AAT0618

TRAB
ITC2015
Z5

UCAB
**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

# Desarrollo de un Banco de Prueba en la Plataforma PXI de NI Para la Digitalización de Señales

Trabajo de Ascenso para optar a la categoría de Profesor Asistente

Realizado por:

Ing. Ziegler G., Félix L.

C.I. 13487365

Caracas, 28 de Junio de 2015

**TESIS**
**ITC2015**
**Z5**

## Resumen

La Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones, dispone de gran variedad de equipos en sus laboratorios, para la formación técnica de sus estudiantes. Valiéndose de esta premisa se utiliza el equipo PXIe-1065 de National Instruments, el cual es un equipo diseñado para una amplia gama de aplicaciones de prueba y medición en ingeniería, para realizar un banco de pruebas.

Se desarrolla un programa, utilizando el software LabVIEW, con la técnica de digitalización de señales denominada DPCM (Differential Pulse Codification Modulation).

Este desarrollo contribuye con la formación académica de los estudiantes del laboratorio de Comunicaciones I, y, además del crecimiento docente con el uso de los sistemas de información y comunicación (TIC), permitiendo al facilitador mejorar las técnicas de enseñanza/aprendizaje.


Palabras claves: Señales, digitalización, formación y enseñanza/aprendizaje.

# Índice

Resumen ..... 2
Índice ..... 3
Índice de Figuras ..... 5
Introducción ..... 8
CAPITULO I ..... 9
Planteamiento del problema ..... 9
Objetivos ..... 10
General ..... 10
Específicos ..... 10
CAPITULO II ..... 11
Marco Teórico ..... 11
*Técnicas de modulación digital* ..... 11
Modulación ..... 13
Demodulación ..... 16
*Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación digital* ..... 17
CAPITULO III ..... 20
Metodología ..... 20
FASE I – Planteamiento del problema ..... 20
FASE II – Investigación inicial ..... 20
FASE III – Diseño de propuestas ..... 20
CAPITULO IV ..... 22
Desarrollo ..... 22
PXIe-1065 ..... 22
CAPITULO V ..... 25
Resultados ..... 25
Implementación ..... 25
Generación de mensajes ..... 25
Portadora ..... 26

Muestreo ..... 27
Retención ..... 28
Predicción lineal ..... 28
Cuantificación ..... 29
Codificación ..... 30
DPCM recibido ..... 30
Predicción Lineal ..... 31
Señal recibida ..... 31
CAPITULO VI ..... 33
Conclusiones y recomendaciones ..... 33
Bibliografía ..... 34
Apéndice ..... 35
Portadora ..... 36
Muestreo ..... 36
Retención ..... 37
Predicción lineal ..... 38
Cuantificación ..... 39
Codificación ..... 39
DPCM recibido ..... 40
Predicción Lineal ..... 41
Señal recibida ..... 42
Portadora para el caso de la voz adquirida ..... 43
Muestreo de la voz adquirida ..... 44
Retención de la voz adquirida ..... 45
Predicción lineal de la voz adquirida ..... 46
Cuantificación de la voz adquirida ..... 46
Codificación de la voz adquirida ..... 47
DPCM recibido de la voz adquirida ..... 47
Predicción Lineal de la voz adquirida ..... 48
Señal recibida de la voz adquirida ..... 49
Portadora para la señal adquirida en tiempo real: ..... 50

Muestreo de la señal adquirida en tiempo real ..... 51
Retención de la señal adquirida en tiempo real ..... 52
Predicción lineal de la señal adquirida en tiempo real ..... 53
Cuantificación de la señal adquirida en tiempo real ..... 54
Codificación de la señal adquirida en tiempo real ..... 54
DPCM recibido de la señal adquirida en tiempo real ..... 55
Predicción Lineal de la señal adquirida en tiempo real ..... 56
Señal recibida de la señal adquirida en tiempo real ..... 57
Anexos ..... 58
Manual del Usuario ..... 58

## Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema de Modulador DPCM. ..... 13
Figura 2- Predictor Lineal en el Modulador. ..... 14
Figura 3 - Esquema típico de un predictor Lineal. ..... 14
Figura 4 - Esquema demodulador DPCM. ..... 16
Figura 5 - Configuración del receptor. ..... 17
Figura 6 - Equipo PXIe-1065 de NI. ..... 23
Figura 7–Tarjeta PXIe-6363 de NI. ..... 24
Figura 8–Bloque BNC-2120 de NI. ..... 24
Figura 9 - Señal de voz grabada en tiempo y frecuencia. ..... 26
Figura 10 - Señal portadora en tiempo y frecuencia. ..... 27
Figura 11 - Señal PAM en tiempo y frecuencia. ..... 27
Figura 12 - Retención. ..... 28
Figura 13 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción. ..... 29
Figura 14 - Cuantificación de la señal ..... 29
Figura 15 - Código DPCM ..... 30
Figura 16 - Código DPCM recibido ..... 31

Figura 17 - Predicción lineal y del error de predicción en el receptor. ..... 31
Figura 18 - Mensaje recibido..... 32
Figura 19 - Señal de voz grabada en tiempo y frecuencia..... 35
Figura 20 - Señal portadora en tiempo y frecuencia..... 36
Figura 21 - Señal PAM en tiempo y frecuencia. ..... 37
Figura 22–Retención de voltaje..... 38
Figura 23 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción..... 38
Figura 24 - Cuantificación de la señal..... 39
Figura 25 - Código DPCM ..... 40
Figura 26 - Código DPCM recibido. ..... 41
Figura 27 - Predicción lineal en el receptor..... 41
Figura 28 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia..... 42
Figura 29 - Señal de voz adquirida en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida..... 43
Figura 30 - Señal portadora en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida. ..... 44
Figura 31 - Señal PAM en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida..... 45
Figura 32 – Retención de voltaje, de la voz adquirida. ..... 45
Figura 33 - Predictor lineal y la autocorrelación del error de predicción, de la voz adquirida. ..... 46
Figura 34 - Cuantificación de la voz adquirida. ..... 46
Figura 35 - Código DPCMde la voz adquirida..... 47
Figura 36 - Código DPCM recibido, de la voz adquirida..... 48
Figura 37 - Predicción lineal en el receptor, de la voz adquirida. ..... 48
Figura 38 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida. ..... 49
Figura 39– Señal periódica adquirida en tiempo real, representación en tiempo y frecuencia. ..... 50
Figura 40 - Señal portadora en tiempo y frecuencia, para la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 51
Figura 41 - Señal PAM en tiempo y frecuencia, de la señal periódica adquirida en tiempo real..... 52
Figura 42 – Retención de voltaje, de la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 53
Figura 43 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción, de la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 53
Figura 44 - Cuantificación de la señal, de la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 54
Figura 45 - Código DPCM, de la señal periódica adquirida en tiempo real..... 55
Figura 46 - Código DPCM recibido, de la señal periódica adquirida en tiempo real..... 56
Figura 47 - Predicción lineal en el receptor, de la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 56

Figura 48 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia, de la señal periódica adquirida en tiempo real. ..... 57
Figura 49–Conexiones del equipo PXIe-1065. ..... 59
Figura 50–Conexiones bloque BNC-2120del equipo PXIe-1065. ..... 59

# Introducción

Los seres humanos tenemos la necesidad innata de comunicarnos, pero existen obstáculos que afectan las señales como lo son la distancia y el ruido; para poder disminuir estos factores se usan técnicas de modulación que pueden ser analógicas o digitales. Para el procesamiento de señales analógicas como la voz, por ejemplo, se desea una digitalización para que el canal de comunicación afecte lo mínimo posible, permitiendo recibir la señal con la mayor calidad posible.

Es aquí donde la técnica de PCM (Pulse CodificationModulation) es la clave fundamental para la digitalización de señales analógicas; para aprovechar aún más el limitado canal de comunicación manteniendo la calidad de la señal, se coloca un predictor lineal a la técnica PCM pasando a ser DPCM (Differential Pulse CodificationModulation), en el presente informe se indagará sobre esta técnica.

La Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones, cuenta con siete laboratorios para la formación técnica de sus estudiantes. Para el desarrollo del proyecto se utiliza el Laboratorio de Comunicaciones, en el cual se dicta la cátedra Laboratorio de Comunicaciones I, que abarca los temas de sistemas analógicos y digitales. Para estar al nivel de la tecnología actual, la escuela ha adquirido varios equipos especiales de la empresa National Instruments, los cuales son utilizados en las actividades prácticas. En la realización de esta actividad se utiliza el equipo PXIe-1065, el cual permite realizar una amplia gama de aplicaciones de prueba y medición.

Es importante que el profesorado esté a la par de los cambios tecnológicos, para mejorar los procesos de aprendizaje del alumnado y a la vez formándose como un docente del siglo XXI, apoyándose con el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

Se presentan en este informe las actividades desarrolladas, la información teórica sobre la modulación seleccionada, el material descriptivo de las herramientas utilizadas, pruebas en el equipo PXI y los resultados obtenidos.

# CAPITULO I

## Planteamiento del problema

En el pensum de la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones, las asignaturas de "Comunicaciones I" y "Comunicaciones II" ofrecen la teoría correspondiente a modulaciones analógicas y digitales, y con la cátedra "Laboratorio de Comunicaciones I", se realiza la complementación prácticas de dichas asignaturas. Este laboratorio está dirigido al análisis de los distintos tipos de modulaciones en una interfaz ya sea física (utilizando circuitos impresos y montajes en protoboard) o virtual (manejando el software LabView y/o Multisim).

Como anexo a las clases teóricas y a las prácticas establecidas, se desea desarrollar un proyecto que estudie la funcionalidad intrínseca en la Modulación por Codificación de Pulsos Diferencial (DPCM).Motivado a la falta de tiempoy por limitación de equipos necesarios para el desarrollo de la modulación DPCM analizando señales internas (generadas desde el software de simulación) y externas (mediante generadores de funciones, voz, audio), se realiza un banco que permita comprobar las bases teóricas, sobre esta técnica de modulación, beneficiándose de las grandes funcionalidades del equipo PXI de NI.

La constante actualización docente, debe estar acompañada de una herramienta tecnológica, que le permita trabajar con tecnología de última generación, y de esta manera mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje tan necesario en materias técnicas,ya que es fundamental que un profesor de la cátedra del Laboratorio de Comunicaciones I, esté siempre en sintonía con la globalización, utilizando las TIC y los sistemas de información para su desarrollo y crecimiento humano y profesional.

## Objetivos

### *General*

Desarrollar un banco de prueba en la plataforma PXI de NI para la digitalización de señales, que permita al profesorado mejorar la formación técnica del estudiantado.

### *Específicos*

- ✓ Implementar la modulación en DPCM en el equipo PXI de NI bajo el software LabVIEW.
- ✓ Implementar la demodulación en DPCM en el equipo PXI de NI bajo el software LabVIEW.
- ✓ Validar las bases teóricas con los resultados prácticos de la modulación DPCM.
- ✓ Documentar la modulación DPCM utilizando las funcionalidades del equipo PXI de NI.

# CAPITULO II

## Marco Teórico

### *Técnicas de modulación digital*

En 1926, P. M. Rainey, de los Estados Unidos, desarrolló un método para transmitir una representación de una señal continua mediante una sucesión de valores discretos de la misma señal. Posteriormente, en 1936, A. H. Reeves, entonces ingeniero de la ITT en Francia, patentó un sistema para la transmisión de voz basado en el método de Rainey. Este sistema se conoce desde entonces con el nombre de Modulación de Impulsos Codificados (PCM). Durante más de 20 años el concepto PCM se consideró como una simple curiosidad científica, pues los componentes electrónicos existentes para la época no eran apropiados para la codificación digital de señales, y fueron los dispositivos de estado sólido los que iniciaron el gigantesco desarrollo que estamos presenciando(Briceño, 2005).

En la modulación PCM cada muestra del mensaje se representa o codifica en una secuencia de impulsos, generalmente binarios. Las muestras del mensaje se presentan en forma de una señal Modulada por Amplitud de Pulsos (PAM), que se aplica a un codificador binario o convertidor cuya salida son secuencias de impulsos binarios que representan la amplitud de los impulsos PAM.

El sistema PCM es el sistema de modulación de impulsos más utilizado por las muchas ventajas que ofrece. Algunas de estas ventajas son:

- Los circuitos y componentes digitales utilizados son poco costosos y fáciles de adquirir.
- Las señales PCM derivadas de todos los tipos de fuentes analógicas (audio, video, señales de control industrial, etc.) se pueden mezclar con señales de datos (por ejemplo, las señales de salida de los computadores digitales) y transmitirse por un canal de alta velocidad. Esta técnica se denomina multiplicidad o multicanalización por división de tiempo, (TDM).

- En transmisión a larga distancia las señales PCM contaminadas con ruido se pueden regenerar y retransmitir sin mucha pérdida de calidad.
- En relación con el ruido, los sistemas PCM tienen un comportamiento superior al de un sistema analógico, ya que permiten reducir la probabilidad de error en el destino se puede reducir mediante la aplicación de técnicas de codificación apropiadas. (Briceño, 2005)

Luego de realizar este resumen acerca de PCM, se aborda el tema de la técnica de Modulación Diferencial por Codificación de Pulsos (DPCM), que fue la modulación seleccionada para la realización de este proyecto.

Como cada muestra PCM tiene una alta correlación con sus vecinas (por ejemplo en voz), resulta conveniente cuantificar no la señal PCM directamente, sino la diferencia entre la muestra presente y una predicción de la misma. Esta diferencia debe ser pequeña y por tanto los mismos niveles de cuantificación arrojarán un paso de cuantificación menor y así la señal se parecerá más a la original.

Aunque el proceso presenta un desarrollo mayor del requerido para PCM la recompensa será una mayor relación señal a ruido para una misma cantidad de bits, o una reducción en el número de bits para la misma calidad o relación señal a ruido. A esta técnica se le conoce como DPCM. (Adrián de Pérez)

El primer paso para la realización de la técnica DPCM consiste en tomar muestras de la señal original, cuando se realiza este proceso se obtiene la Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM), seguidamente se realiza el muestreo y retención de la señal, esto con el fin de mantener y evaluar el nivel para su cuantificación, luego es pasada a través del predictor lineal. En el proceso de cuantificación asigna un voltaje único a la diferencia entre cada muestra de la señal y la predicción de la misma, y finalmente el proceso de codificación donde son asignados los códigos binarios a la señal procesada.

Para comparar ambas técnicas, se puede tomar el siguiente ejemplo, un sistema DPCM con $N = 8 = 2^3$ (código de 3 dígitos) es aceptable para transmitir una señal de video, mientras que en PCM convencional se necesitaría, por lo menos, $N = 256 = 2^8$ (código de 8 dígitos) para tener una calidad comparable. En este caso particular, el ancho de banda de la banda de base se reduce en 3/8.(Briceño, 2005)

El DPCM está conformado por el siguiente esquema:

***Modulación***

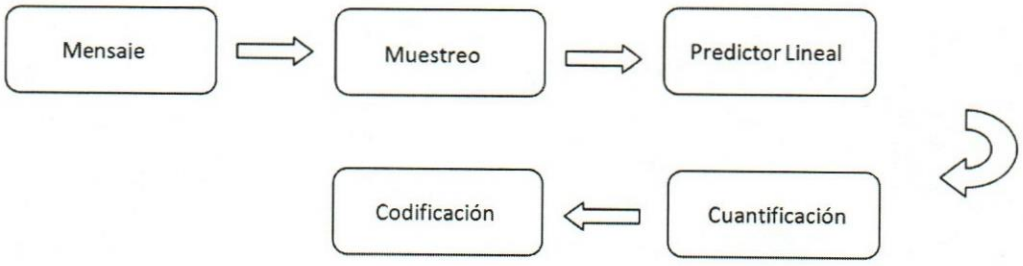


**Figura 1 - Esquema de Modulador DPCM.**

1. Mensaje: Es la señal a enviar, señal limitada en tiempo, la cual puede ser determinística o aleatoria.
2. Muestreo: Consiste en discretizar la señal en tiempo. Por criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo, al menos, debe ser dos veces mayor a la frecuencia máxima del mensaje.
3. Predictor Lineal: Obtiene una estimación lo más cercana posible al valor de la muestra correspondiente, determinando el error de predicción. A medida que el orden del predictor aumente mejor será la predicción de la señal.

