$, entonces se cumple la expresión de la Ecuación 28.

Ecuación 28. Capacidad de canal BSC (Diseño)

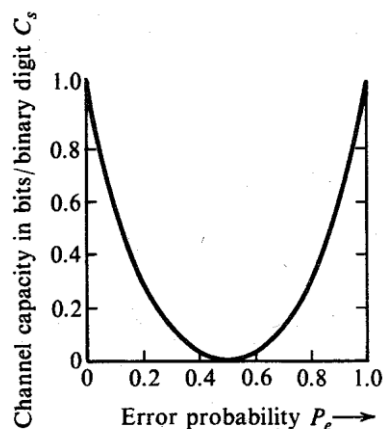
$$C_s = \max_{P(x_i)} I(x; y) = 1 - \Omega(Pe)$$

$$C_s = 1 - [Pe \log \frac{1}{Pe} + (1 - Pe) \log \left(\frac{1}{1 - Pe} \right)]$$

(Lathi, 1998)

Si se quiere analizar la C_s con respecto a la probabilidad de error, se puede ver a partir de la Figura 23.

Figura 23. Capacidad de un BSC con respecto a su Pe (Diseño)



(Lathi, 1998)

En la Figura 23 se puede observar que la C_s se hace cero cuando la $P_e=1/2$. Esto quiere decir que cuando $P_e=1/2$, el símbolo transmitido y el símbolo recibido son estadísticamente independientes.

6.2 GENERACION DEL RUIDO GAUSSIANO (AWGN)

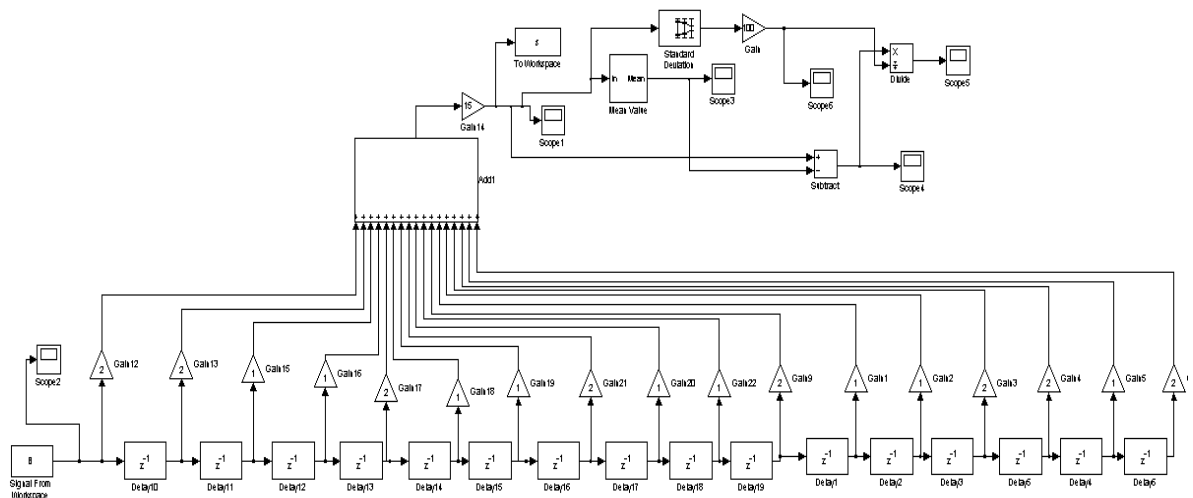
Se genera desde Matlab un tren de bits aleatorio para alimentar el registro MLSRS, mostrado en la Figura 24, el cual genera la señal aleatoria con comportamiento Gaussiano.

- Código utilizado:

Se utiliza el comando `randint` que genera una cantidad finita de números enteros, permitiendo manejar la cantidad de datos y así mismo el valor máximo del dato.

`B=randint(1,50000); // se generan 50000 datos enteros cuyos valores están en el intervalo de 0 a 1.`

Figura 24. Modelo en bloques del registro MLSRS (SIMULINK)

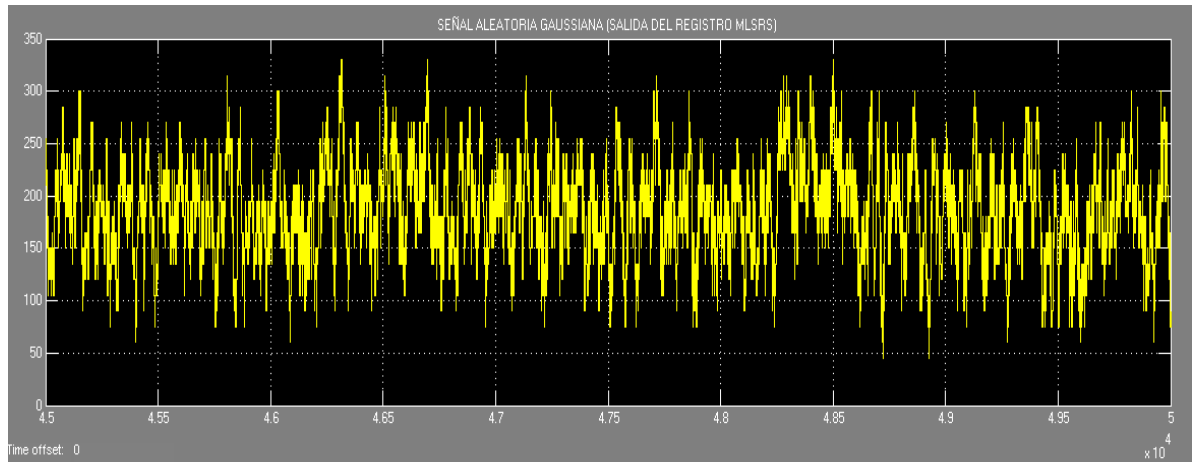


Matlab (R2008a)

El funcionamiento de este registro consiste en la generación de un tren de bits aleatorio que alimenta a una serie de registros que a su vez, producen números aleatorios a su salida. Estos números a su vez son direccionados a un sumador

para obtener una señal aleatoria con unas características específicas como las mostradas en la Figura 25.

