

## SISTEMA PCM PRIMER ORDEN (MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS)

José Ángel Pérez Rejón  
José Gabriel Réding Domínguez<sup>Ⓞ</sup>

Con mucha frecuencia en la actual tecnología de las comunicaciones, las señales analógicas muestreadas se digitalizan antes de ser transmitidas. Esto último determina que las señales digitales resultantes pueden entonces ser codificadas para su envío posterior.

Para lograr codificar las señales que han sido muestreadas y extraídas de una señal análoga, estas deben ser primeramente “medidas” o cuantizadas. El refinamiento adicional de cuantizar la señal análoga muestreada en cierto número de niveles discretos se hace en los sistemas PAM (Modulación por Amplitud de Pulsos) y es conocido como PAM M-ario; donde la M representa el número de niveles discretos o escalones empleados para la comparación de las muestras obtenidas. Para este caso no solo se cuantiza la señal, sino que se usa un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestreo. Este tipo de modulación es conocido como Modulación por Codificación de Pulsos (PCM).

La Modulación por Codificación de Pulsos también es conocida como Modulación por Pulsos Codificados (PCM). En los sistemas de primer orden, este se define como un método de conversión de la información, de forma analógica a forma digital y viceversa; multiplexando varias señales de canal telefónico en tiempo compartido (TDM: Multiplexación por División del Tiempo) a través de tres etapas principales, que son: muestreo, cuantificación y codificación; cabe hacer mención que existe una etapa primaria adicional conocida como filtrado y que ocasionalmente se da por entendida ya que filtra a la voz humana entre los límites de 300 Hz. a 3.4 KHz.

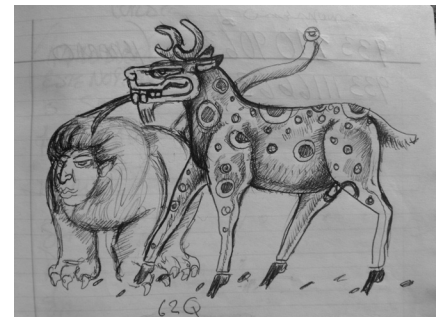
La multiplexación por división en el tiempo o TDM y nació debido al incremento en la demanda de los sistemas telegráficos, lo que provocó que se buscara la forma de aumentar el uso de las líneas existentes (multiplexándolas), es decir, tomar muestras de varios canales telegráficos y multicanalizarlos por una sola línea, realizando el proceso inverso en el extremo receptor. Lo anterior trajo consigo el aumento de señales enviadas a través de un solo canal de comunicaciones, lo que llevó al manejo de nuevas tecnologías para la administración de las mismas.

Esto tuvo gran éxito debido al ahorro en canalización, materiales y simplificación del mantenimiento; los precursores de estas teorías fueron J.M. Baudot en 1853, continuando con Nyquist y Hartley que prosiguieron con estos estudios; pero fue hasta 1936 cuando A.H. Reeves obtuvo el primer registro de una patente de un rudimentario sistema PCM.

Inicialmente se aprovechó el cableado físico existente únicamente con la condición de eliminar las bobinas de pupinización (o bobinas de Pupin) y colocando regeneradores aproximadamente cada dos kilómetros.

Los sistemas PCM han tenido gran éxito demostrando su confiabilidad y viabilidad económica. Sus aplicaciones en la transmisión telefónica han aumentado, pero también se emplea en la conmutación telefónica, codificación de señales de TV, sistemas de transmisión de datos digitales y otros campos más.

Las redes telefónicas tradicionales tienen circuitos conectados entre ellas, llamados troncales. Antes de que se utilizara el PCM, por ejemplo, si una central telefónica de conmutación A requería 100 troncales para enlazarse con la central B, se tenían que colocar 300 pares físicos de cable (normalmente de cobre), con los problemas de canalización aunados a esto, la baja calidad en la transmisión, interferencias, inducciones, diafonía, etc. Pero con los



<sup>Ⓞ</sup> Docentes de la Dependencia Área Ciencia de la Información en la Universidad Autónoma del Carmen.

circuitos PCM ahora solo necesitamos dos pares (uno para transmisión y otro para recepción) para poder manejar hasta 30 llamadas (sistema de primer orden) más dos canales de señalización.