Para la configuración del predictor lineal se tiene que $y(n)$ es la señal original, la predicción es $\hat{y}(n)$ y $e(n)$ es el error de predicción, en la figura 2 se muestra:

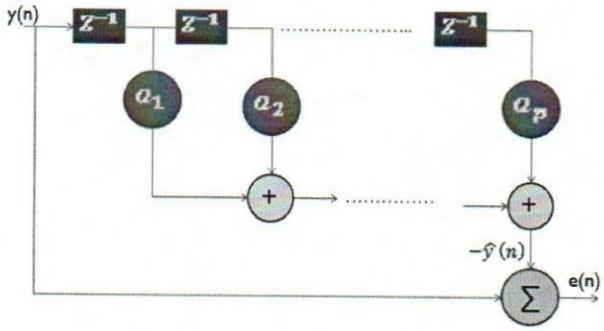


**Figura 2- Predictor Lineal en el Modulador.**

El error de predicción es la diferencia entre la señal original y la predicción de la misma:

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) \tag{1}$$

El diseño del predictor se basa en combinaciones "pesadas" de las muestras pasadas de la señal, como lo muestra la figura 3. Para esta figura la señal de entrada es $x(n)$ y la predicción es $\hat{x}(n)$.

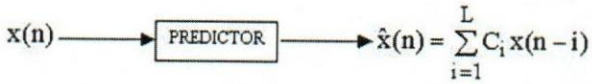


**Figura 3 - Esquema típico de un predictor Lineal.**

Los coeficientes Ci se calculan minimizando la potencia de un error e(n), de la siguiente manera:

$$E[e^2(n)] = \sigma_e^2 \tag{2}$$

Luego de varias operaciones matemáticas, para minimizar el error de predicción, queda el sistema de la siguiente manera:

$$\frac{\partial E[e^2(n)]}{\partial C_i} = E\frac{\partial[e^2(n)]}{\partial C_i} = 0 \text{ Minimizando.}$$

$$\frac{\partial[e^2(n)]}{\partial C_i} = E\frac{\partial[x(n)-\hat{x}(n)^2]}{\partial C_i} \text{ Sustituyendo la ecuación 1.}$$

$$2(x(n)-\hat{x}(n))\frac{\partial\hat{x}(n)}{\partial C_i} = 2(x(n)-\hat{x}(n))x(n-i) \text{ Luego de derivar.}$$

$$E[2(x(n)-\hat{x}_{opt}(n))x(n-i)] = 0 \text{ Proceso ortogonal.}$$

$$E[x(n)x(n-i)] = E[\hat{x}_{opt}(n)x(n-i)] \text{ Igualando.}$$

$$E[x(n)x(n-i)] = R_x(i) \text{ Autocorrelación.}$$

Por otro lado tenemos $E[\hat{x}_{opt}(n)x(n-i)] = E\left[\left(\sum_{k=1}^{L} C_k\, x(n-k)\right)x(n-i)\right]$

Despejando $\sum_{k=1}^{L} C_k\, E[x(n-k)x(n-i)]$

$$\sum_{k=1}^{L} C_k\, R_x(i-k) = R_x(i) \text{ Igualando las ecuaciones.} \qquad (3)$$

Y se obtiene la matriz de predicción:

$$\begin{bmatrix} R_x(1) \\ R_x(2) \\ . \\ . \\ R_x(L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x(0) & R_x(1) & . & R_x(L-1) \\ R_x(1) & R_x(0) & . & R_x(L-2) \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ R_x(L-1) & . & . & R_x(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{1(opt)} \\ C_{2(opt)} \\ \\ \\ C_{L(opt)} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

La matriz tiene las siguientes particularidades:

a) Los elementos de la diagonal principal son iguales a Rx(0).

b) Es simétrica respecto a la diagonal principal.

c) Se conoce como matriz Toeplitz.

Los coeficientes de predicción lineal se pueden calcular realizando la inversa dela matriz Toeplitz, y multiplicándola por la matriz columna (R). Los elementos de ambas matrices son exclusivamente los valores de la autocorrelación R, desde 0 hasta L-1 en la matriz Toeplitz, y desde 1hasta L en la matriz columna (C).

4. Cuantificación: Se asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de amplitud (n) obtenidos en el muestreo, para luego realizar la codificación binaria. En esta etapa se discretiza la señal en amplitud. El nivel (Q) se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 2^n \tag{5}$$

5. Codificación: Cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario, con lo cual obtiene la señal codificada y lista para ser transmitida.

***Demodulación***

**Figura 4 - Esquema demodulador DPCM.**

1. Decodificación: La señal binaria es decodificada obteniendo nuevamente valores de voltaje establecidos en la cuantificación.
2. Predicción Lineal: Obtiene una estimación en el criterio del error cuadrático medio, lo más cercana posible al valor de la muestra correspondiente.

En la figura 5 se presenta la configuración del receptor, en donde $\hat{x}(n)$ es la predicción del predictor, $e_q(n)$ es el error de predicción cuantificado y $x_q(n)$ es la señal obtenida cuantificada:

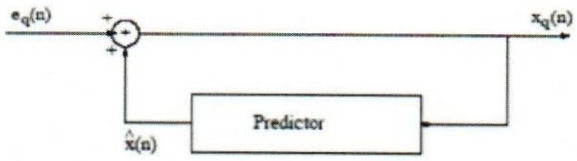


**Figura 5 - Configuración del receptor.**

El sistema arroja el siguiente error de reconstrucción$q(n)$, en donde $e(n)$ es el error de predicción:

$$q(n) = e(n) - e_q(n) \tag{6}$$

Por lo tanto la relación señal a ruido para DPCM, será:

$$(S/N) = \frac{\overline{x^2}}{\overline{q^2}} \tag{7}$$

Si fue bien realizado el predictor, la potencia de ruido de cuantificación es menor que la potencia de la señal recibida.

3. Filtrado: En esta etapa se tiene un filtro pasabanda, ya que permite obtener solo la señal limitada que permitirá obtener el mensaje enviado.

### *Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación digital*

Las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (conocidas como TIC) son aquellas herramientas computacionales e informáticas que procesan, almacenan, desarrollan y comparten todo tipo de información multimedia, y es aquí donde surgen las competencias

digitales las cuales se definen como: "disponer de habilidades para buscar, obtener, procesar y comunicar información, y así transformarla en conocimiento". (UNESCO, 2005)

Las competencias digitales se consideran necesarias en la formación de los docentes en el contexto actual, por tal motivo se ha elaborado una clasificación de estándares de formación docente, incluyendo tanto competencias instrumentales como competencias didácticas y metodológicas. Las competencias instrumentales se distinguen entre habilidades cognitivas, capacidades metodológicas, destrezas tecnológicas y destrezas lingüísticas.

La competencia didáctica es la habilidad del docente para construir un conjunto de relaciones sociales entre él y sus estudiantes, en la perspectiva de realizar un acción delimitada en un cuadro espacio temporal académico determinado ,cuya finalidad es provocar cambios en ellos; y la competencia metodológica nos prepara para saber reaccionar a tiempo ante los problemas, aplicando procedimientos adecuados a las tareas encomendadas, así como encontrar de forma autónoma vías de solución y transferir adecuadamente las experiencias adquiridas a otras situaciones

Complementariamente a estas competencias, una serie de actitudes se valoran como relevantes en el profesorado de la escuela del siglo XXI:

- Actitud abierta y crítica ante la Sociedad de la Información y las TIC.
- Predisposición hacia el aprendizaje continuo y la actualización permanente.
- Actuación con prudencia en el uso de las TIC.

Por otro lado para poder realizar el desarrollo de las competencias digitales, se deben tomar en cuenta en cinco puntos:

1. Acceso: Aprender a utilizar correctamente la tecnología.
2. Adopción: Apoyar una forma tradicional de enseñar y aprender.
3. Adaptación: Integrar lo digital con formas tradicionales de interacción en el aula.

4. Apropiación: Uso colaborativo en proyectos y situaciones necesarias.

5. Innovación: Descubrimiento de nuevas aplicaciones de la tecnología, combinando diferentes modalidades.

Las TIC exigen que los docentes desempeñen nuevas funciones y requieran nuevas pedagogías y planteamientos en la formación docente. Lograr la integración de las TIC en el aula depende de la capacidad del profesorado, para estructurar el ambiente de aprendizaje de forma no tradicional, fusionando con nuevas pedagogías, fomentando clases dinámicas en el plano social, estimulando la interacción cooperativa, el aprendizaje colaborativo y el trabajo en grupo.

# CAPITULO III

## Metodología

### *FASE I – Planteamiento del problema*

En esta fase, se revisan los inventarios de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones, la cual tiene distintos equipos para la formación técnica de sus estudiantes, adicionalmente se selecciona el equipo PXIe-1065, y se recaba información acerca de su estado y componentes.

### *FASE II – Investigación inicial*

Para la segunda fase del proyecto se procede a buscar toda la información bibliográfica necesaria sobre las bases teóricas de la Modulación Diferencial de Pulsos Codificados, en libros de comunicaciones, páginas web de comunicaciones, de profesores, tutoriales de la empresa National Instruments utilizando el simulador LabVIEW. También se obtiene toda la información del fabricante del equipo PXIe-1065 de NI y de las tarjetas de adquisición y generación de datos (DAQ).

### *FASE III – Diseño de propuestas*

Para la realización de esta fase se diseña e implementa un programa que permite la digitalización de señales de voz utilizando el programa de computador LabVIEW, con el equipo seleccionado. Se desarrollan una a una las diferentes etapas, que comprende la técnica de modulación seleccionada y se realizan pruebas a través del equipo, luego se procede a demodular, con el fin de verificar el mensaje recibido. Las etapas realizadas en el modulador son las siguientes:

- Generación del mensaje: Se utilizan cuatro tipos, las cuales son:

1. Señal sinusoidal (Determinística).
2. Voz grabada en archivo .wav (Aleatoria).
3. Señal sinusoidal adquirida en tiempo real (Determinística).
4. Voz adquirida en tiempo real (Aleatoria).

- Generación de la portadora: Por definición, esta señal debe ser cuadrada con ciclo de trabajo al 50%, para el desarrollo de este proyecto se utiliza una señal cuadrada con ciclo de trabajo al 20%, y así se pretender simular un delta de Dirac.
- Muestreo: Es generada la Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM), a partir del muestreo realizado al mensaje, dicho muestreo consiste en multiplicar la portadora con el mensaje.
- Retención: Se toman las muestras de la señal modulada. Discretización en tiempo.
- Predicción Lineal: Esta técnica permite obtener una estimación lo más cercana posible al valor de la muestra correspondiente, minimizando el error de predicción. Se utiliza un predictor lineal de coeficientes (LPC) de la herramienta Matlab, de orden variable.
- Cuantificación: Se asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en el muestreo para realizar la codificación binaria. Esta etapa es variable desde 2 hasta 256 niveles.
- Codificación: A cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario, con lo cual obtiene la señal codificada y lista para ser transmitida.

Las etapas desarrolladas en el demodulador son las siguientes:

- Decodificación: La señal binaria es decodificada obteniendo nuevamente valores de voltaje establecidos en la cuantificación.
- Predicción Lineal: Obtiene una estimación de la señal, minimizando el error de predicción. Ahora la entrada es la señal recibida y demodulada.
- Filtrado: En esta etapa se tiene un filtro pasabanda que permitirá obtener el mensaje enviado. Se utiliza este tipo de filtro para eliminar la componente DC.

# CAPITULO IV

## Desarrollo

Al desarrollar un banco de prueba en la plataforma PXI de NI para la digitalización de señales de voz, se procede, en primer orden, a repasar toda la información teórica de la modulación seleccionada, apoyándose en libros de comunicaciones analógicas y digitales, página web de la profesora Trina Adrián de Pérez, guías de comunicaciones de varias universidades nacionales y exteriores, y láminas de la materia de Comunicaciones I del profesor Javier Barrios.

Se revisan los manuales para el uso del equipo PXIe-1065 de National Instruments, utilizando el software de LabVIEW Signal Express, se evidencia las prestación y funcionamiento de las tarjetas PXI que posee el equipo para la adquisición y generación de datos, con la ayuda de equipos externos, entre los cuales se tienen un generador de señales, un osciloscopio, micrófono y cornetas.

En esta parte del trabajo, se revela información del equipo PXIe-1065 de National Instruments y la tarjeta de adquisición de datos para el desarrollo del proyecto.

### *PXIe-1065*

PXI es una plataforma robusta para sistemas de medidas y automatización, que combina las características de bus de datos de PCI y buses de sincronización especializada, con importantes de ajustes de software, desarrollado en 1997 y publicado en 1998 por PXI Systems Alliance (PXISA). El chasis de National Instruments PXIe-1065, es un equipo diseñado para una amplia gama de aplicaciones de prueba y medición en ingeniería, que tiene hasta 18 ranuras para insertar tarjetas DAQ; el cual ofrece un ancho de banda de hasta 1 GB/s (GigaByte/segundos) por ranura de ancho de banda dedicado, para satisfacer las necesidades de alto rendimiento. Las funcionalidades del equipo van a depender de la tarjeta insertada. Opera en un rango de 0 a 55 ° C de temperatura y mantiene el ruido acústico, incorpora un reloj de referencia en 10 MHz. En la figura 6 se muestra el equipo PXIe-1065.

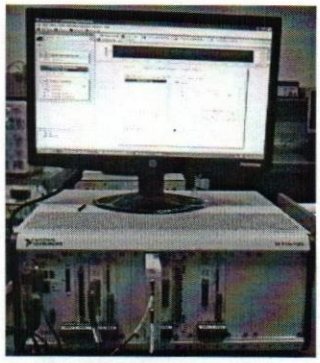

**Figura 6 - Equipo PXIe-1065 de NI.**

Como ya fue mencionado anteriormente, este equipo tiene ranuras para la colocación de tarjetas DAQ, las cuales funcionan dependiendo de la especialidad para la cual fue fabricada; en el caso de telecomunicaciones se utilizan tarjetas para el procesamiento de datos y señales, se utiliza para el desarrollo de este proyecto la PXIe-6363, a continuación se hace mención de este dispositivo:

- ***PXIe-6363 (X Series Data Acquisition)***

El PXIe-6363 es un dispositivo de la Serie X (Dispositivos de adquisición de datos (DAQ)) multifunción avanzados diseñados por NI (Ver Figura 7). Tienen mejoras para cumplir con las necesidades de la mayoría de las aplicaciones de pruebas, medidas y control. Disponible para USB, PCI Express y PXI Express, cada dispositivo de la serie X incluye E/S analógica, E/S digital y cuatro contadores/temporizadores de 32 bits), que utiliza tecnología NI-STC3 (Tecnología de NI Signal Streaming para USB) de temporización y sincronización, la cual ofrece una funcionalidad avanzada de temporización, incluyendo motores de temporización independientes analógicas y digitales. Posee las siguientes características:

- 32 entradas analógicas, 2 MS/s (Simbolo/segundo) de 1 canal, multicanal 1 MS/s, resolución de 16 bits, ± 10 V.
- 4 salidas analógicas, 2.86 MS/s, resolución de 16 bits, ± 10 V.
- 48 E/S digitales (líneas 32 temporizadas por hardware a 10 MHz).
- 4contadores/temporizadores de 32-bit.