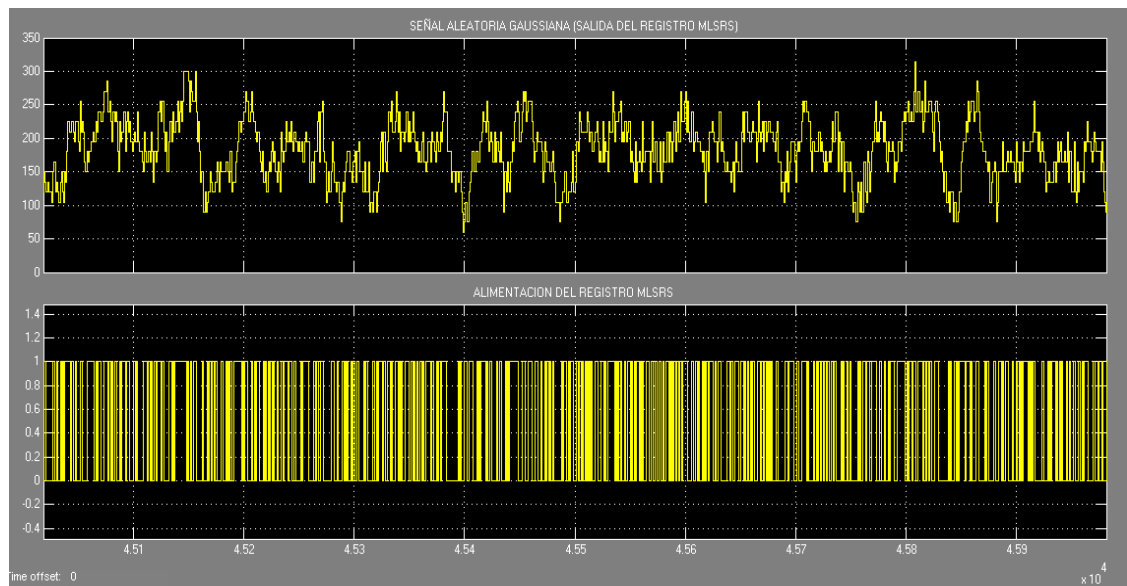
Figura 25. Salida del registro MLSRS



Matlab (R2008a)

En la Figura 26 se ve la salida y la entrada del registro MLSRS.

Figura 26. Salida del registro con respecto a la señal que alimenta el sistema



Matlab (R2008a).

Posteriormente se debe hacer un análisis de la señal obtenida y a su vez realizar un análisis probabilístico como el de la Figura 27 y la Figura 28, de modo que se corrobore si tiene comportamiento Gaussiano. En cuanto a la señal de salida, se puede verificar diferentes amplitudes para un grupo determinado de muestras (50000). Ante esto es necesario primero que todo verificar la Gaussianidad de la señal de la siguiente manera.

Se usa el bloque en Simulink que exporta la señal al workspace y se obtienen los datos en un vector.

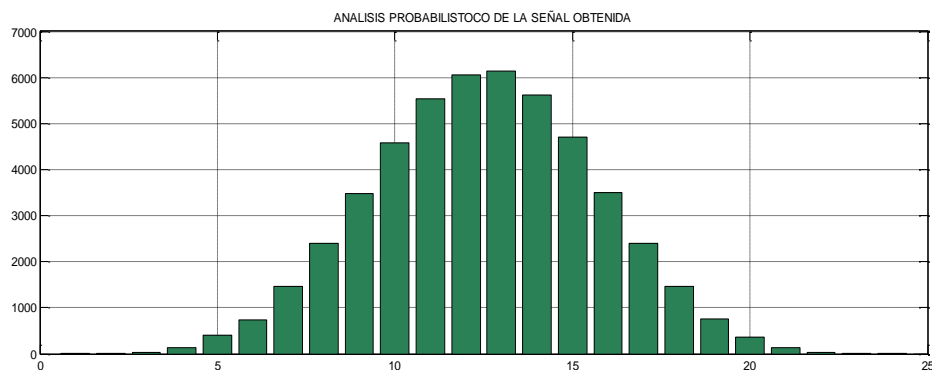
6.2.1 Código para la obtención de la información en el workspace del Matlab

```

B=randint(1,50000)/////se genera el tren de bits para alimentar el registro MLSRS
v=s.signals.values /////se obtienen los valores y se guardan en v
for i=1:50000
v1(1,i)=v(1,1,i);
end
for n=1:25
v2(1,n)=0;
end
for n=1:25
for i=1:50000
y=v1(1,i);
if y==n
v2(1,n)=1+v2(1,n);
end
end
end
t=1:25;
plot(t,v2(1,t))

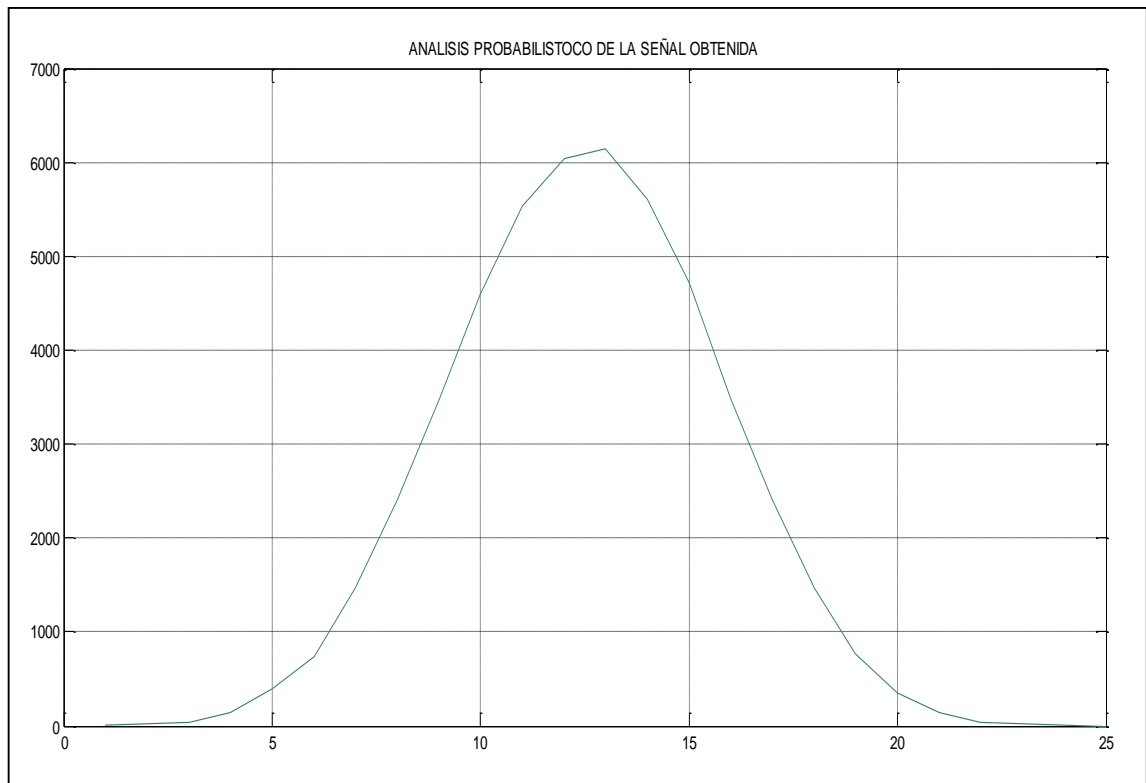
```

Figura 27. Análisis probabilístico del vector de información aleatorio



Matlab (R2008a).

Figura 28. Verificación de Gaussianidad



Matlab (R2008a).