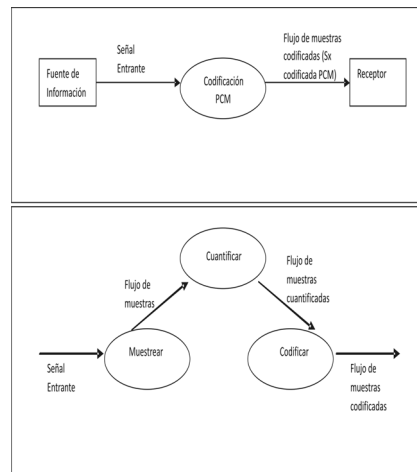
Existen muchas ventajas en la utilización de los sistemas PCM, como son:

- Las señales pueden regenerarse o rearmarse periódicamente durante la transmisión (estaciones repetidoras), puesto que la información ya no se encuentra contenida en la amplitud continuamente variable de los pulsos, sino que consiste en símbolos discretos. Ventaja para los enlaces de larga distancia. Esto se logra colocando equipos “espalda con espalda” (back to back), mismos que presentan la característica principal de filtrar, regenerar e incrementar la potencia a la señal transmitida.
- Toda clase de circuitos digitales puede emplearse durante la totalidad del procesamiento, lo que provee de un mayor grado de fiabilidad.
- Puede emplearse un código eficiente para la reducción de repeticiones innecesarias (redundancia) en los mensajes.
- Las señales pueden ser procesadas digitalmente (PCM de alto orden) según la conveniencia.
- Las señales pueden almacenarse y escalarse en el tiempo eficientemente, empleando memorias digitales para tal propósito.
- El ruido y la interferencia pueden ser apropiadamente minimizados mediante la aplicación de códigos.

Es lógico pensar que el diseñador de sistemas de comunicación tiene mayor flexibilidad en el análisis de un sistema PCM para satisfacer determinados criterios de funcionamiento, pero debe de ser considerado que la complejidad del sistema es mayor que en otros, donde se emplean métodos de modulación diferentes.

Una central digital puede tener troncales digitales o troncales analógicas, las primeras incluyen grupos de 30 dispositivos o repetidores de salida o de entrada que se incluyen en los sistemas PCM.

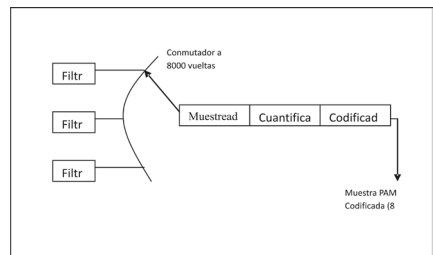
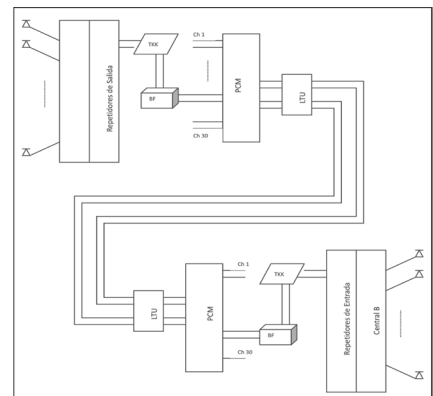
Existen sistemas PCM de altos órdenes, mismos pueden cumplir con la norma Europea y multiplexan señales en un múltiplo de cuatro, es decir, para un segundo orden se toman 4 señales de 2.048 Mbps y se multiplexan, obteniendo una señal compleja de aproximadamente 8 Mbps y así en forma sucesiva.