- Tiempo de disparo y de avanzada analógica y digital con tecnología NI-STC3.

**Figura 7–Tarjeta PXIe-6363 de NI.**

Adicionalmente, esta tarjeta posee un bloque de conexión BNC-2120, diseñado para la serie M (serie anterior a la X, de 1.25MS/s) y la serie X de NI, que accede a obtener los datos en los puertos de E/S de la tarjeta. En la figura 8 se encuentra el bloque mencionado.

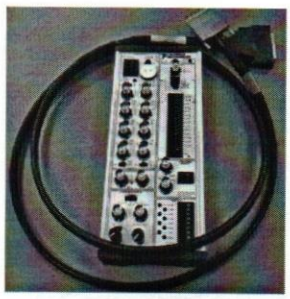

**Figura 8–Bloque BNC-2120 de NI.**

Este bloque tiene conectores tipo BNC y Molex para las conexiones de E/S, también posee un conector para obtener temperatura de referencia y funciona como un generador de señales, cuenta con perillas para el control de frecuencia y voltaje, este dispositivo se utiliza como interfaz de los dispositivos de la series M y X desarrollados por NI.

# CAPITULO V

## Resultados

### *Implementación*

A continuación se detallan las etapas realizadas para la elaboración de este proyecto, en las cuales se muestran las imágenes y se mención los detalles técnicos. La técnica DPCM, es utilizada con el fin de optimizar el canal de comunicación, al tener un menor ancho de banda y transmitir más información por el mismo medio. Se procede a describir las etapas de transmisión y recepción. Cabe destacar que se presenta en esta sección del informe la señal de voz grabada, en los apéndices están los resultados para una señal sinusoidal generada en LabVIEW, voz y señal sinusoidal periódica en tiempo real.

### *Generación de mensajes*

Se generan mensajes de cuatro maneras distintas, las cuales son:

- Generar una señal sinusoidal con frecuencia no mayor de 4Khz, se toma este valor como máximo ya que el diseño del programa fue realizado para señales de voz, y tomando en cuenta las características antes mencionada del equipo PXIe-1065.
- Señal de voz grabada en archivo .wav.
- Adquirir una señal sinusoidal en tiempo real. Se utiliza para esta parte del proyecto el dispositivo BNC-2120 para transmitir y recibir la señal.
- Adquirir una señal de voz en tiempo real. Se utiliza para esta parte del proyecto el dispositivo BNC-2120 para transmitir y recibir la voz, a través de un transductor.

Presentación de la implementación de la modulación:

Voz Grabada: Se graba una señal utilizando el programa Windows Media Recording con frecuencia de muestreo de 8KHz, Se utiliza una voz de hombre en baja frecuencia.

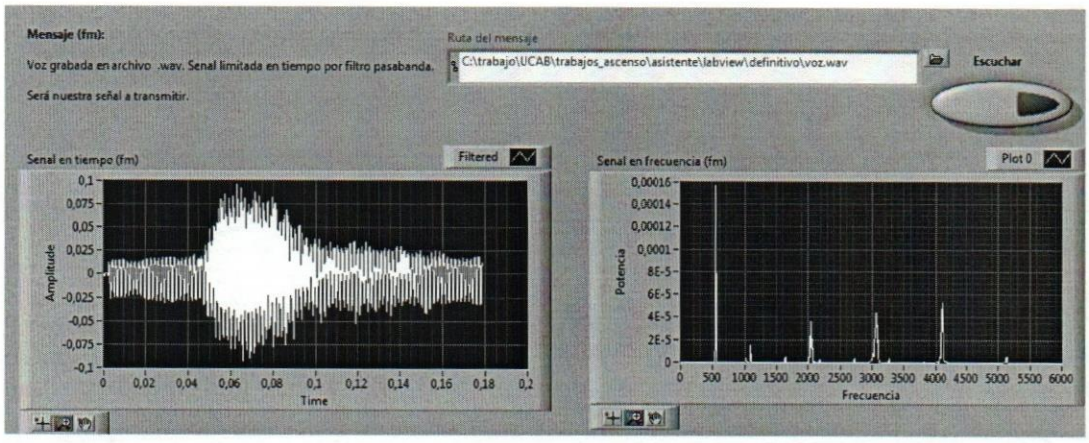


**Figura 9 - Señal de voz grabada en tiempo y frecuencia.**

Como se observa en la figura 9 se tienen dos visualizadores, los cuales se comportan el primero como osciloscopio y el segundo como analizador de espectro. En la primera imagen, la señal está en función del tiempo y en la segunda en función de la frecuencia. Se muestra la voz humana en función del tiempo, con baja amplitud de entrada y acotada por un filtro pasabanda. Con respecto a la señal en función de la frecuencia se observa que la voz llega hasta 4Khz.

### *Portadora*

Se genera una señal cuadrada, la cual utilizando el criterio de modulación debe ser diez veces mayor que la frecuencia del mensaje.

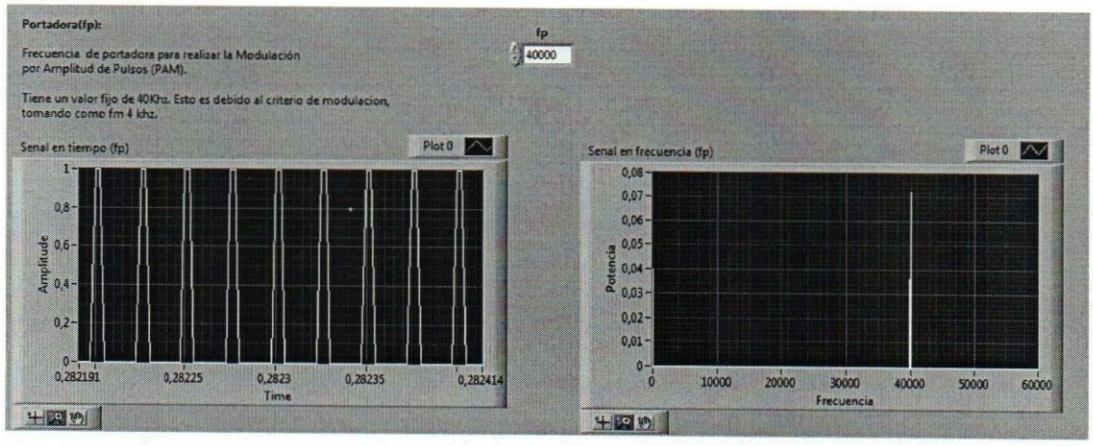


**Figura 10 - Señal portadora en tiempo y frecuencia.**

En la figura 10 se tienen dos visualizadores para mostrar la portadora en tiempo y frecuencia. En la señal en tiempo, se tiene una señal cuadrada que fue modificada al 20% de su ciclo de trabajo, para pretender parecerse a una señal Delta de Dirac (tren de impulsos). En la señal en frecuencia, se puede aprecia el delta en la frecuencia establecida.

### *Muestreo*

Es el resultado de multiplicar el mensaje con la portadora, conocida como Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM). En esta etapa se realiza el muestreo ideal, el cual es consiste en discretizar la señal modulada en tiempo. Por criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser dos veces mayor a la frecuencia máxima del mensaje.

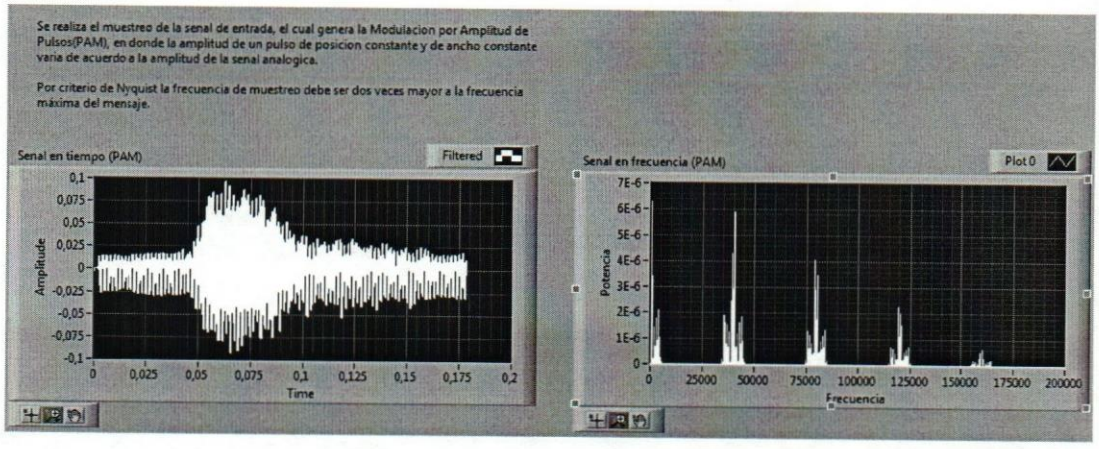


**Figura 11 - Señal PAM en tiempo y frecuencia.**

En la figura 11 se obtiene, como en los casos anteriores dos visualizadores, tanto en tiempo como en frecuencia. En la señal en tiempo se vuelve a obtener la misma representación gráfica que en la pestaña del mensaje, con la diferencia que ahora la señal se encuentra modulada. En la señal en frecuencia se aprecian los deltas que se generan al realizar este tipo de modulación.

### *Retención*

Se fijan valores de tensión con respecto a la señal modulada, para realizar la predicción y luego la cuantificación.

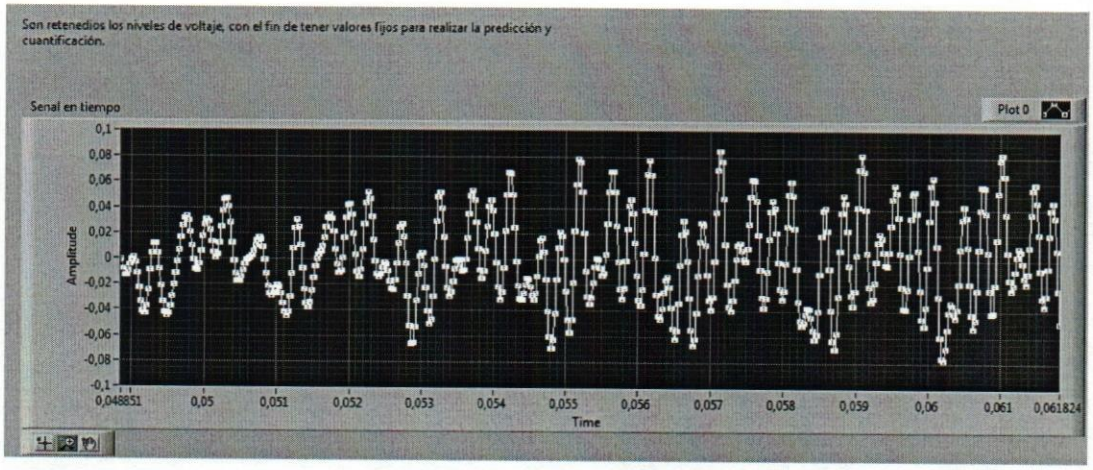


**Figura 12 - Retención.**

### *Predicción lineal*

Obtiene una estimación de la señal recibida, en este caso es la señal modulada. Utilizando el LPC del software Matlab, se realiza la predicción.

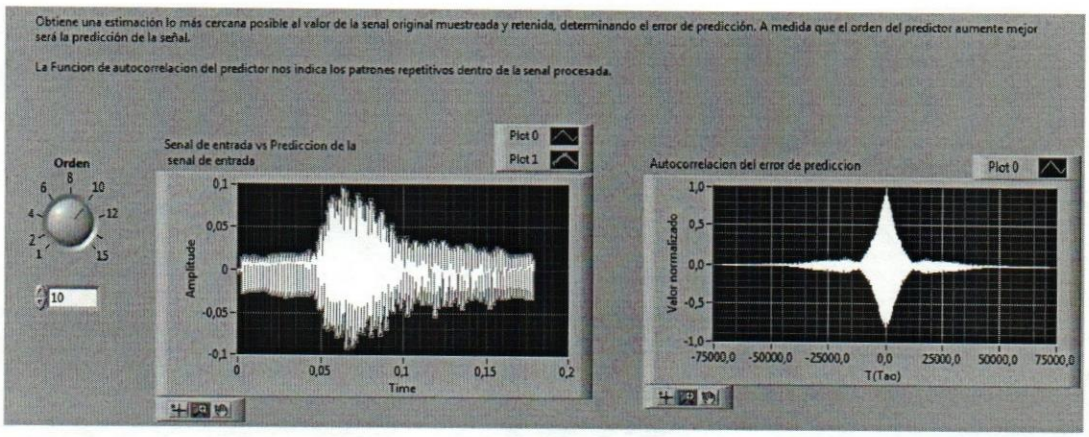


**Figura 13 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción.**

En el visualizador izquierdo de la figura 13, se tienen dos señales en tiempo, la señal modulada y la señal de predicción. En el visualizador del lado derecho se muestra la autocorrelación del error de predicción, que nos indica que tan similares son los valores de predicción de la señal de entrada.

## *Cuantificación*

Se le asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en la retención. La imagen se presenta a en la figura 14.

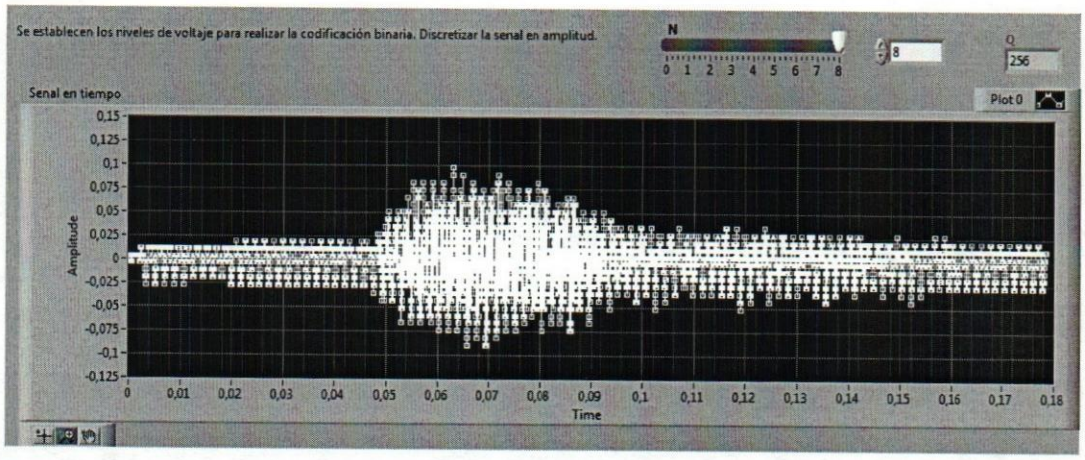


**Figura 14 - Cuantificación de la señal**

Se asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en la retención para realizar la codificación binaria. Esta etapa es variable desde 2 hasta 256 niveles.

### *Codificación*

Asignación binaria a los niveles de cuantificación. En este momento ya se tiene el código DPCM listo para ser enviado al canal de comunicación.