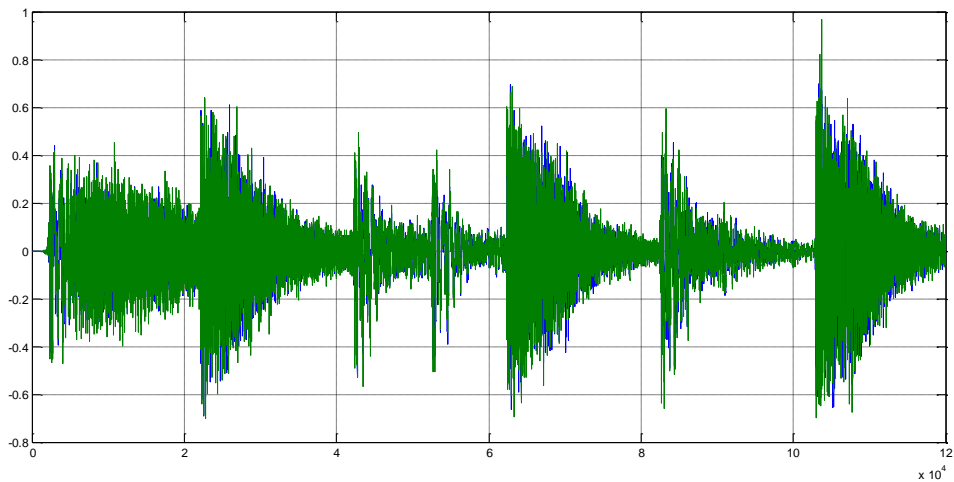
6.3 ARCHIVO .WAV

Teniendo en cuenta que se pretende extraer del PC el ruido Gaussiano AWGN por medio de la tarjeta de audio. Es necesario guardar los valores obtenidos en la señal de salida en un vector que se pueda trabajar fácilmente. Antes de ello por medio de la herramienta Matlab se analiza un archivo.wav ya existente para verificar sus características y así poder tener una base para la normalización de la señal obtenida.

Se analiza un archivo.wav ya existente mostrado en la Figura 29 y se lee en Matlab con la siguiente instrucción:

```
y = wavread('nombre del archivo')  
plot(y)// Se grafica para saber los valores en los que se encuentra dicha señal
```

Figura 29. Señal del archivo shake_me.wav



Matlab (R2008a).

Como se pudo observar la señal del archivo de prueba toma valores que se encuentran entre -1 y 1. Es por eso que debemos realizar un proceso que permita ajustar la señal aleatoria a un formato legible por la tarjeta de audio.

6.4 PROCESO DE NORMALIZACIÓN

Teniendo en cuenta que la señal obtenida toma valores entre 0 y 350, es necesario en primera instancia quitarle la media de los datos para obtener la señal con media en 0. Y finalmente como se desea conseguir valores entre -1 y 1, lo que se hace es dividir la señal entre n veces la desviación estándar de los datos.

Para ello, se llevó a cabo un proceso en Matlab que incluía el siguiente código:

```
>> v=s.signals.values;
for i=1:50000
v1(1,i)=v(1,1,i);
end
v1=v1';
m=mean(v1)
e=std(v1)
v1out=v1-m;
v1out2=v1out/(3*e);
subplot(311);
plot(v1)
```

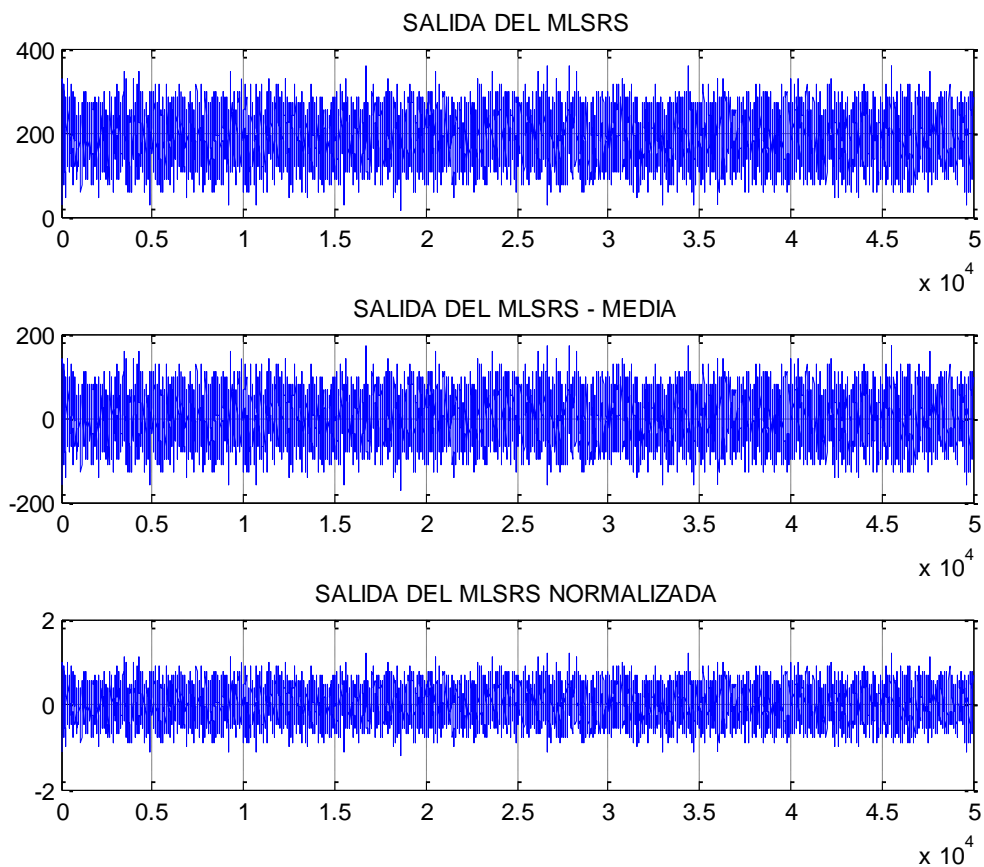
```

title('SALIDA DEL MLSRS')
hold on
grid on
subplot(312);
plot(v1out)
title('SALIDA DEL MLSRS - MEDIA')
hold on
grid on
subplot(313);
plot(v1out2)
title('SALIDA DEL MLSRS NORMALIZADA')
hold on
grid on

```

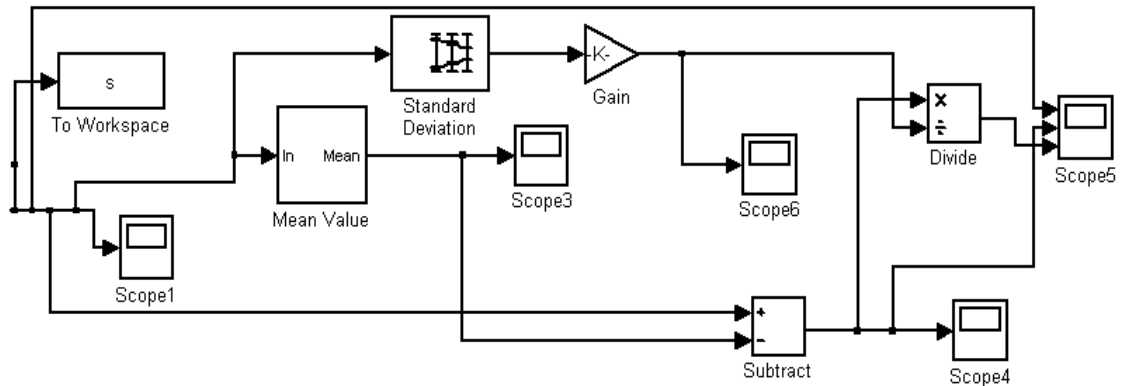
En la Figura 30 se muestra el resumen del proceso de normalización y en la Figura 31 se representa en bloques de Simulink.

