

Informe Técnico
del IAR N° 31

Propuesta para desarrollar un
autocorrelador en el IAR.

por

E.M. Arnal y E.M. Filloy

OCTUBRE 1982

Interés CientíficoI.1.- Introducción.

Es una constante dentro de la astronomía observacional, que nuevas líneas de investigación pueden ser atacadas a medida que se introducen mejoras tecnológicas en los instrumentos de observación. En el caso específico del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) dichas mejoras pueden ser logradas por medio de:

- i) un incremento de la resolución angular del radiotelescopio.
- ii) una modernización del back-end. Esto implica disponer de diversas resoluciones en velocidad (o frecuencia), a los efectos de analizar la señal de interés con el muestreo en velocidad apropiado.

El punto i) si bien no es el objetivo específico de la presente comunicación merece algunos comentarios. Con la antena del IAR sería posible realizar observaciones en frecuencias de hasta 5 ó 6 GHz. A esas frecuencias la resolución angular del telescopio sería de unos 10' de arco y, se podrían llevar a cabo observaciones de la transición $1_{10} \rightarrow 1_{11}$ ortoformaldeído (≈ 4830 MHz); de líneas de recombinación ($H109\alpha$, ≈ 5000 MHz); de algunas líneas provenientes de estados excitados del OH (6080 MHz) y del continuo alrededor de 6 cm. A las transiciones mencionadas deben sumarse la línea de 21 cm del hidrógeno neutro, y el cuarteto de líneas del radical oxidrilo (1620 a 1710 MHz), que son observables con el radiotelescopio actual. La posibilidad de realizar observaciones alrededor de 6 cm, abriría de por sí nuevas posibilidades de investigación.

En lo que sigue nos ocuparemos del punto ii), con algún detalle.

La necesidad de mejorar el back-end es una consecuencia lógica de la respuesta a la pregunta: ¿Qué se podría lograr teniendo un back-end mejor, que no se pueda lograr con el actual?

La respuesta a tal pregunta (que podríamos llamar la justificación científica del punto ii)) no se agota en lo que sigue, ya que los puntos que a continuación serán mencionados sólo contemplan las

ideas de algunos investigadores (R. Morras y E.M. Arnal) del IAR.

I.2.- Bancos multicanales del IAR.

Al presente el back-end del receptor del IAR, se encuentra formado por tres bancos de filtros multicanales que poseen características disímiles. Dos de los mismos, los llamados bancos de filtros angostos y de cristal, poseen 112 y 23 filtros (o canales) respectivamente. Los anchos de banda ^otatales cubiertos por los mismos son 1.12 y 0.072 MHz, respectivamente. En la Tabla I se resumen las características de los bancos mencionados para tres frecuencias: 1420 MHz (HI); 1667 MHz (OH) y 4830 (H₂CO).

Los números que figuran entre paréntesis en la Tabla I se refieren al banco de filtros de cristal.

I.3.- Planes de investigación de difícil realización con los bancos de filtros actuales.

- i) El Dr. R. Morras desearía en un futuro cercano, iniciar estudios de la estructura fina (en velocidad) de las nubes de alta velocidad que se detectan en la línea de 21-cm. Los requerimientos observacionales de tal proyecto son:
 - a) Una resolución en velocidad superior al km s^{-1} .
 - b) Que el perfil resultante posea un número suficiente de canales que están libres de la radiación de línea.

Típicamente, los perfiles en 21-cm de nubes de alta velocidad poseen anchos en velocidad, a potencia mitad, de unos 20 a 25 km s^{-1} . Compatibilizar los bancos de filtros actualmente existentes con los requerimientos a) y b), implica expandir el banco de filtros de cristal. Para abarcar un rango de 100 km s^{-1} en velocidad, se necesitarían unos 160 filtros, o sea que, para este proyecto sería necesario una septuplicación del banco de filtros de cristal actualmente disponible.