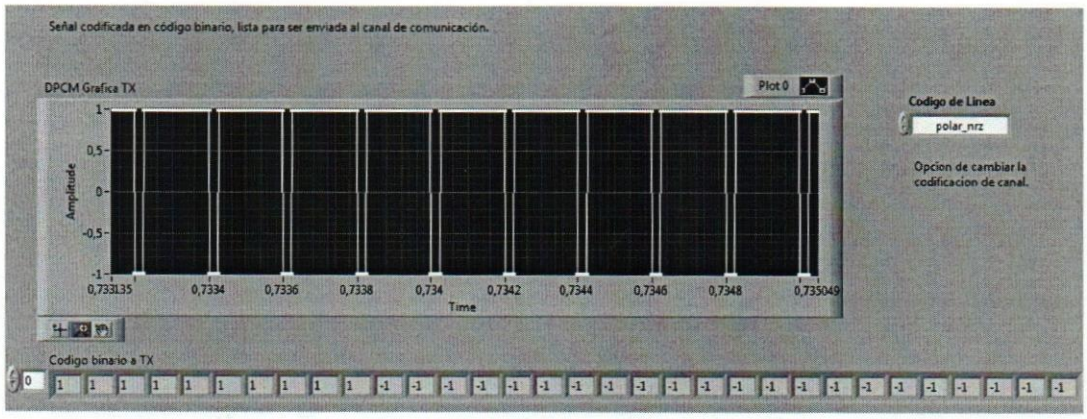


**Figura 15 - Código DPCM**

La figura 15, muestra la gráfica del DPCM, el cual dispone de los códigos de línea que el usuario lo desea utilizar, para este informe se utiliza el Polar NRZ.

Ya ha finalizado la digitalización de una señal analógica, se procede a enviar el código binario al receptor, el cual se encargar de obtener nuevamente el mensaje original modulado y transmitido.

Presentación de la implementación de la demodulación:

En la fase de demodulación son tres pasos en donde recupera la señal original.

### *DPCM recibido*

Señal en el receptor, en la imagen se observa el código DPCM. En la figura 16, se puede apreciar el código de línea Polar NRZ, tanto en el visualizador como en el valor numérico.

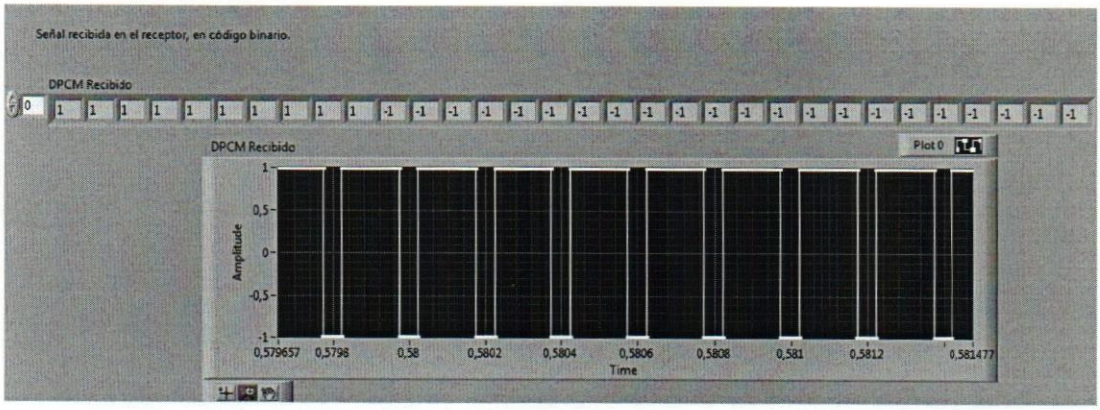


**Figura 16 - Código DPCM recibido**

## *Predicción Lineal*

Igual que en caso del transmisor el uso del predictor es para obtener una estimación del mensaje, en este caso el recibido. Se presenta en la figura 17 la señal recibida versus la predicción de la señal y la autocorrelación obtenida.

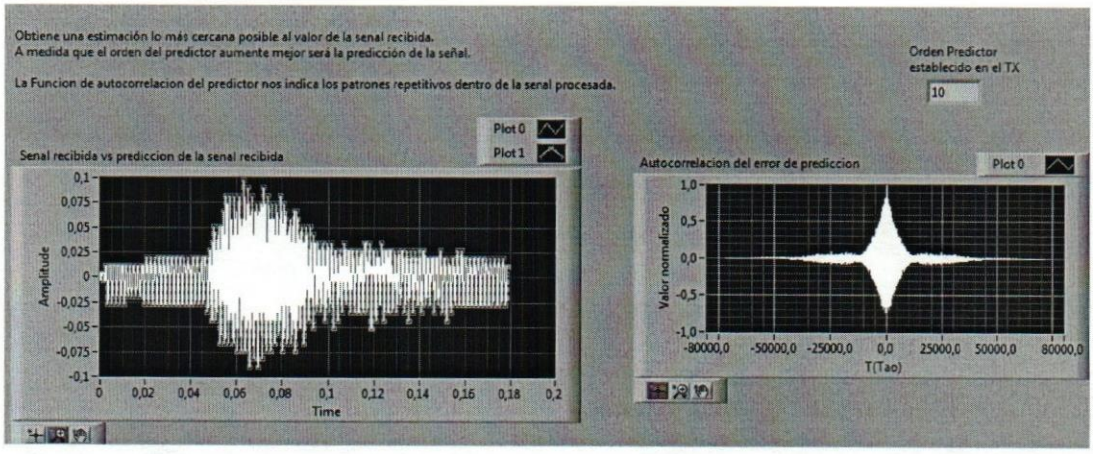


**Figura 17 - Predicción lineal y del error de predicción en el receptor.**

## *Señal recibida*

Se obtiene la señal original enviada a traves de la técnica de DPCM. En este paso la señal es pasada por un filtro pasa bandas de orden 6 tipo Butterworth con frecuencia de corte en la banda inferior de 100Hz y en la banda superior de 4KHz.

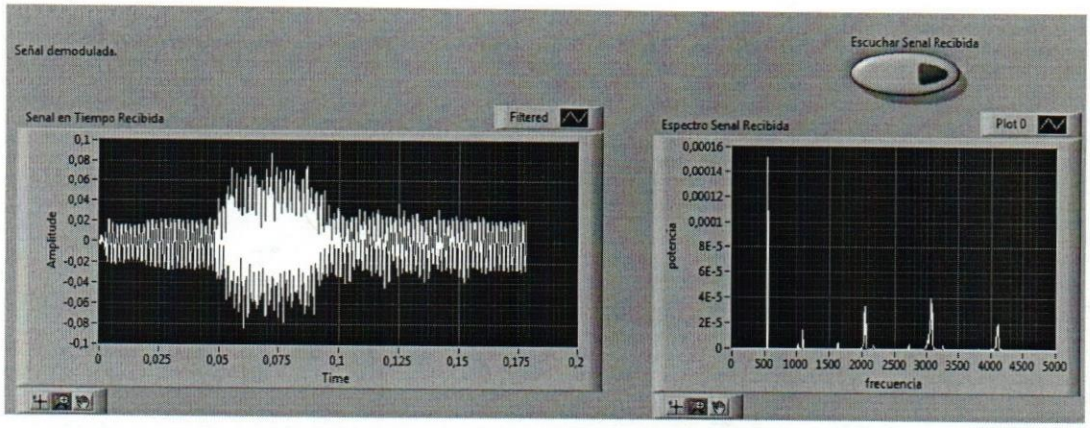


**Figura 18 - Mensaje recibido.**

En la figura 18 tenemos la señal recibida en tiempo y en frecuencia. Utilizando el botón de escuchar se obtiene el mensaje recuperado.

Ya se ha obtenido correctamente la señal enviada. En los apéndices de este informe se encuentra las otras tres señales utilizadas para la realización de este proyecto.

# CAPITULO VI

## Conclusiones y recomendaciones

Para aprovechar al máximo el canal de comunicación y disminuir el uso del ancho de banda, se utiliza la transmisión de señales digitales, por este motivo son utilizadas las técnicas PCM y DPCM para la codificación de señales analógicas, y por ende es un punto importante en la formación de un Ingeniero de Telecomunicaciones.

Por este motivo, fue desarrollado este proyecto, el cual permitirá al recurso humano, tanto facilitador como en formación, poder analizar y visualizar las etapas de la técnica de modulación digital DPCM, y así obtener una educación más acorde con la infraestructura tecnológica que presta la Universidad Católica Andrés Bello, en sus laboratorios de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Este proyecto le ayuda al profesorado asignado a las cátedras Comunicaciones I y del Laboratorio de Comunicaciones I, facilitar la comprensión de los estudiantes, a estos fenómenos matemáticos descritos en las clases teóricas de la modulación realizada, por eso se recomienda que utilicen esta herramienta informativa como soporte en sus clases teóricas, y en la parte práctica puede permitirle a los estudiantes a tomar como referencia todas las etapas elaboradas, y así tener un punto de apoyo para elaboración de esta modulación.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que solo se cuenta con un equipo PXIe-1065, con el cual se puede realizar una demostración de voz y señales sinusoidal en tiempo real, y los mensajes de voz grabada y señal determinística, pueden usarse en cualquier equipo que tenga la herramienta LabVIEW instalada, motivo por el cual puede ser insertada dentro de la planificación semestral.

## Bibliografía


Adrián de Pérez, T. (s.f.). DPCM. Recuperado el Julio de 2012, de Prof. Trína Adrían de Pérez: http://prof.usb.ve/tperez/

Barrios, J. J. (2011). Digitalización de señales analógicas. Caracas.

Briceño, J. (2005). Principios de las Comunicaciones. Mérida: Talleres de Publicaciones de la Universidad de Los Andes.

Carlson, B., Crilly, P., & Rutledge, J. (2007). Sistemas de Comunicación. Mexico D.F.: McGraw-Hill.

Corporation, N. I. (2011). National Instruments Latinoamérica. Recuperado el agosto de 2012, de http://latam.ni.com/

Lecumberry, F., & Mémoli, F. (Julio de 2001). Sistemas de Comunicación. Recuperado el Agosto de 2012, de Sistemas de Comunicación: http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/siscom/teorico/pcm.pdf

Orozco, H. (2013). Las claves para una integración equilibrada de los usos de las TIC's en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

The MathWorks, I. (1994-2012). MathWorks. Recuperado el Agosto de 2012, de http://www.mathworks.com/index.html

Tomasi, W. (1996). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall.

UNESCO. (2005). Las Tecnologías de la información y comunicación en la enseñanza. Obtenido de Manual para docentes:
http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001390/139028s.pdf

Con respecto a la señal en función de la frecuencia, se observa un delta en la frecuencia del mensaje (fm).

### *Portadora*

Se genera una señal cuadrada, la cual utilizando el criterio de modulación, debe ser diez veces mayor que la frecuencia del mensaje.

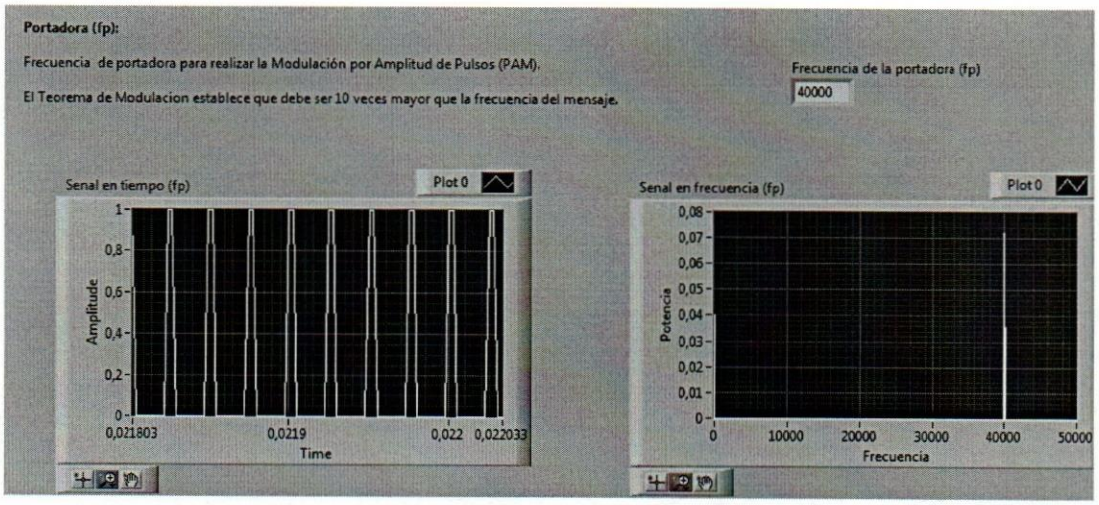


**Figura 20 - Señal portadora en tiempo y frecuencia.**

En la figura 20, se tienen dos visualizadores para mostrar la portadora en tiempo y frecuencia. En la señal en tiempo, se tiene una señal cuadrada que fue modificada al 20% de su ciclo de trabajo, para pretender parecerse a una señal Delta de Dirac (tren de impulsos). En la señal en frecuencia, se puede aprecia el delta en la frecuencia establecida.

### *Muestreo*

Es el resultado de multiplicar el mensaje con la portadora, conocida como Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM). En esta etapa se realiza el muestreo ideal, el cual es

consiste en discretizar la señal modulada en tiempo. Por criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser dos veces mayor a la frecuencia máxima del mensaje.

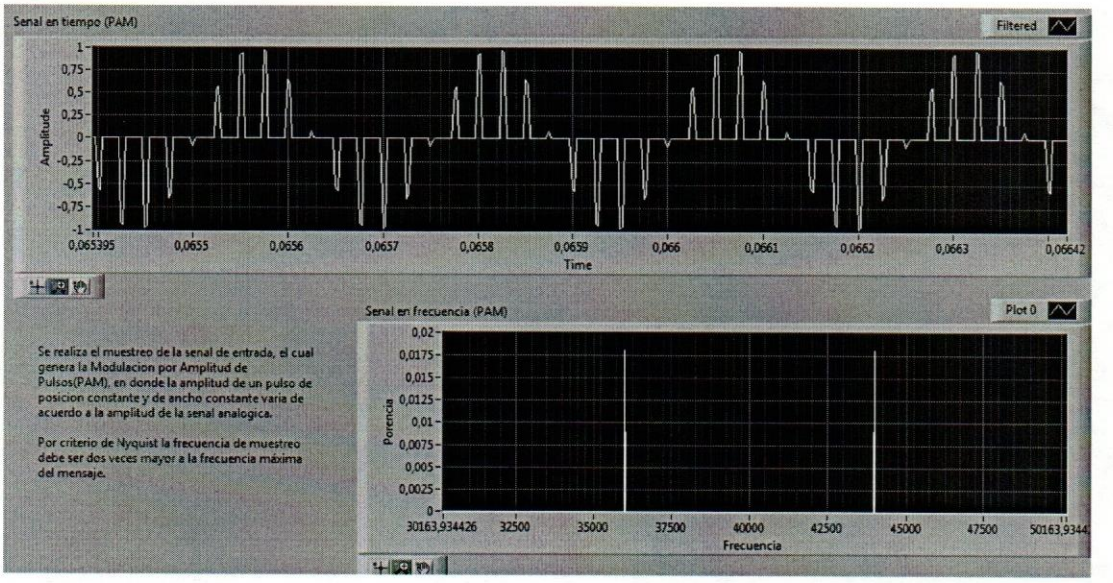


**Figura 21 - Señal PAM en tiempo y frecuencia.**

En la figura 21 se obtiene, como en los casos anteriores dos visualizadores, tanto en tiempo como en frecuencia. En la señal en tiempo se vuelve a obtener la misma representación gráfica que en la pestaña del mensaje, con la diferencia que ahora la señal se encuentra modulada. En la señal en frecuencia se aprecian los deltas que se generan al realizar este tipo de modulación.

### *Retención*

Se fijan valores de tensión con respecto a la señal modulada, para realizar la predicción y luego la cuantificación.