Figura 30. Proceso de adecuación de la señal (Matlab)



Matlab (R2008a).

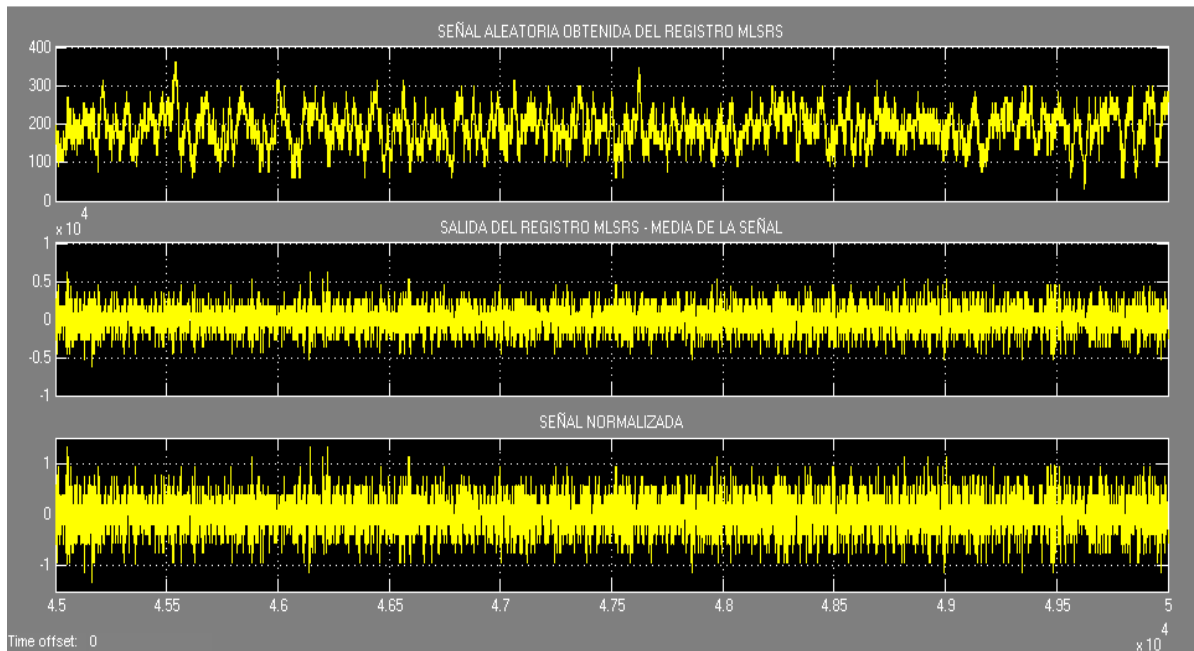
Figura 31. Proceso de normalización (simulink)



Matlab (R2008a).

En la Figura 32 se visualiza el resultado del proceso realizado mediante la herramienta Simulink comparándose con el proceso utilizado con el código ya mencionado.

Figura 32. Proceso de normalización 2 (simulink)

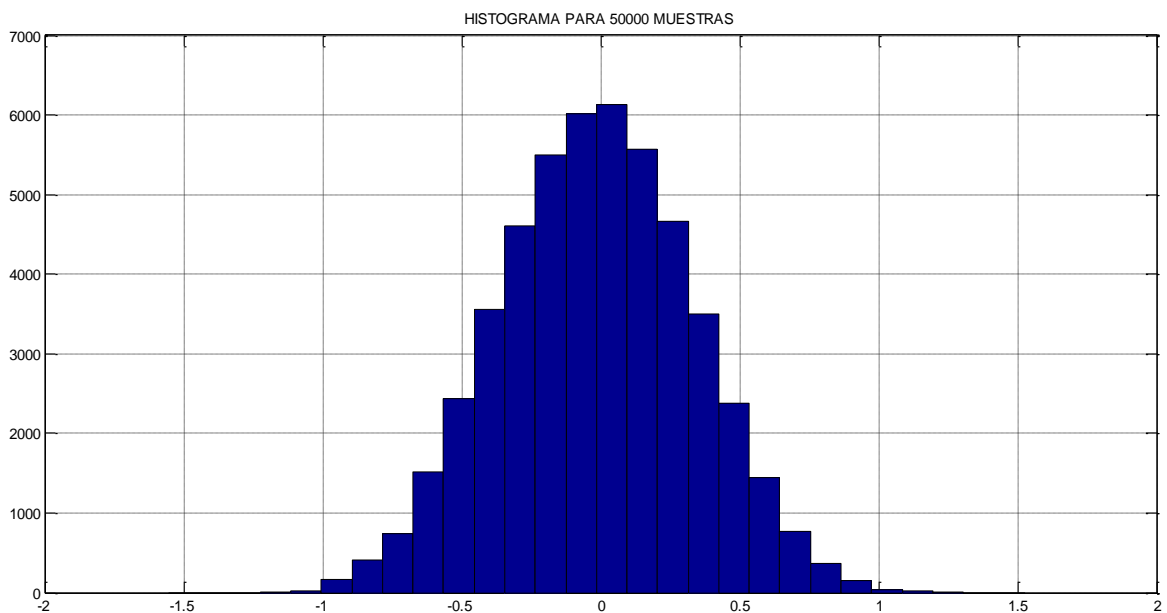


Matlab (R2008a).

Así mismo es necesario sacar el Histograma de la señal normalizada como el que se muestra en la Figura 33, para verificar que tenga el comportamiento deseado. Para ello se usa el comando *hist*.

```
x = -1.5:0.11:1.5;  
hist(v1out2,x)
```

Figura 33. Histograma de la señal normalizada



Matlab (R2008a).

6.5 CREACIÓN DE ARCHIVO.WAV

Teniendo en cuenta que se tienen los datos normalizados guardados en un vector, se procede a la creación del archivo por medio de la instrucción *wavwrite*:

Siendo *v1out2* el vector en donde se encuentran los datos de la señal normalizada, se utiliza el siguiente código:

```
for j=1:4  
for i=1:length(v1out2)  
w=(2*(length(v1out2)))*(j-1);  
W(i+w,1)=v1out2(i);  
W(((2*(length(v1out2)))-(i-1))+w,1)=v1out2(i);  
end
```

```
end  
wavwrite(W,'RUIDO_GAUSSIANO.wav');
```

El anterior código es con el fin de crear un archivo.wav con una mayor duración por medio de un ciclo que me permita recorrer y reescribir un vector en repetidas ocasiones para poder garantizar un comportamiento Gaussiano.