Como hemos mencionado, al presentarse una creciente demanda en las comunicaciones de voz y datos, se tuvo la necesidad de aumentar los servicios de los sistemas PCM, por lo que como convención para la empresa Telefónica en nuestro país, se adoptó la filosofía de nombrar a los sistemas de primer orden con dos letras que representaban a la central origen seguidas de un guión, y dos letras para la central destino, finalizando con un número consecutivo que indicaba el número de sistemas PCM instalados en esa dirección.

Esta nomenclatura es exclusiva de la empresa en cuestión, pero también se tuvo que incrementar la velocidad en la transmisión y por supuesto el número de canales que se manejaban en un enlace, por lo que se emplearon los llamados Altos Ordenes, que no son otra cosa sino la multiplexación (en múltiplos de 4, según la norma europea) de señales mux compuestas.

Vale la pena aclarar que al hablar de señales de canal telefónico es necesario entender que deben ser filtradas previamente estas señales para que se mantengan dentro del ancho de banda estándar de un canal telefónico, que es de 300 a 3.4 KHz.



**Muestreo**

Es el proceso por medio del cual se obtienen pulsos periódicos cuyas amplitudes son las muestras de una onda continua. El periodo o intervalo de repetición de dichos pulsos está regido por el teorema de Nyquist, mismo que dicta: “Una señal continua que no contenga señales mayores a W Hz, está completamente determinada por muestras de la señal tomadas a intervalos de 1/(2W) segundos”. Este mismo teorema, expresado en términos de frecuencias, establece que la frecuencia de muestreo (fs) debe ser mayor o igual al doble de la frecuencia máxima de la señal muestreada (B).

Como se ha mencionado, el ancho de banda de un canal telefónico es de 300 a 3400 Hz, sin embargo, es recomendable tener un margen y considerar un ancho de banda de 4000 Hz, así tendríamos:

$$f_s \geq 2B \quad f_s \geq 2(4000) \quad f_s \geq 8000 \text{ Hz}$$

y por consiguiente cada muestra de cada canal tendrá un distanciamiento en tiempo de:

$$T = 1/(8000) = 125 \text{ microsegundos}$$

Una vez muestreada la señal se obtiene una muestra PAM. En los intervalos de tiempo donde no existe una señal PAM

se insertarán los pulsos PAM producto de otra señal muestreada. Para esto, los muestreadores, tanto del transmisor como del receptor, deben estar sincronizados.

### Cuantificación

Es un proceso donde se aproximan los valores de las señales PAM originales a un número finito de niveles discretos de amplitud definida previamente.

El proceso de conversión Analógico Digital (A/D) o de cuantización se refiere a que un pulso puede tener un número discreto de niveles de amplitud. Con el número de niveles especificado (generalmente una potencia de 2) existe un número de conversión entre el pulso multinivel simple y el conjunto equivalente de pulsos a dos niveles o binarios. Específicamente un pulso de  $M = 2^n$  niveles se representa por  $n$  pulsos binarios. Generalizando a los símbolos, uno de estos multivaluados que tiene  $M = 2^n$  posibles valores se representa por medio de  $n$  símbolos binarios.

Cada símbolo puede ser codificado en forma única  $n = \log_2 M$  bits. La transmisión de símbolos  $M$  – valuados, uno a la vez, se conoce como transmisión  $M$  – aria. Si el símbolo es una de  $M = 2^n$  posibilidades que podrían ser transmitidos en un intervalo específico, representa  $n = \log_2 M$  bits de información. Cambiando a bits multivaluados es posible incrementar la velocidad de bits por un canal de ancho de banda fijo.

Ejemplo: Convertir de binaria a  $M$  – aria con  $n = 3$  y  $M = 8$  la secuencia: 010111001

$N = 3$  bits (grupos de 3 bits cada uno)