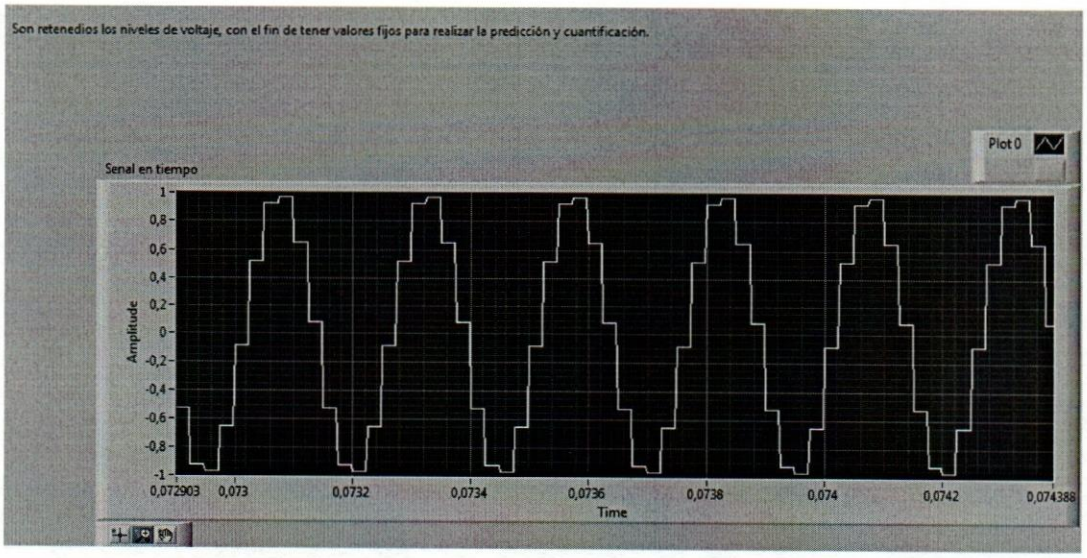


**Figura 22–Retención de voltaje.**

## *Predicción lineal*

Obtiene una estimación de la señal recibida, en este caso es la señal modulada. Utilizando el LPC del software Matlab, se realiza la predicción.

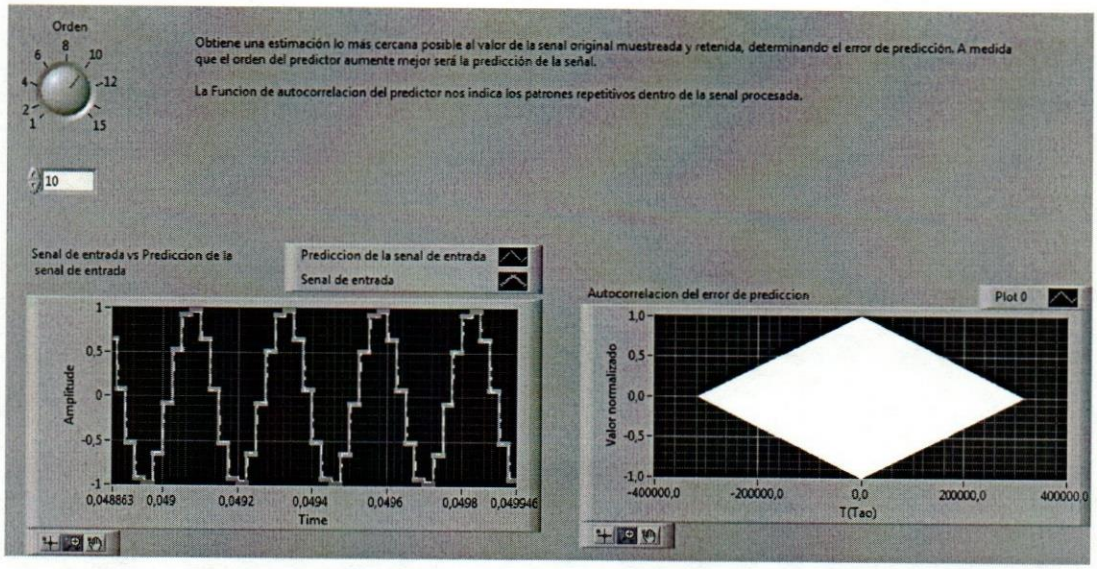


**Figura 23 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción.**

En el visualizador izquierdo de la figura 23, se tienen dos señales en tiempo, la señal modulada y la señal de predicción. En el visualizador del lado derecho se muestra la autocorrelación del error de predicción, que nos indica que tan similares son los valores de predicción de la señal de entrada, y también la cantidad de puntos que posee.

### *Cuantificación*

Se le asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en la retención. La imagen se presenta a en la figura 24.

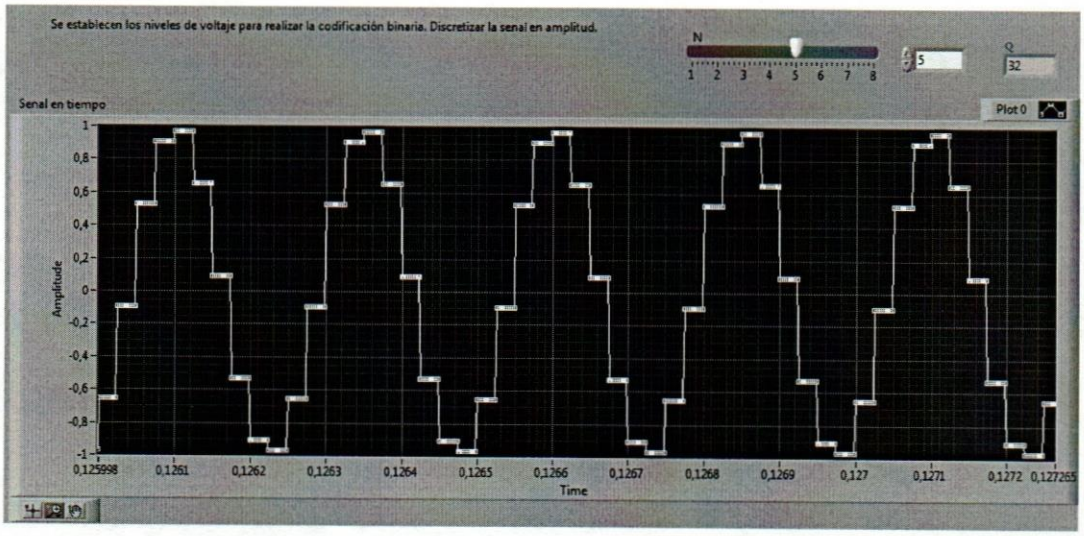


**Figura 24 - Cuantificación de la señal.**

Se asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en el muestreo para realizar la codificación binaria. Esta etapa, es variable desde 2 hasta 256 niveles.

### *Codificación*

Asignación binaria a los niveles de cuantificación. Se tiene el código DPCM listo para ser enviado al canal de comunicación.

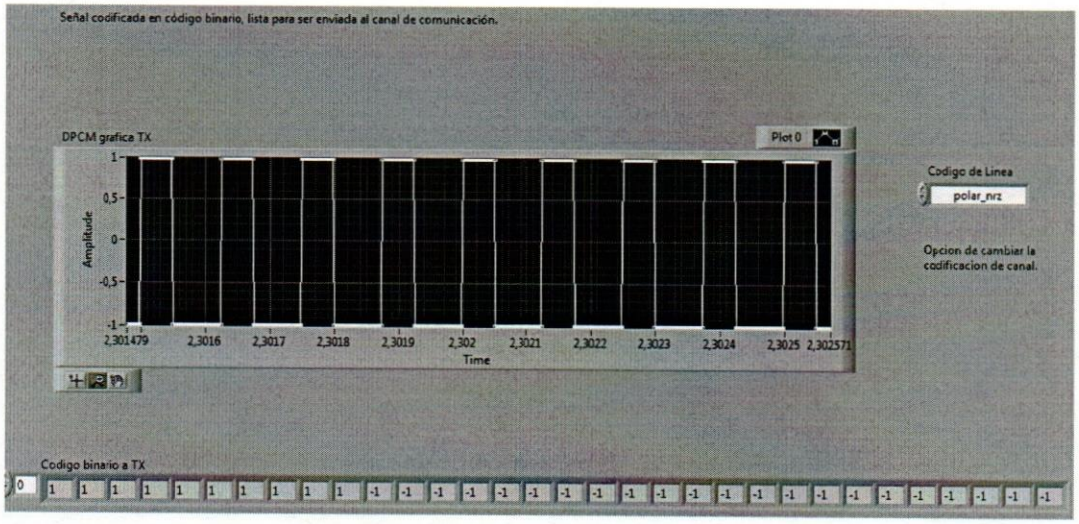


**Figura 25 - Código DPCM**

La figura 25, muestra la gráfica del DPCM, el cual dispone de los códigos de línea que el usuario lo desea utilizar, para este informe se utiliza el Polar NRZ.

Ya ha finalizado la digitalización de una señal analógica, se procede a enviar el código binario al receptor, el cual se encargar de obtener nuevamente el mensaje original modulado y transmitido.

***Presentación de la implementación de la demodulación utilizando un generador de funciones de LabVIEW:***

En la fase de demodulación son tres pasos en donde recupera la señal original.

***DPCM recibido***

Señal en el receptor, en la imagen se observa el código DPCM. En la figura 26, se puede apreciar el código de línea Polar NRZ, tanto en el visualizador como en el valor numérico.

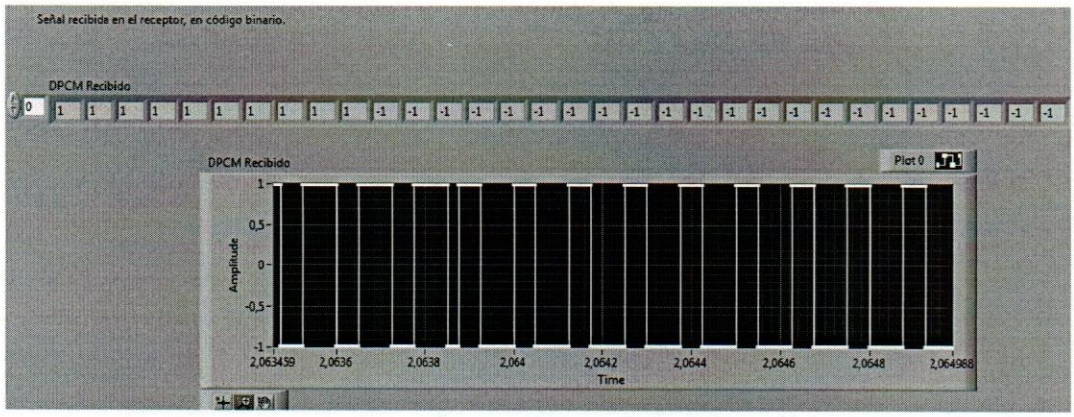


**Figura 26 - Código DPCM recibido.**

## *Predicción Lineal*

Igual que en caso del transmisor el uso del predictor es para obtener una estimación del mensaje, en este caso el recibido. Se presenta en la figura 27 la señal recibida vs la predicción de la señal y la autocorrelación obtenida.

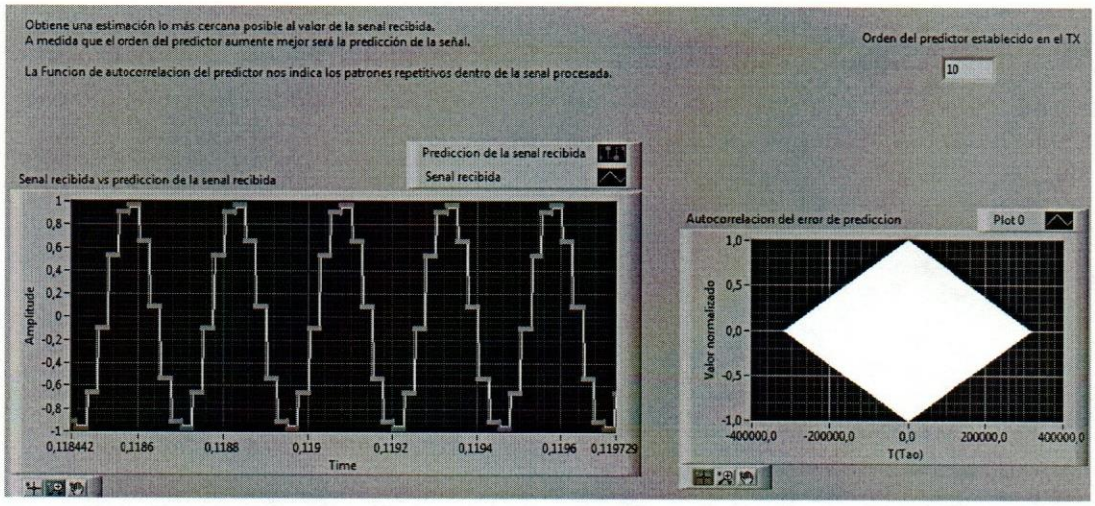


**Figura 27 - Predicción lineal en el receptor**

### *Señal recibida*

Se obtiene la señal original enviada a traves de la técnica de DPCM. En este paso la señal es pasada por un flitro pasabandas, el cual se encuentra configurado de igual manera que realizado en la generacion del mensaje.

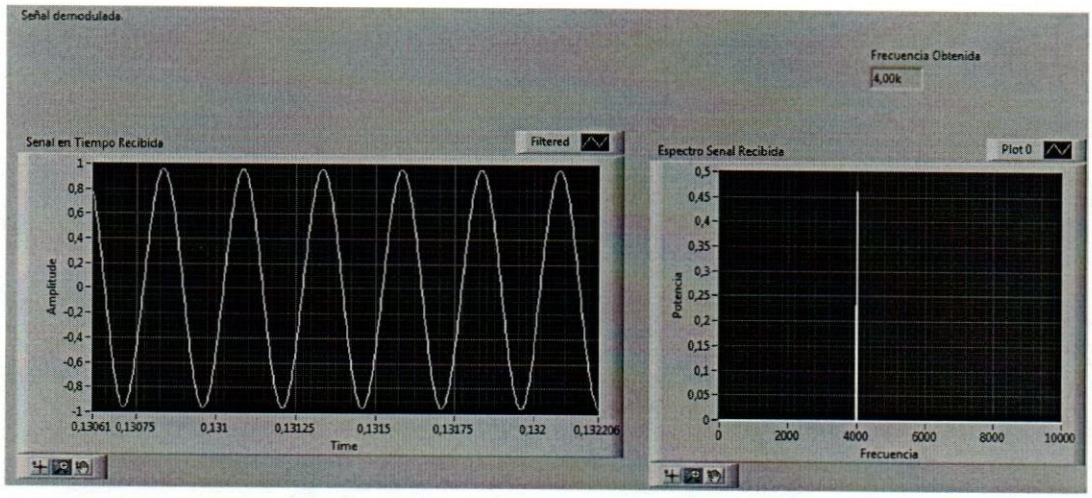


**Figura 28 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia.**

En la figura 28 tenemos la señal recibida en tiempo y en frecuencia.

Se procede a mostrar los resultados obtenidos utilizando una señal voz adquirida en tiempo real, utilizando el equipo PXIe-1065 con la tarjeta DAQ PXI-6363 de National Instruments.

2.- Señal aleatoria:

***Presentación de la implementación de la modulación con voz adquirida en tiempo real:***

Voz adquirida en tiempo real: Se utiliza la el bloque BNC-2120 conectado a la DAQ PXI-6363, en el canal analógico 01, se conecta un micrófono para transmitir el audio al computador.