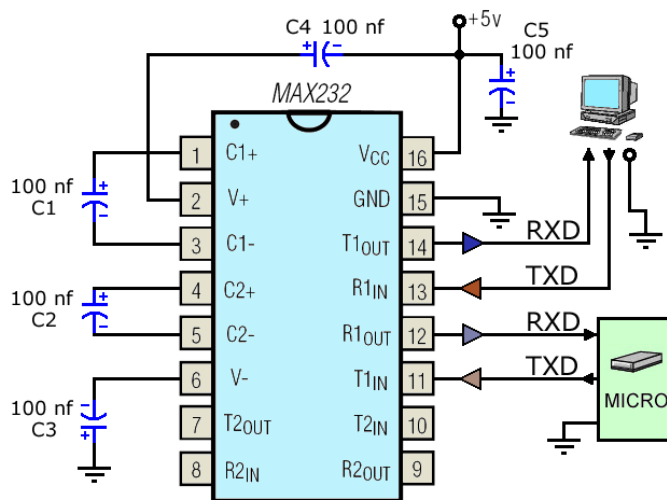
6.6 CONEXIÓN PUERTO RS-232 Y MICROCONTROLADOR

Para comunicarse con el microcontrolador se puede utilizar solo tres pines del puerto serie RS-232. Estas son:

- Pin de transmisión (TxD).
- Pin de recepción (RxD).
- Pin de masa (SG).

Lo primero que se debe realizar es que los niveles lógicos TTL que salen del microcontrolador no son compatibles con los niveles lógicos RS-232 del puerto serie del ordenador, razón por la cual se debe introducir en el circuito una interface que traduzca los datos del microcontrolador al puerto y viceversa. Este chip puente puede ser el MAX232 o alguno similar como el mostrado en la Figura 34.

Figura 34. Conexión Típica del MAX-232

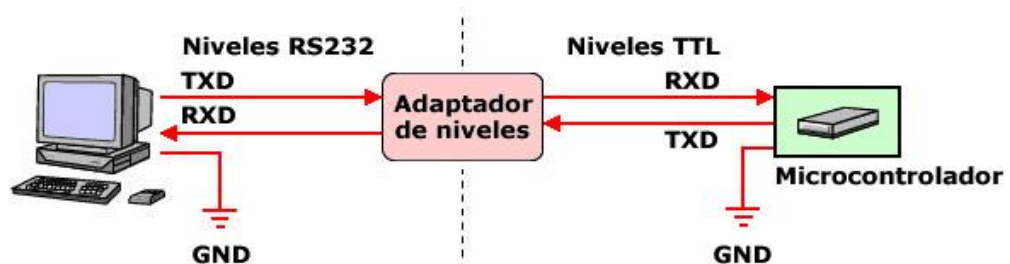


(Palacios ,2006)

El esquema de la Figura 34 muestra como se utiliza un par de drivers de los 4 disponibles. La línea de TxD (pin 3 del conector DB-9) del puerto serie RS-232 transmite información con niveles RS-232, por tanto se conecta al pin R1in del MAX-232, mostrado en la figura 34, para convertir estos niveles a TTL y transmitírselos al Microcontrolador a través del pin R1out. Del mismo modo la información que envía el microcontrolador con los niveles TTL entra en la línea T1in del MAX-232 para convertirla en niveles RS-232 y pueda ser recibida por el puerto serie RS-232 a través de su línea RxD, pin 2 del conector DB-9.

En la Figura 35 se observa el resumen del proceso usando el adaptador de niveles para poder trabajar con el microcontrolador.

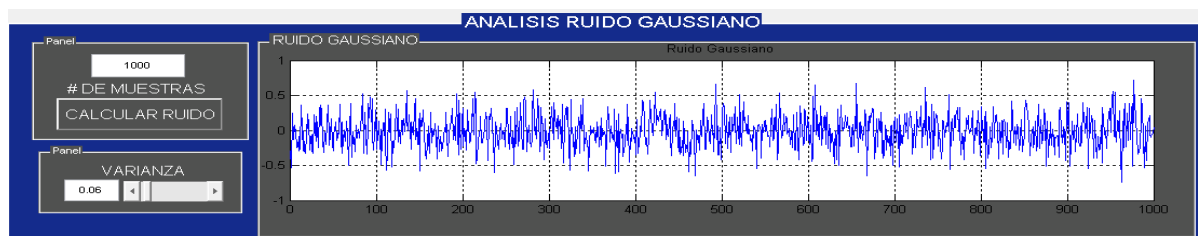
Figura 35. Esquema del proceso BIDIRECCIONAL



(Palacios ,2006)

Una parte fundamental del proceso es el análisis mediante una interfaz gráfica hecha con la herramienta Matlab en donde se verifica todo el proceso y se realiza la parte final de análisis de variables fundamentales para el entendimiento a un 100%. En los anexos 1 y 2, se precisa no solo una vista preliminar de la interfaz, sino una versión mejorada para el análisis de la información y el ruido AWGN presente en el canal. No obstante una vista preliminar de la interfaz gráfica es mostrada en la Figura 36.

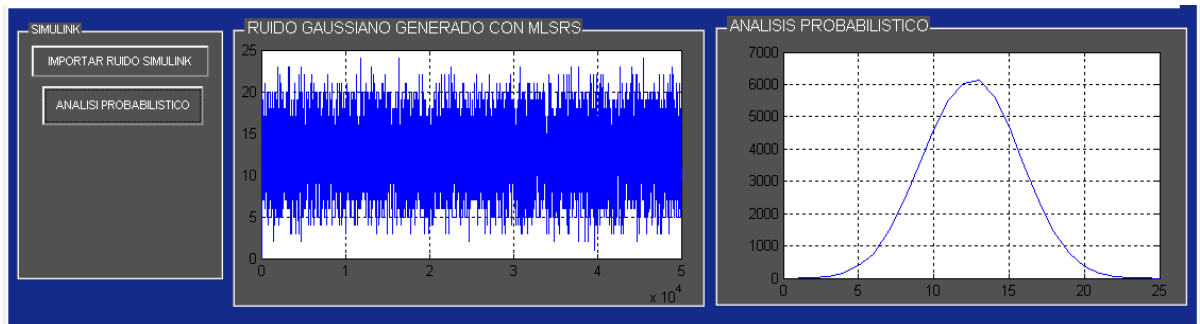
Figura 36. Interfaz 1



(Matlab, R2008a)

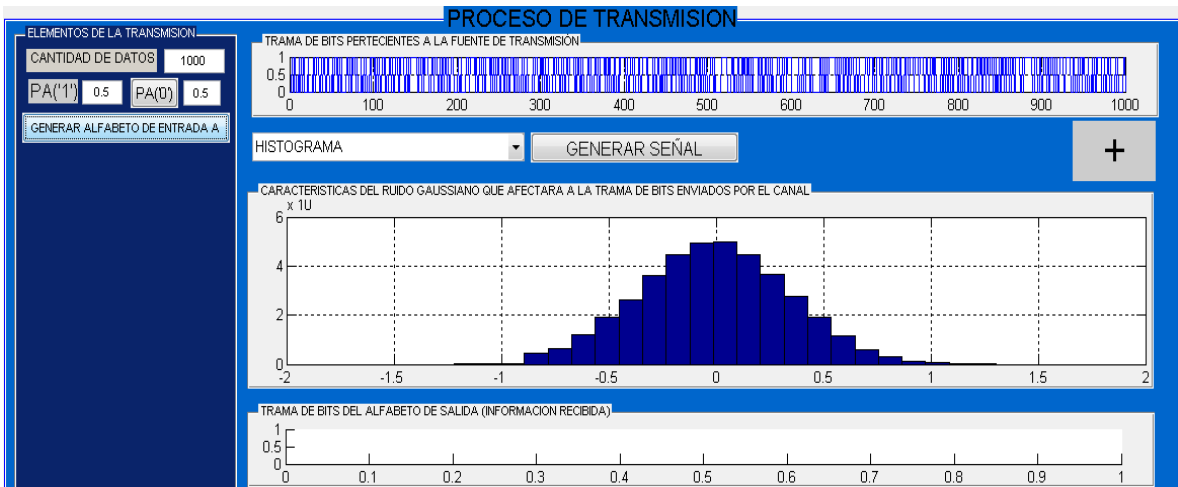
En la Figura 37 y la Figura 38 se puede observar algunas versiones de la interfaz gráfica y cómo esta se mejoró para el control del proceso de trasmisión.