- ii) Observar la autoabsorción en la línea de 21-cm. De un análisis llevado a cabo por Knapp (1974) en más de 30 nubes moleculares, se conoce que las líneas de autoabsorción del

hidrógeno neutro, poseen un ancho mitad en velocidad del orden de 1.8 km s^{-1} , (8.5 kHz a 21 cm). Es obvio que los filtros de cristal no suministran un muestreo apropiado (en velocidad) de la autoabsorción. Esto se podría subsanar contando con un banco de filtros cuya resolución fuese del orden de $0.3 - 0.2 \text{ km s}^{-1}$. Esto implica construir un nuevo banco de filtros.

iii) OH en nubes moleculares. Estas transiciones moleculares son sumamente angostas cuando se originan en nubes moleculares. En la literatura astronómica se encuentra que los anchos en velocidad típicos son del orden de 1.2 km s^{-1} , (6.7 kHz a 1667 Mhz). Lo mencionado en el punto ii) es igualmente aplicable acá. La solución es nuevamente la misma o sea, la creación de un nuevo banco de filtros.

iv) Observaciones de H₂CO.

En un estudio llevado a cabo por Goss et al. (1981) en la dirección de 50 nubes oscuras, se encontró que el ancho de los perfiles de absorción son del orden de $1 - 1.1 \text{ km s}^{-1}$ ($\approx 17.0 \text{ KHz}$ a 4830 Mhz).

Cabe mencionar que la línea de 6 cm del formaldeído no es en realidad una transición simple, sino la mezcla de seis (6) transiciones hiperfinas, una de las cuales ($F=1 \rightarrow 0$) se encuentra a aproximadamente 18.5 kHz de la componente principal ($F=2 \rightarrow 2$). La detección de la transición $F=1 \rightarrow 0$, requiere (además de una buena sensibilidad) una alta resolución en velocidad.

De la Tabla I se desprende que si bien los filtros de cristal suministran la resolución en velocidad adecuada ($\approx 0.2 \text{ km s}^{-1}$); el cubrimiento total en velocidad es pobre (apenas 4.4 km s^{-1}). La solución a esta limitación es la expansión del mencionado banco. Para observaciones de las líneas del H₂CO proveniente de nubes de polvo sin regiones HII asociadas, una triplicación (en número) del banco existente sería suficiente.

- v) El estudio de líneas de recombinación que se originan en el medio interestelar parcialmente ionizado, es un problema que no puede ser atacado en la actualidad. Las mismas se encuentran "montadas" en líneas de recombinación anchas que se originan en las regiones HII. Por lo tanto se estudio requiere una combinación de alta resolución en velocidad (1 km s^{-1}) y buena línea de base.
- vi) El análisis de líneas de recombinación de elementos pesados (C, He, etc) es también un área de interés. Estas líneas poseen anchos en velocidad, a potencia mitad, del orden de $6 \text{ a } 8 \text{ km s}^{-1}$. Es muy difícil observarlas con los bancos de filtros actualmente disponibles, pues no se tiene el muestreo en velocidad apropiado.
- vii) C. Martín y N. Loiseau, han mencionado que algunas veces el banco de filtros anchos no suministra un cubrimiento en velocidad adecuado para sus investigaciones en galaxias. Cubrimientos en velocidad del orden de 2000 km s^{-1} fueron mencionados.

I.4.- Conclusiones

De lo expuesto, se puede deducir que de poseerse la resolución en velocidad adecuada, nuevas líneas de investigación serían factibles en el IAR. Se emplea la palabra factible, pues el solo hecho de poseer una mayor resolución en velocidad no es garantía de la detección de líneas como las mencionadas en los puntos iv), v), vi). En tales observaciones los efectos geométricos pueden jugar un rol preponderante.