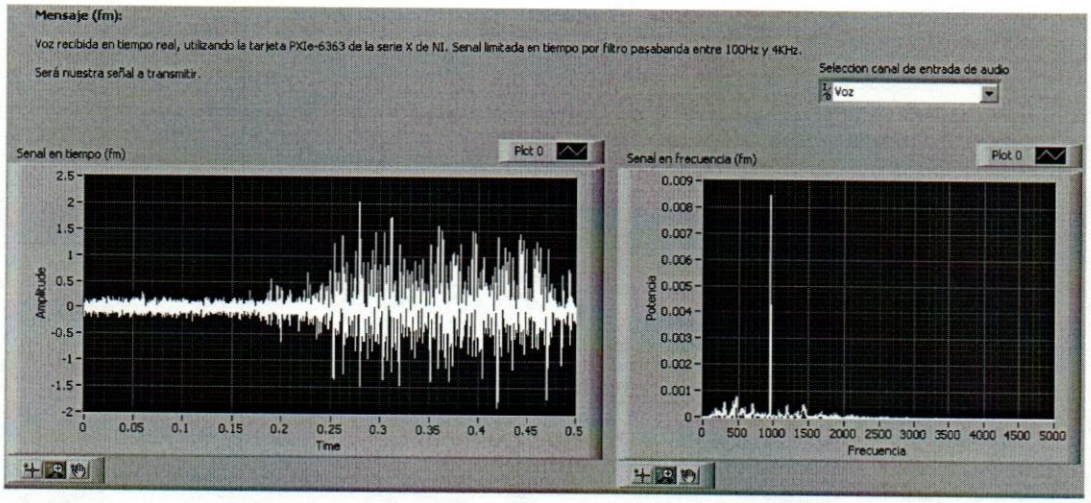


**Figura 29 - Señal de voz adquirida en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida.**

Como se observa en la figura 29 se tienen dos visualizadores, los cuales se comportan el primero como osciloscopio y el segundo como analizador de espectro. En la primera imagen la señal está en función del tiempo y en la segunda en función de la frecuencia. La señal de entrada está limitada por un filtro pasabanda. Con respecto a la señal en función de la frecuencia se observa que la voz llega hasta 4Khz. También se observa el selector de la señal de entrada, para este caso tiene el nombre de *voz*.

***Portadora para el caso de la voz adquirida***

Se genera una señal cuadrada, la cual utilizando el criterio de modulación debe ser diez veces mayor que la frecuencia del mensaje. En este caso, se realiza con fp =40KHz, ya que el mensaje ha sido limitado a 4Khz.

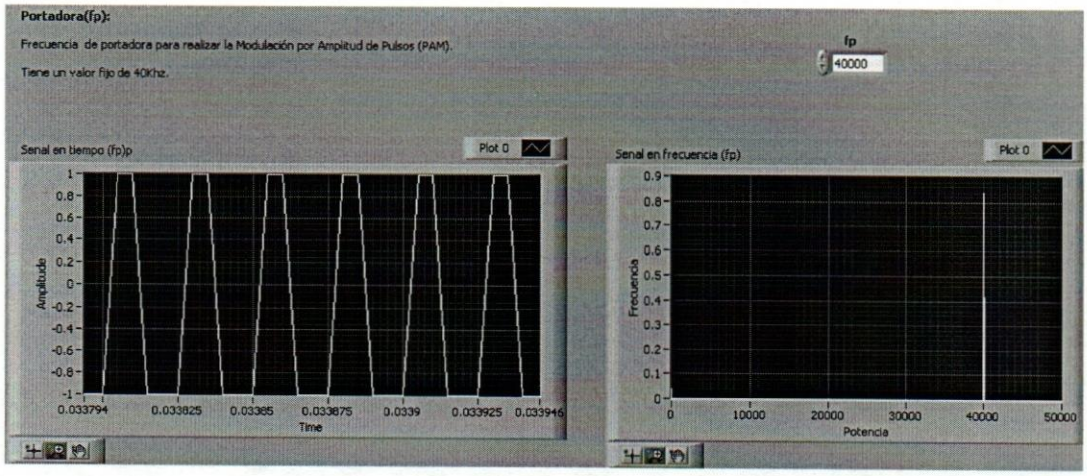


**Figura 30 - Señal portadora en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida.**

En la figura 30 se tienen dos visualizadores para mostrar la portadora en tiempo y frecuencia. En la señal en tiempo, se tiene una señal cuadrada que fue modificada al 20% de su ciclo de trabajo, para pretender parecerse a una señal Delta de Dirac (tren de impulsos). En la señal en frecuencia, se puede aprecia el delta en la frecuencia establecida.

### *Muestreo de la voz adquirida*

Es el resultado de multiplicar el mensaje con la portadora, conocida como Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM). En esta etapa se realiza el muestreo ideal, el cual es consiste en discretizar la señal modulada en tiempo. Por criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser dos veces mayor a la frecuencia máxima del mensaje.

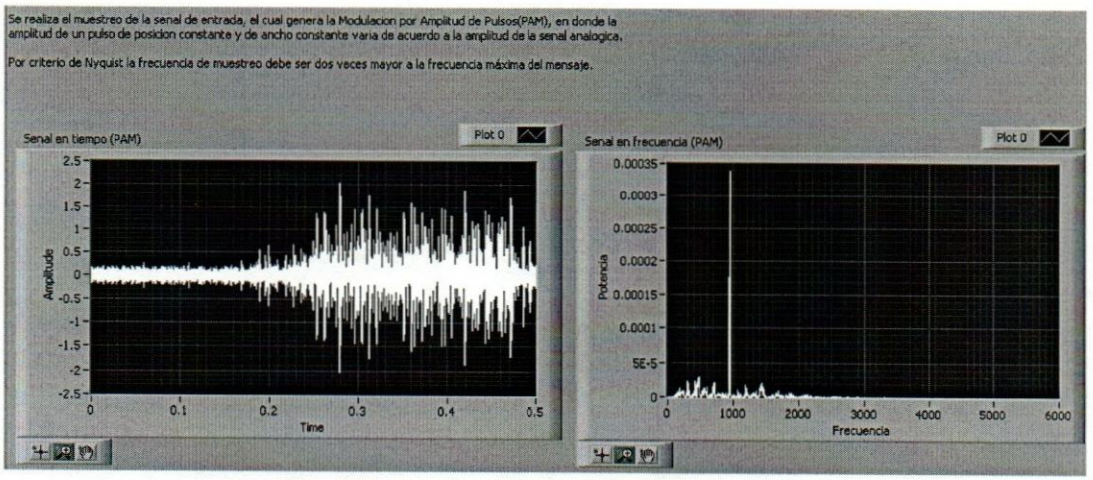


**Figura 31 - Señal PAM en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida.**

En la figura 31 se obtiene, como en los casos anteriores dos visualizadores, tanto en tiempo como en frecuencia. En la señal en tiempo se vuelve a obtener la misma representación gráfica que en la pestaña del mensaje, con la diferencia que ahora la señal se encuentra modulada. En la señal en frecuencia se aprecian los deltas que se generan al realizar este tipo de modulación.

### *Retención de la voz adquirida*

Se fijan valores de tensión con respecto a la señal modulada, para realizar la predicción y luego la cuantificación.

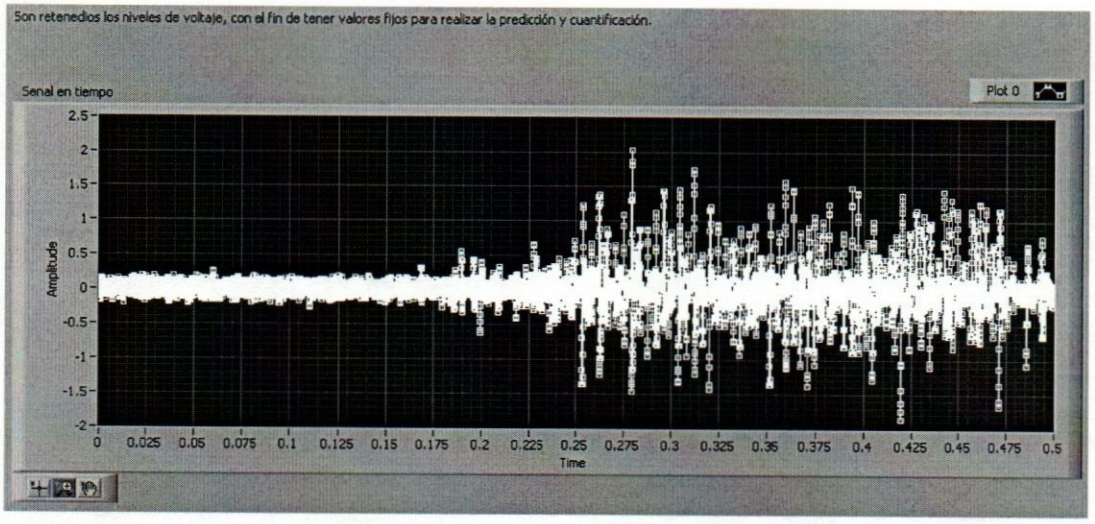


**Figura 32 – Retención de voltaje, de la voz adquirida.**

### *Predicción lineal de la voz adquirida*

Obtiene una estimación de la señal recibida, en este caso es la señal modulada. Utilizando el LPC del software Matlab, se realiza la predicción.

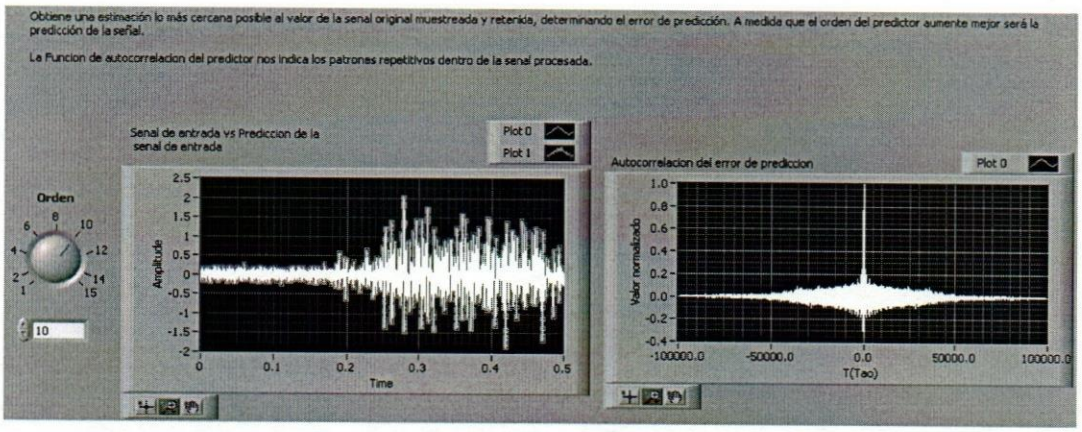


**Figura 33 - Predictor lineal y la autocorrelación del error de predicción, de la voz adquirida.**

En el visualizador izquierdo de la figura 33, se tienen dos señales en tiempo, la señal modulada y la señal de predicción. En el visualizador del lado derecho se muestra la autocorrelación del error de predicción, que nos indica que tan similares son los valores de predicción de la señal de entrada.

### *Cuantificación de la voz adquirida*

Se le asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en la retención. La imagen se presenta a en la figura 34.

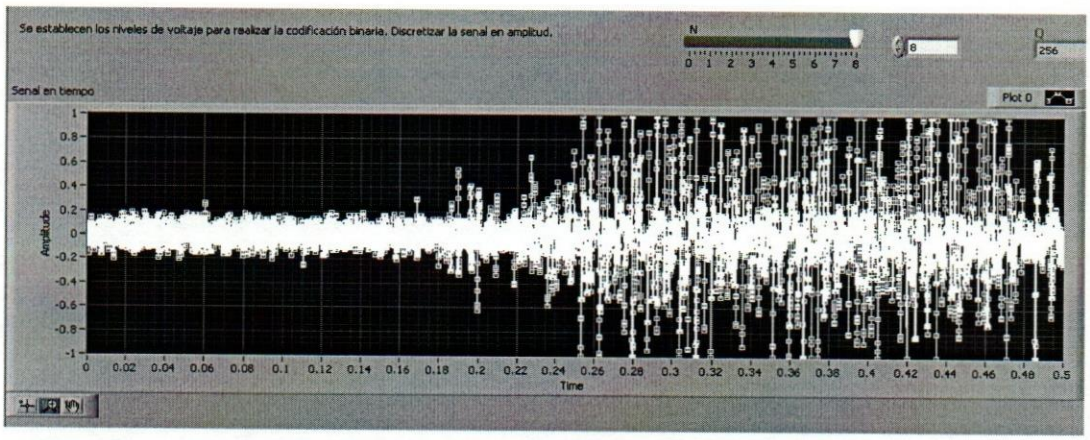


**Figura 34 - Cuantificación de la voz adquirida.**

Esta etapa es variable desde 2 hasta 256 niveles.

### *Codificación de la voz adquirida*

Asignación binaria a los niveles de cuantificación. Se tiene el código DPCM listo para ser enviado al canal de comunicación.

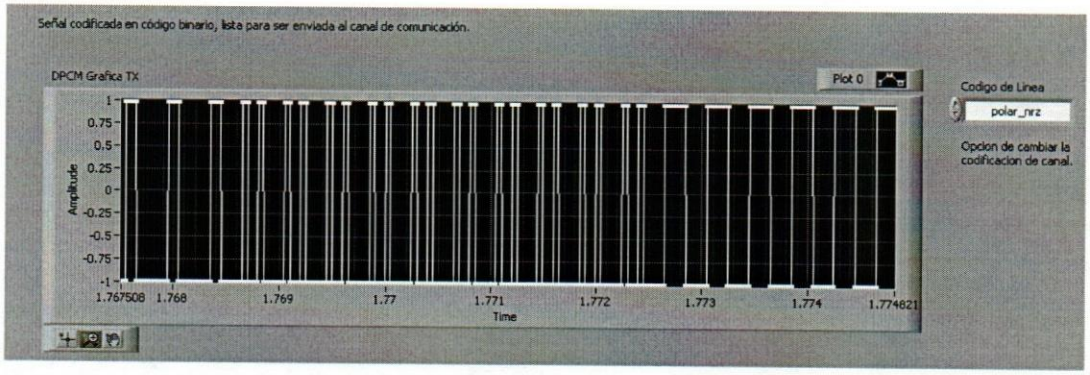


**Figura 35 - Código DPCMde la voz adquirida.**

La figura 35, muestra la gráfica del DPCM, el cual dispone de los códigos de línea que el usuario lo desea utilizar, para este informe se utiliza el Polar NRZ.

Ya ha finalizado la digitalización de una señal de voz en tiempo real, se procede a enviar el código binario al receptor, el cual se encargar de obtener nuevamente el mensaje original modulado y transmitido.

### *Presentación de la implementación de la demodulación de la voz adquirida:*

En la fase de demodulación son tres pasos en donde recupera la señal original.

### *DPCM recibido de la voz adquirida*

Señal en el receptor, en la imagen se observa el código DPCM. En la figura 36, se puede apreciar el código de línea Polar NRZ, tanto en el visualizador como en el valor numérico.