$M = \text{antilog } 0.9031 \quad M = 8$  niveles

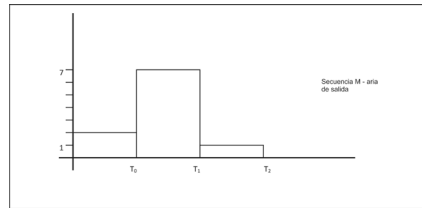
Como se puede observar, el número de niveles de cuantización  $M$  está estrechamente relacionado con el número de bits  $n$  que son necesarios para codificar una señal. En el caso de un sistema PCM de primer orden se usan 8 bits para codificar cada muestra. Obteniéndose la relación siguiente:

$$M = 2^8$$

$$M = 256 \text{ niveles}$$

Lo que indica que son necesarios 256 niveles de cuantización, pero debemos hacer hincapié en que no es recomendable que esos niveles de voltaje o escalones de referencia tengan el mismo tamaño. Imaginemos que

cuando se presente una muestra PAM muy pequeña, al compararse con un escalón o nivel demasiado grande, se tendrá que aproximar a cero o a un valor muy distinto del original. Esta condición generará una anomalía en los cálculos y por tanto una discrepancia en la información transmitida, es decir, podría provocar un error.



Al producirse el proceso de aproximaciones o comparación contra los niveles o escalones mencionado antes, se produce una cierta alteración de la información representada por la diferencia existente entre la amplitud de la muestra y la amplitud del nivel de decisión que se le designa. A este fenómeno se le llama ruido, error o distorsión de cuantificación, misma que debe ser “aceptable” para no ser considerada como un error.

Este ruido no es lineal, sino que es mayor para las amplitudes pequeñas de las muestras y despreciable para las amplitudes mayores, debido a la diversidad de “tamaños de los escalones” contra los que se compara la muestra. Para compensar esto, se aplica una cuantificación no lineal, lo que significa que a las amplitudes pequeñas se les compara con niveles pequeños y a las muestras grandes se les compara con niveles o escalones grandes.

El ruido de cuantización puede reducirse hasta cualquier grado que se desee, escogiendo los pasos de cuantización o niveles, pero se presenta un problema, cuanto mayor es el número de pasos cuánticos empleados, tanto mayor es el número de dígitos binarios o bits que se necesitan para representar la señal muestreada, y por lo tanto el ancho de banda necesario para la transmisión será también mayor. Se eligen entonces normalmente tan pocos niveles como sea posible para

mantener la consistencia con los objetivos de la transmisión.

### Codificación

En nuestro caso, codificar es asignar un código binario (en palabras de 8 bits) a cada una de las muestras PAM cuantizadas, dependiendo de a cual de los 256 niveles se haya aproximado la muestra.

Para clarificar nuestro concepto, analicemos un ejemplo:  $B = 11011100$ , donde el primer bit representa la polaridad de la muestra, es decir si el primer bit es 1 entonces nuestra muestra es positiva y si el 0 entonces es negativa.

Los siguientes tres bits nos indican el segmento a que pertenece la muestra. En nuestro ejemplo el segmento es el cinco (101).

Por último, los siguientes cuatro dígitos nos indican el nivel relativo en que quedó la muestra, es decir, en cual de los 16 sub niveles cayó nuestra muestra. Esto es aplicando la ley de los 13 segmentos.

Finalmente, los sistemas PCM primer orden son utilizados para optimizar el uso de un canal simple, explotando al máximo el ancho de banda con el que se cuenta y logrando que las señales sean transmitidas en forma conjunta, es decir multiplexadas.

Los sistemas PCM de primer orden son el origen de un escalamiento formal y forzado a lograr altos órdenes, con lo que se incrementa la velocidad de transmisión y la posibilidad de enviar grandes cantidades de información (datos) utilizando medios de comunicación cada vez más simples. Actualmente el manejo de la Fibra Óptica se ha convertido en un de estos medios necesarios para la transmisión a grandes velocidades, pero se han generado nuevos problemas, tal es el caso del jitter.

### Bibliografía

- DEGEM, *Teoría y Práctica moderna de las Comunicaciones Digitales*. Digicom
- Intelmex, *Manual de Capacitación PCM primer Orden y Altos Ordenes*. 1999
- Schwartz, Mischa, *Transmisión de Información, Modulación y Ruido*. Mc Graw Hill
- Stremler, Ferrel G., *Sistemas de Comunicación*. Alfaomega