Figura 37. Interfaz 2



(Matlab, R2008a)

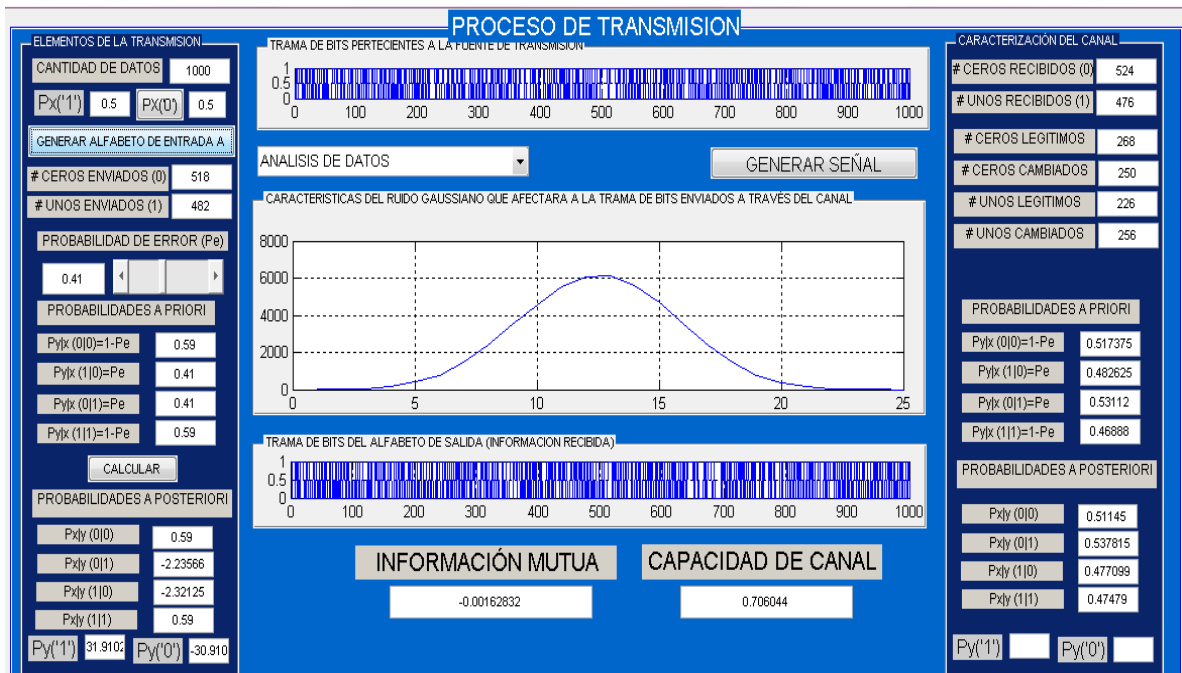
Figura 38. Interfaz 3



(Matlab, R2008a)

En el anexo 4 se pudo verificar el circuito impreso utilizado para la implementación del proceso de envío de información y se mostrara en el CD de anexos que acompañan este documento. En la Figura 39 se visualiza la interfaz gráfica en un 100% acoplada a un proceso de trasmisión en el que las variables son obtenidas y se logra comparar cada elemento a medir.

Figura 39. Interfaz Final



(Matlab, R2008a)

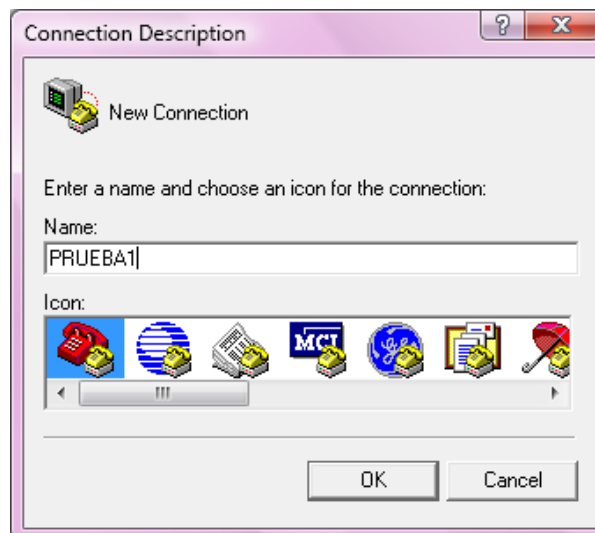
7. PRUEBAS Y RESULTADOS

7.1 PRUEBA NÚMERO 1

- **Nombre de la prueba:** Verificación de salida de datos por el puerto serial RS-232 usando Hyperterminal.
- **Objetivo:** Verificar la salida de datos y configuración correcta del puerto usando Hyperterminal.
- **Desarrollo:** Lo primero que se realizó fue la configuración inicial del hyperterminal, incluyendo las características de la comunicación, configuración del puerto y adecuada implementación del hardware.

Se abre el aplicativo Hyperterminal y se configura el nombre del proyecto o de la conexión como se muestra en la Figura 40.

Figura 40. Hyperterminal Prueba 1



(Hyperterminal, Windows)

Posteriormente se elige el puerto que se desea trabajar para la comunicación y a su vez se configura como se muestra en la Figura 41.

Como ya se mencionó, dependiendo de las características básicas de la comunicación que se pretende realizar, se debe configurar el puerto para que éste

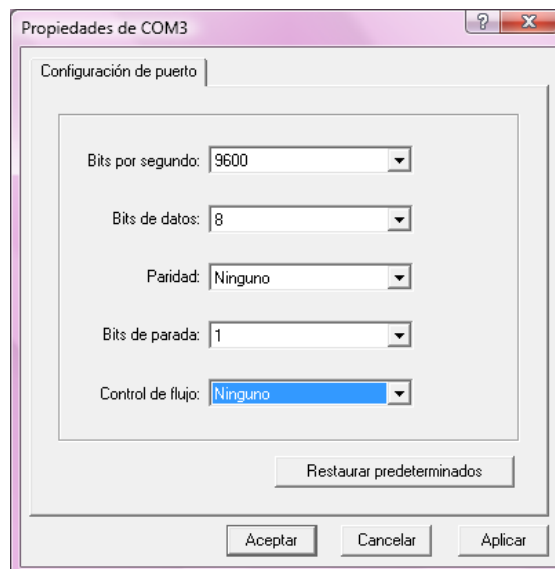
trabaje de acuerdo a las mismas como se muestra en la Figura 42. Para esta prueba se asignaron los siguientes valores:

Figura 41. Selección puerto Prueba 1



(Hyperterminal, Windows)

Figura 42. Configuración puerto. Prueba 1



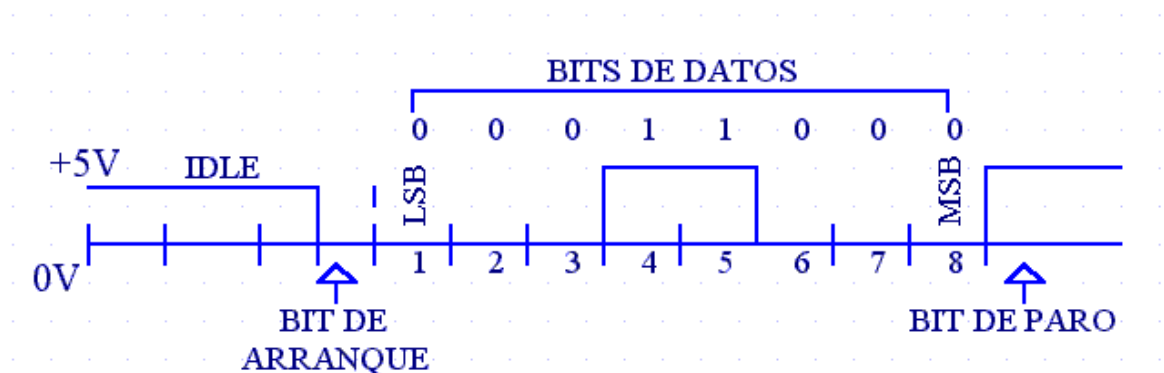
(Hyperterminal, Windows)

Posteriormente se procede al envío de una letra o carácter aleatorio para poder verificar que es lo que realmente está transmitiendo. Se pulsa la letra A mayúscula y se verifica el dato.

- Resultado:

En la Figura 44 se puede ver que el resultado obtenido fue un bit de arranque en 0 y un bit de parada en uno con una trama de 8 bits recibidos representados por 1000010. Si se analiza que el primer bit es el LBS y el último es el MBS, se tendría como resultado un 41H que representa el valor en hexadecimal de la A mayúscula.

Figura 43. Formato de envío de la información



(Palacios ,2006)

Figura 44. Resultado en el osciloscopio (PRUEBA 1) DATO A (41H)



(Prueba 1,laboratorio)

7.2 PRUEBA NÚMERO 2

- **Nombre de la prueba:** Verificación de salida de datos por el puerto serial RS-232 usando Hyperterminal.
- **Objetivo:** Verificar la salida de datos y configuración correcta del puerto usando Hyperterminal.
- **Desarrollo:** Lo primero que se realizó fue la configuración inicial del hyperterminal, incluyendo las características de la comunicación, configuración del puerto y adecuada implementación del hardware.

Como ya se mencionó, dependiendo de las características básicas de la comunicación que se pretende realizar, se debe configurar el puerto para que éste trabaje de acuerdo a las mismas como en la Figura 45. Para esta prueba se asignaron los siguientes valores.

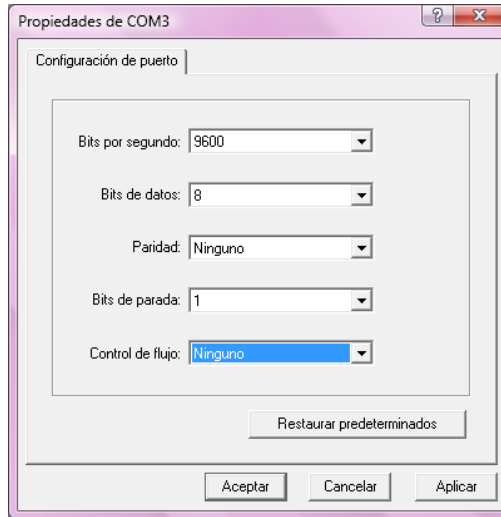
Figura 45. Selección puerto Prueba 2



(Hyperterminal, Windows)

Así mismo se configura el puerto como se muestra en la Figura 46.

Figura 46. Configuración puerto. Prueba 2



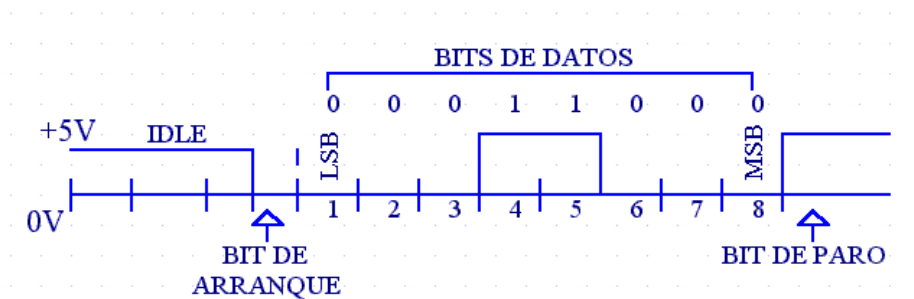
(Hyperterminal, Windows)

Posteriormente se procede al envío de una letra o carácter aleatorio para poder verificar que es lo que realmente está transmitiendo. Se pulsa la letra B mayúscula y se verifica el dato en la Figura 48.

- Resultado:

Dato enviado: 42H (B mayúscula)

Figura 47. Formato de envío de la información 2



(Palacios ,2006)

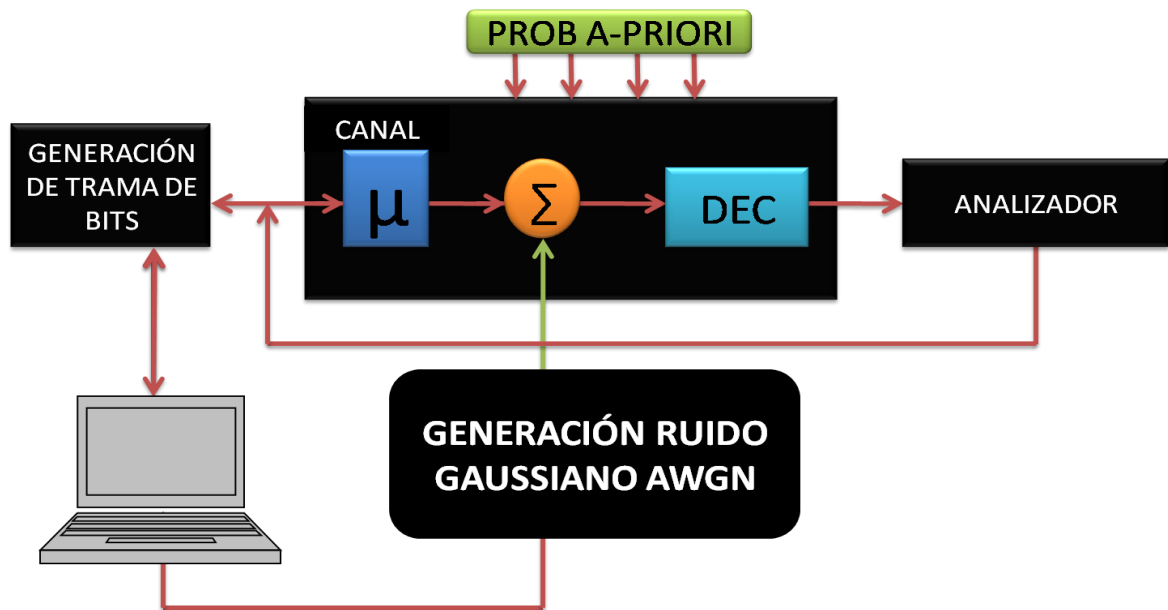
Figura 48. Resultado en el osciloscopio (PRUEBA 2) DATO B (42H)



(Prueba 2, laboratorio)

Teniendo en cuenta estas pruebas realizadas se puede pensar en un esquema que represente de la mejor forma el proceso global de la comunicación que se quiere llevar a cabo. Éste esquema se muestra en la Figura 49.