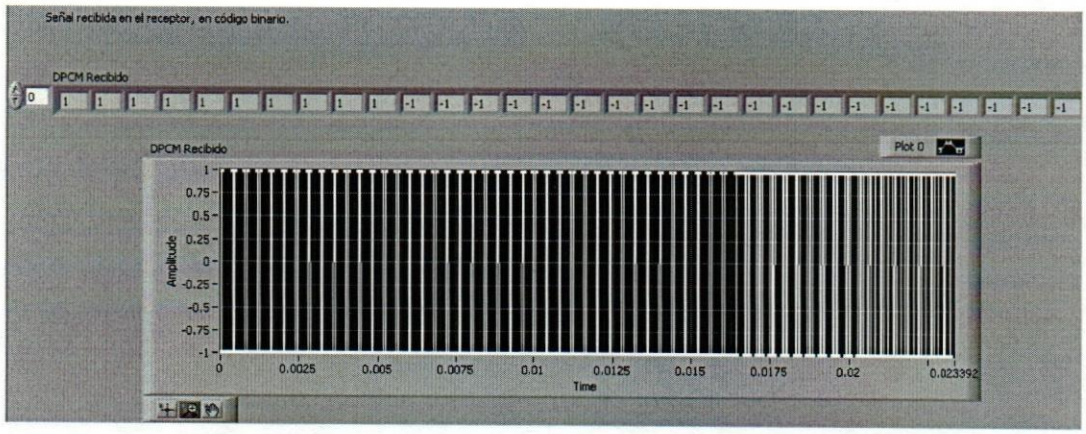


**Figura 36 - Código DPCM recibido, de la voz adquirida.**

## *Predicción Lineal de la voz adquirida*

Igual que en caso del transmisor el uso del predictor es para obtener una estimación del mensaje, en este caso el recibido. Se presenta en la figura 37 la señal recibida vs la predicción de la señal y la autocorrelación obtenida.

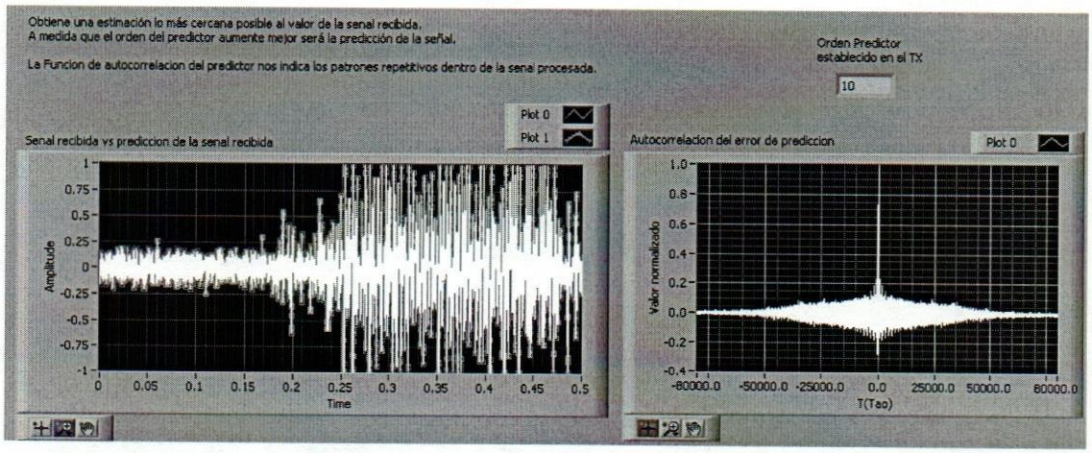


**Figura 37 - Predicción lineal en el receptor, de la voz adquirida.**

### *Señal recibida de la voz adquirida*

Se obtiene la señal original enviada a traves de la técnica de DPCM. En este paso la señal es pasada por un flitro pasabandas, el cual se encuentra configurado de igual manera que realizado en la generacion del mensaje.

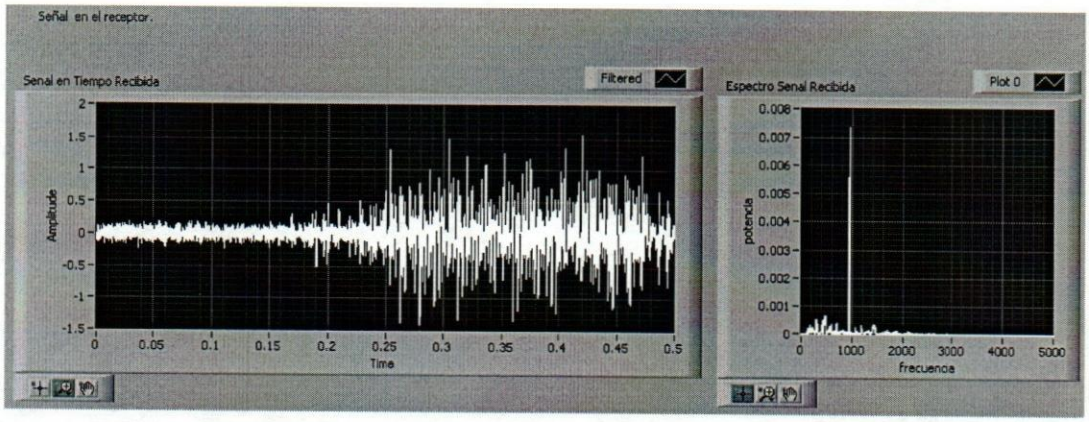


**Figura 38 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia, de la voz adquirida.**

En la figura 38 tenemos la señal recibida en tiempo y en frecuencia. Se aprecia en el visualizador en tiempo que la senal es continua, ya que es en tiempo real, por esto no queda fija con en el caso de la voz grabada. En la senal recibida en frecuencia, se observa como efectivamente el filtro pasabanda ubicado en el recpetor, no permite tener frecuencia menores a 100Hz y mayores a 4KHz.

Ahora se procede a mostrar los resultados obtenidos al adquirir una señal periódica determinística en tiempo real, utilizando el equipo PXIe-1065 con la tarjeta DAQ PXI-6363 de National Instruments.

3.- Señal determinística:

***Presentación de la implementación de la modulación con señal periódica adquirida en tiempo real:***

Señal periódica adquirida en tiempo real: Se utiliza el bloque BNC-2120 conectado a la DAQ PXI-6363, en el canal analógico 00, se conecta un generador de funciones. La señal puede variar entre 200Hz hasta 4KHz.

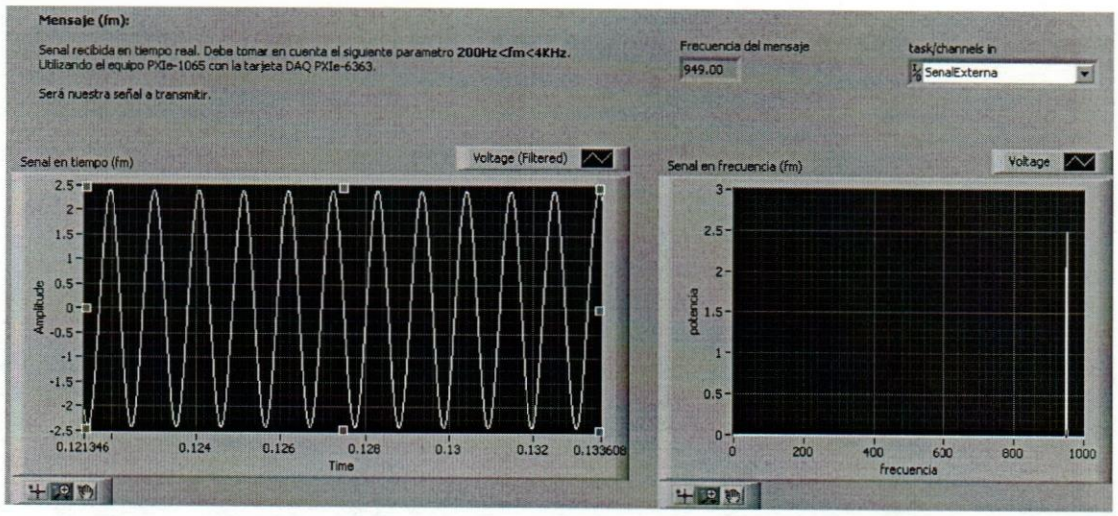


**Figura 39– Señal periódica adquirida en tiempo real, representación en tiempo y frecuencia.**

Como se observa en la figura 39 se tienen dos visualizadores, los cuales se comportan el primero como osciloscopio y el segundo como analizador de espectro. En la primera imagen la señal está en función del tiempo y en la segunda en función de la frecuencia. La señal de entrada está limitada por un filtro pasabanda, el cual tiene establecido en su corte inferior: fm – 100Hz y para el corte superior: fm + 100Hz.

***Portadora para la señal adquirida en tiempo real:***

Se genera una señal cuadrada, la cual utilizando el criterio de modulación debe ser diez veces mayor que la frecuencia del mensaje.

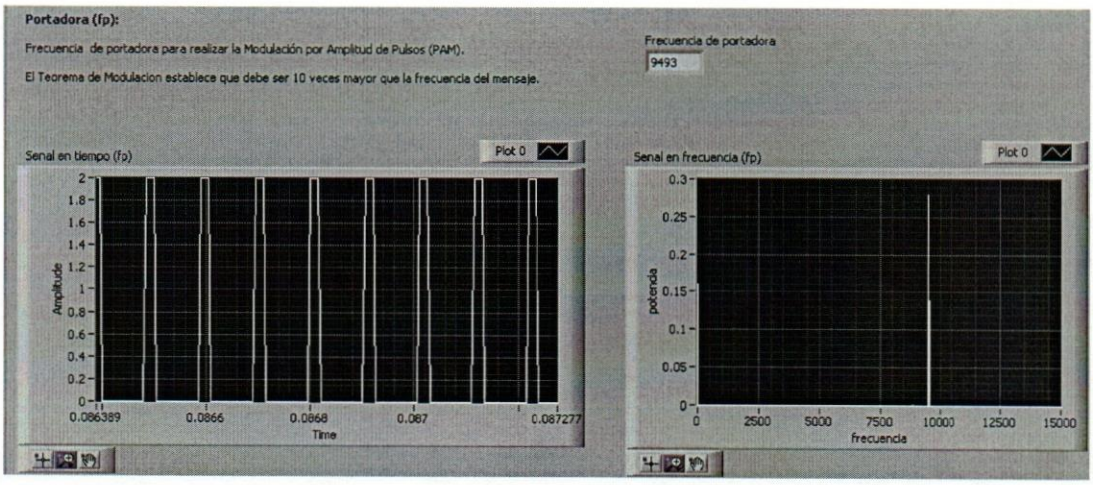


**Figura 40 - Señal portadora en tiempo y frecuencia, para la señal periódica adquirida en tiempo real.**

En la figura 40 se tienen dos visualizadores para mostrar la portadora en tiempo y frecuencia. En la señal en tiempo, se tiene una señal cuadrada que fue modificada al 20% de su ciclo de trabajo, para pretender parecerse a una señal Delta de Dirac (tren de impulsos). En la señal en frecuencia, se puede aprecia el delta en la frecuencia establecida.

### *Muestreo de la señal adquirida en tiempo real*

Es el resultado de multiplicar el mensaje con la portadora, conocida como Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM). En esta etapa se realiza el muestreo ideal, el cual es consiste en discretizar la señal modulada en tiempo. Por criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser dos veces mayor a la frecuencia máxima del mensaje.

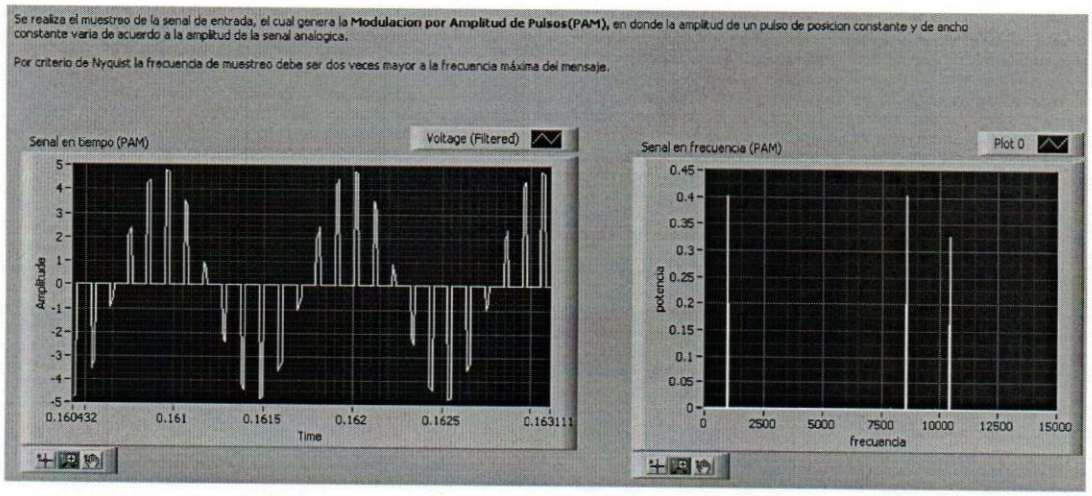


**Figura 41 - Señal PAM en tiempo y frecuencia, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

En la figura 41 se obtiene, como en los casos anteriores dos visualizadores, tanto en tiempo como en frecuencia. En la señal en tiempo se vuelve a obtener la misma representación gráfica que en la pestaña del mensaje, con la diferencia que ahora la señal se encuentra modulada. En la señal en frecuencia se aprecian los deltas que se generan al realizar este tipo de modulación.

### *Retención de la señal adquirida en tiempo real*

Se fijan valores de tensión con respecto a la señal modulada, para realizar la predicción y luego la cuantificación. Para las señales adquiridas por la tarjeta DAQ, se lleva al mínimo la retención de voltaje, tomando en cuenta una muestra de la señal entrante.

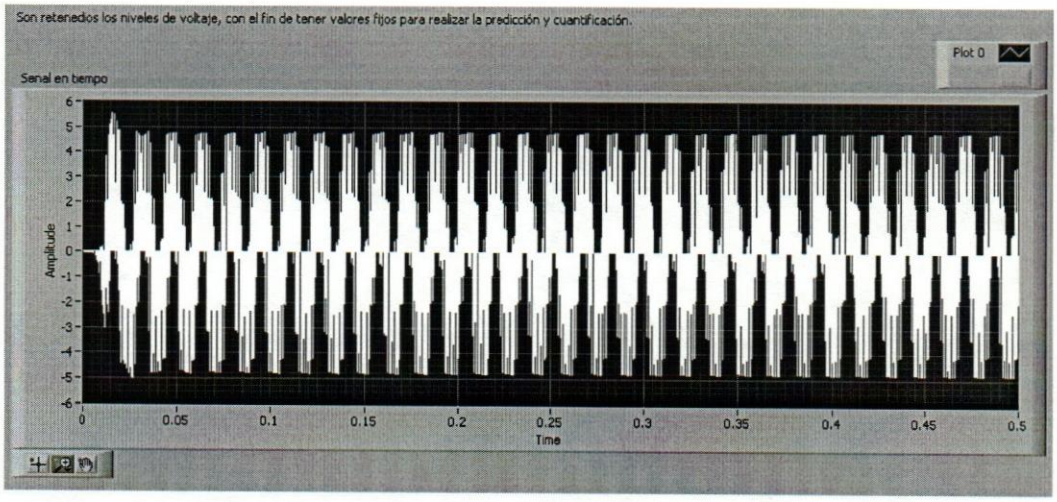


**Figura 42 – Retención de voltaje, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

## *Predicción lineal de la señal adquirida en tiempo real*

Obtiene una estimación de la señal recibida, en este caso es la señal modulada. Utilizando el LPC del software Matlab, se realiza la predicción.