Figura 49. Esquema general del proceso en bloques.



(PPT. 2007)

8. CONCLUSIONES

- Si una muestra está por encima de 30, sea cual sea la distribución de probabilidad de la variable aleatoria de interés, la distribución de la media muestral será aproximadamente una *Gaussiana*.
- El proceso de transmisión en un canal de comunicaciones debe ser simulado o implementado bajo un proceso en el que se verifique las señales indeseables que puedan afectar de alguna forma la información.
- Para interés de la efectividad del proceso de transmisión de información por el canal BSC, la amplitud de la señal estocástica Gaussiana adecuada como archivo wav regula la integridad de la información.
- En un proceso de generación de variables aleatorias en el que se requiera obtener una señal analógica trabajable (Como archivo de audio para este caso), se debe normalizar en primera instancia la señal que se quiere trabajar, con el fin de adecuarla a un formato reconocible por la tarjeta de audio.
- Para la obtención de las probabilidades a priori es preciso identificar los elementos estocásticos y determinísticos para saber con qué universo se va a obtener dichas probabilidades y de igual manera para la obtención de las probabilidades a posteriori.
- La información mutua está fuertemente relacionada con el vector de entrada y el de salida ya que por medio de los ya mencionados, es posible identificar la cantidad de información obtuve teniendo presente la que se envía a través del canal.
- Así mismo la información media recibida por un canal ha de ser siempre positiva que concuerda con una de las probabilidades de la información mutua.
- Si se quiere conocer la capacidad de canal basta con saber el máximo de la información mutua y de esta manera hayar el punto de inflexión, por ello al derivar la información mutua y hacerla cero se puede obtener este punto.

9. RECOMENDACIONES

- Si se quiere extraer una señal aleatoria trabajable de un computador, una opción es la tarjeta de audio, que permite manejar la señal estocástica como un archivo.wav.
- Para traducir la información extraída por el puerto serial, es necesario la utilización de un max232 para traducir los valores RS232 a niveles TTL.
- Debido a que los datos que salen del PC vienen con bits redundantes (Parity, stop, start), es adecuada la utilización de un microcontrolador para poder trabajarlos netamente como información original.

GLOSARIO

BAUDIO: Es proporcional a los bits/s (bps), definidos como el número de bits de información enviados por segundo.

BIT: La cantidad de información proporcionada por cada elección entre dos alternativas posibles constituye la unidad básica de información, y se denomina dígito binario, o abreviadamente bit (Lathi, 1998).

BSC (BINARY SIMETRIC CHANNEL): El BSC es a canal binario; es decir, puede transmitir solamente uno de dos símbolos (llamados generalmente 0 y 1) (Abramson, 1963).

CANAL: Medio a través del cual las señales son transmitidas al punto de recepción (Abramson, 1963).

CODIFICACIÓN: Proceso mediante el cual, el transmisor convierte la señal que se quiere enviar y la adecua al medio de transmisión (Abramson, 1963).

ENTROPÍA: Información Promedio que genera una fuente. Valor mínimo del número medio de símbolos, necesarios para decodificar cada símbolo de la fuente (Lathi, 1998).

ESPACIO MUESTRAL: Conjunto de todos los posibles resultados que conforman determinado experimento aleatorio (Lathi, 1998).

EVENTO: Es un subconjunto del espacio muestral que reúne determinadas especificaciones (Lathi, 1998).

EVENTOS MUTUAMENTE EXCLUYENTES: Sea dos eventos A y B. Son mutuamente excluyentes si no pueden ocurrir de forma simultánea (Lathi, 1998).

EXPERIMENTO ALEATORIO: Un procedimiento que posee una cantidad determinada d posibles resultados los cuales no pueden predecirse con exactitud (Lathi, 1998).

FRECUENCIA RELATIVA: Número de veces que ocurre u experimento A del total de experimentos realizados (Lathi, 1998).

INCERTIDUMBRE: Diferentes alternativas que pueden ser elegidas, discriminadas o consideradas y que pueden representar signos de comunicación (letras, números, ondas) (Abramson, 1963).

INFORMACIÓN: Todo lo que le genera interés al usuario (SEMÁNTICA). Lo que está determinado por la novedad (MATEMÁTICA) (Lathi, 1998).

PROBABILIDAD: Porcentaje que representa la posibilidad de que se produzca un suceso o evento (Lathi, 1998).

RECEPTOR: Decodifica la señal transmitida en una aproximación de la original.

RUIDO: Distorsiones o adiciones no deseadas que afectan de alguna forma a la señal (Abramson, 1963).

SEÑAL: Mensaje codificado por el transmisor, el cual contiene la información que se desea transmitir (Lathi, 1998).

TRANSMISOR: Codifica la señal que se quiere transmitir en una forma apropiada para el medio de transmisión (Abramson, 1963).

VARIABLE ALEATORIA: Es aquella que asume diferentes valores a consecuencia de los resultados de un experimento aleatorio. Estas variables pueden ser discretas o continuas (Lathi, 1998).

BIBLIOGRAFÍA

- Abramson, N. (1963). Information theory and coding. New York. McGraw-Hill.
- Abramson, N. (1981). Teoría de la información y Codificación. (5ª.ed.).Madrid. Paraninfo.
- Gallagher, R. (1968). Information theory and reliable communication. United States of America. John Wiley & Sons, Inc.
- Gray. R (2008). Entropy and Information Theory. New York. Springer Verlag.
- Haykin, S. (2001). Communication Systems, (4ª.ed.). New York. John Wiley & sons, Inc.
- Lathi, B. (1998). Modern Digital and Analog communications systems. (3a.ed.) New York. Oxford University Press.
- Proakis, J. Digital Communication, (4a. ed.).McGraw-Hill
- Rovira, C. (2008). Teorema del límite central. Universidad Oberta de Catalunya, España.
- (ENCY, 2003) Probability theory. (2009) .Encyclopedia Britannica. (Navegado Septiembre 12, 2009), from Encyclopedia Britannica Online: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/477530/probability-theory>.
- Palacios, E. (2006). Microcontrolador PIC16f84 - Desarrollo de proyectos. (2ª.ed.). Madrid. Alfaomega Ra-Ma.
- Infante, A (2005). Implementacion mejorada de ruido gaussiano complejo para simulación en comunicaciones. Santiago de Cuba.