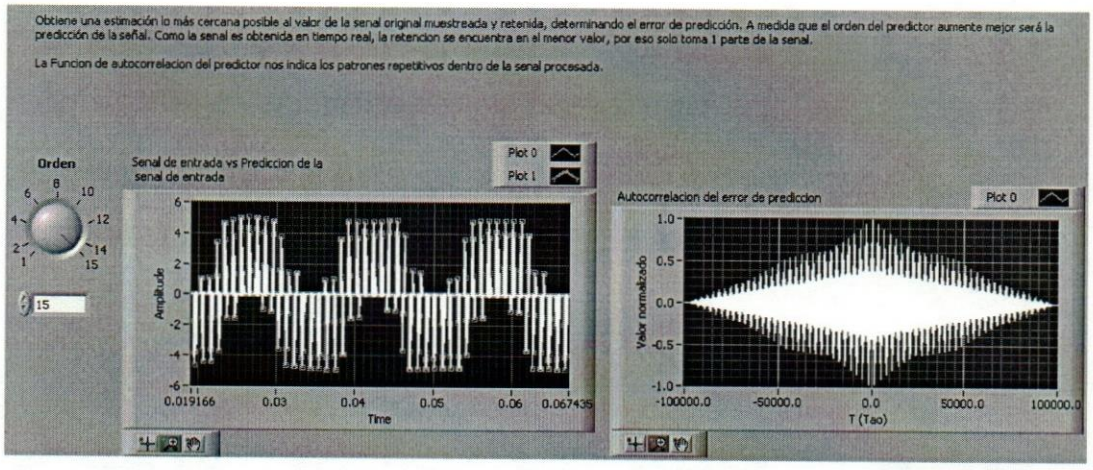


**Figura 43 - Predictor lineal y autocorrelación del error de predicción, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

En el visualizador izquierdo de la figura 43, se tienen dos señales en tiempo, la señal modulada y la señal de predicción. En el visualizador del lado derecho se muestra la

autocorrelación del error de predicción, que nos indica que tan similares son los valores de predicción de la señal de entrada.

### *Cuantificación de la señal adquirida en tiempo real*

Discretización en amplitud. La imagen de este proceso se presenta en la figura 44.

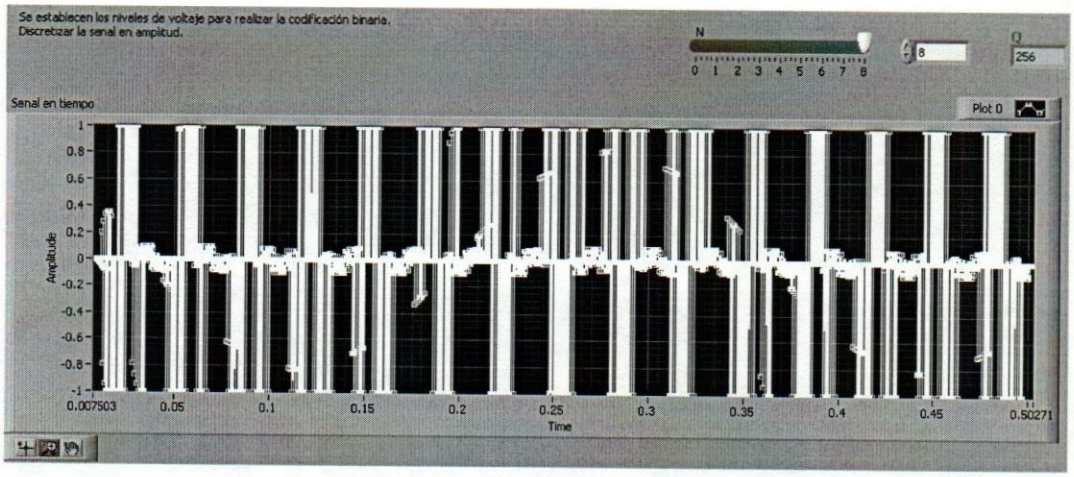


**Figura 44 - Cuantificación de la señal, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

Se asigna un determinado valor discreto a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en el muestreo para realizar la codificación binaria. Esta etapa, es variable desde 2 hasta 256 niveles.

### *Codificación de la señal adquirida en tiempo real*

Asignación binaria a los niveles de cuantificación. Se tiene el código DPCM listo para ser enviado al canal de comunicación.

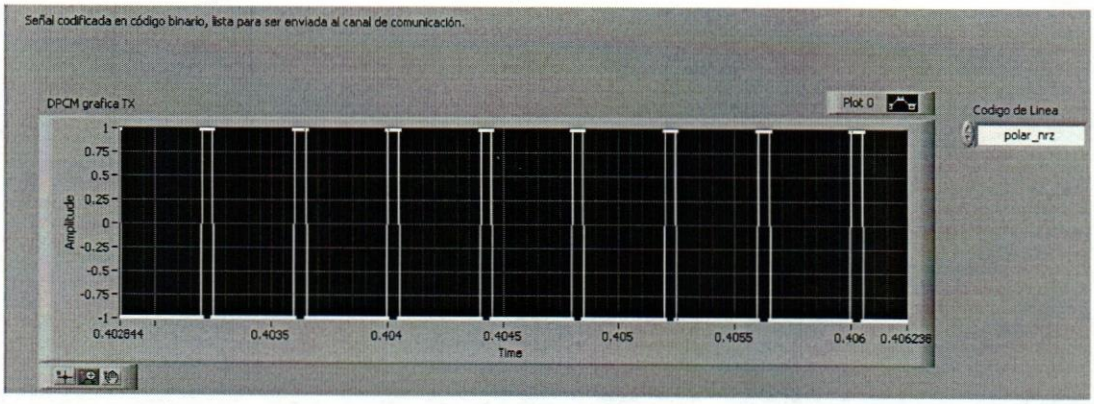


**Figura 45 - Código DPCM, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

La figura 45, muestra la gráfica del DPCM, el cual dispone de los códigos de línea que el usuario lo desea utilizar, para este informe se utiliza el Polar NRZ.

Ya ha finalizado la digitalización de una señal periódica en tiempo real, se procede a enviar el código binario al receptor, el cual se encargar de obtener nuevamente el mensaje original modulado y transmitido.

***Presentación de la implementación de la demodulación con señal periódica adquirida en tiempo real:***

En la fase de demodulación son tres pasos en donde recupera la señal original.

***DPCM recibido de la señal adquirida en tiempo real***

Señal en el receptor, en la imagen se observa el código DPCM. En la figura 46, se puede apreciar el código de línea Polar NRZ, tanto en el visualizador como en el valor numérico.

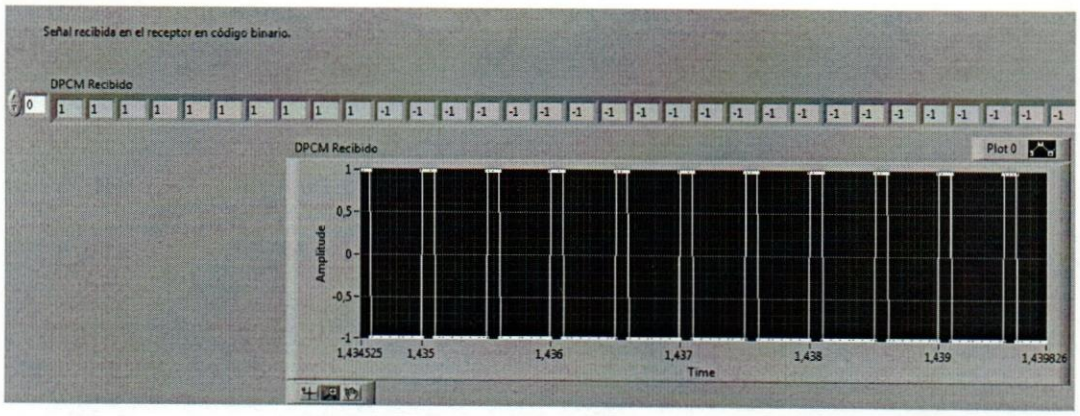


**Figura 46 - Código DPCM recibido, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

## *Predicción Lineal de la señal adquirida en tiempo real*

Igual que en caso del transmisor el uso del predictor es para obtener una estimación del mensaje, en este caso el recibido. Se presenta en la figura 47 la señal recibida vs la predicción de la señal y la autocorrelación obtenida.

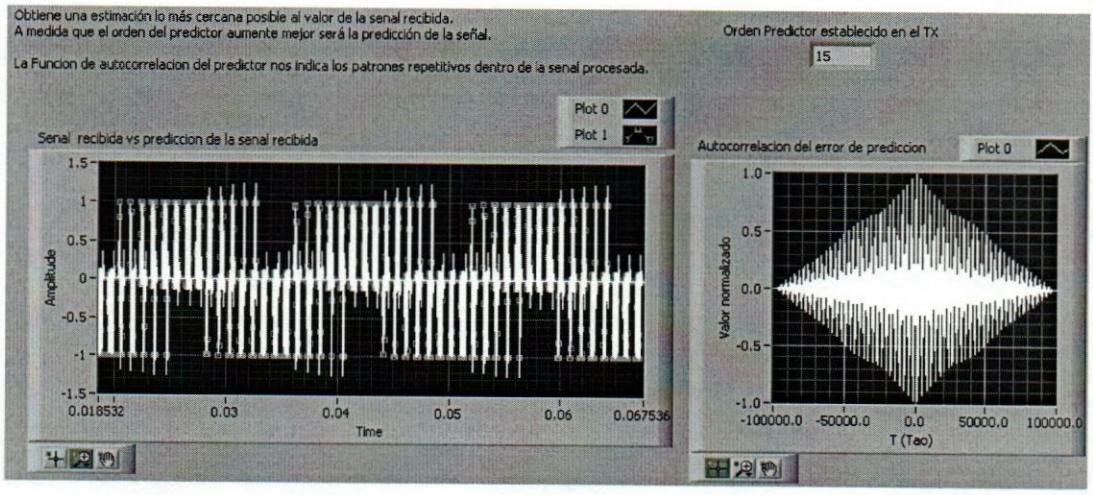


**Figura 47 - Predicción lineal en el receptor, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

### *Señal recibida de la señal adquirida en tiempo real*

Se obtiene la señal original enviada a traves de la técnica de DPCM. En este paso la señal es pasada por un flitro pasabandas, el cual se encuentra configurado de igual manera que realizado en la generacion del mensaje.

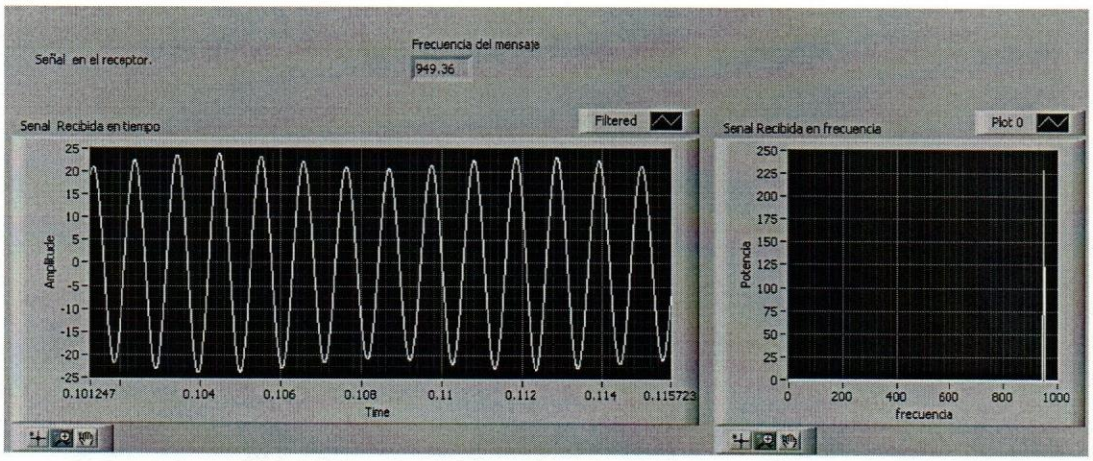


**Figura 48 - Mensaje demodulado en tiempo y frecuencia, de la señal periódica adquirida en tiempo real.**

En la figura 48se obtiene la señal recibida en tiempo y en frecuencia.

## Anexos

### *Manual del Usuario*

En esta parte del presente informe se indican los pasos para utilizar de manera correcta la herramienta elaborada para la digitalizacion de senales.

*Pasos para senales no adquiridas con el uso del PXIe-1065:*

1.- Debe tener instalados en su computadora las herramientas informaticas: LabVIEW, Matlab.

2.- Para la herramienta Matlab, debe tener incluido en el path la carpeta LABCOM.

3.- Debe tener la carpeta DPCM, en el cual se encuentran los archivos elaborados para la utilizar el sistema desarrollado. Es importante verificar que existan los siguientes archivos: DPCM_SENAL_LABVIEW y DPCM_VOZ_GRABADA,.

4.- Una vez seleccionado el archivo anterior en su computador, al abrirse el mismo, se ejecuta un servidor de Matlab, debe colocar en el command promt los siguientes comandos:

Start (luego enter y seleccionar la tecla 3)

Luego repetir :

Start (luego enter y seleccionar la tecla 4)

Esto con el fin de generar en Matlab los archivos necesarios dentro de la carpeta LABCOM para que funcionen corrrectamente los script que se encuentran en LabVIEW.

*Pasos para senales adquiridas con el uso del PXIe-1065:*

1.- Para utilizar el equipo PXIe-1065, debe tener el cable CH-68 conector 0, el bloque BNC-2120, un microfono, un generador de funciones, 1 cable BNC/plug-hembra y 1

cable BNC/BNC para las conexiones. Las siguientes imágenes muestran las conexiones y pasos a realizar:

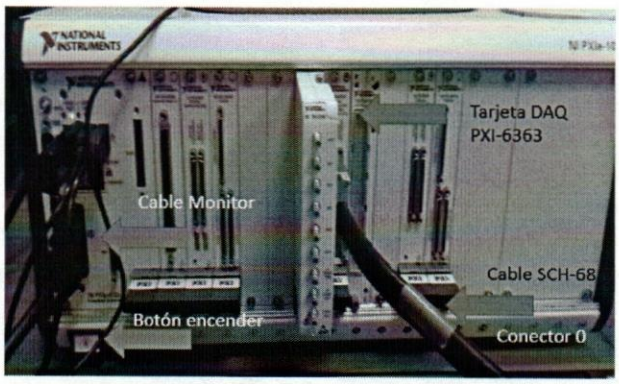


**Figura 49–Conexiones del equipo PXIe-1065.**

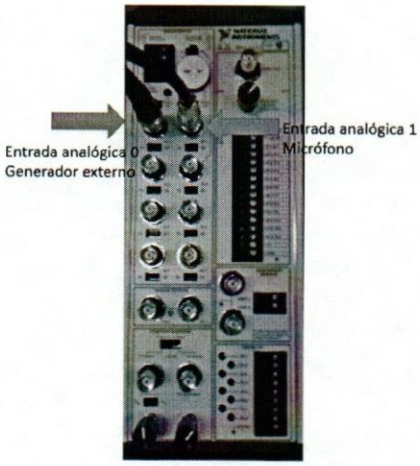


**Figura 50–Conexiones bloque BNC-2120del equipo PXIe-1065.**

2.- Al enceder el equipo debe buscar el programa LabVIEW y inicarlo. Los programas que debe utilizar son: DPCM_VOZ_REAL y DPCM_SENAL_REAL.

3.- Se ejecuta un servidor de Matlab, debe colocar en el command promt los siguientes comandos:

Start (luego enter y seleccionar la tecla 3)

Luego repetir :

Start (luego enter y seleccionar la tecla 4)

Esto con el fin de generar en Matlab los archivos necesarios dentro de la carpeta LABCOM para que funcionen corrrectamente los script que se encuentran en LabVIEW.

4.- Recuerde utilizar con precaucion el equipo.

5.- Una vez finalizada su uso, por favor desconecte las conexiones, y apague todos los equipos.