Es obvio que las líneas de investigación mencionadas en el punto I.3, implican en algunos casos la expansión de los bancos de filtros ya existentes, y en otros, la construcción de bancos nuevos. Si bien la expansión de los bancos de filtros puede ser llevada a cabo, la proliferación de los mismos no es aconsejable. En esto último incide el costo que significaría la expansión o construcción de un nue-

(5)

vo banco de filtros y el espacio físico que el mismo ocuparía en la Sala de Control.

Cualquier proyecto nuevo, cuyas necesidades de muestreo y resolución en velocidad no fuesen satisfechos por los bancos de filtros existentes, tendría que aguardar la construcción del banco de filtros adecuado o ser definitivamente olvidado. Esta última alternativa limitaría seriamente las posibilidades futuras de investigación en el IAR.

No obstante, existe, la posibilidad de tener un back-end que contemple las tres facetas en juego: flexibilización de los anchos de banda a cubrir, resolución en velocidad variable, y la no multiplicación de los bancos de filtros analógicos. Dicha posibilidad es la de un autocorrelador. La complejidad de los autocorreladores es variada (la misma depende principalmente del máximo ancho de banda requerido y del número de estados (o bits) que se usan para cuantificar la señal muestreada). A los efectos de adquirir experiencia valiosísima en este tipo de técnicas, se propone encarar en el IAR la construcción de un tipo sencillo de autocorrelador. El mismo sería de 1 bit, tendría un ancho de banda máximo de 10 MHz y un máximo de 128 "canales".

Las características de las distintas combinaciones que el autocorrelador permitiría, se encuentran resumidas en la Tabla II. En la misma la resolución en velocidad fue calculada tomando una función de peso rectangular para la función de autocorrelación. La resolución en velocidad puede ser cambiada alterando dicha función de peso.

Dicho espectrómetro explota la precisión y estabilidad que poseen las técnicas digitales en el análisis espectral. Dentro de las limitaciones impuestas por la lógica digital disponible, el autocorrelador es preferible a los bancos de filtros multicanales. A su probada superioridad con respecto a los sistemas multicanales para tiempo de integración largos, debemos sumarle el hecho de que se puede variar la resolución espectral simplemente através de un cambio de la frecuencia de muestreo. Esto hace que un solo autocorrelador sea equivalente a varios bancos de filtros multicanales.

Interes técnico.

La técnica de correlación (autocorrelación y correlación cruzada) ha tenido, en los últimos años, un considerable incremento en su utilización. Numerosos equipos comerciales han adoptado el sistema para el análisis espectral de fenómenos que van del estudio dinámico de rodamientos, a la recuperación y análisis de información de señales bioeléctricas y acústicas. La característica común a todos estos problemas es su relativa baja velocidad, dando lugar al empleo de correladores analógicos (Princeton Applied Research, Hewlett Packard) y correladores digitales (NICOLET, Gould). Los correladores necesarios para radioastronomía deben cubrir anchos de banda significativamente mayores (varios MHz), y deben trabajar sobre señales minúsculas fuertemente enmascaradas en ruido. Son numerosos los ejemplos de receptores de correlación analógica que han sido construidos. Sin embargo, la necesidad del análisis en diferentes anchos de banda y resoluciones del espectro de señal, condujo al desarrollo, mediante técnicas digitales, de analizadores espectrales con número de canales entre 30 y 1024. Estos analizadores se basan en la obtención del espectro de potencia de la señal mediante la Transformada de Fourier de la función de autocorrelación de la señal a analizar.

↳ Dada la importancia ya mencionada en las consideraciones desde el punto de vista científico, y lo interesante instrumentalmente, se propone el desarrollo en el IAR de un Analizador Digital de moderadas características (128 canales y 10 MHz de frecuencia de muestreo) que junto a una microcomputadora en línea, pueda abordar un conjunto de problemas de suficiente interés como los mencionados. Esto servirá de experiencia introductoria al eventual desarrollo de autocorreladores y crosscorreladores de mayor número de canales con posibilidad de ser utilizados como espectrómetro en el Interferómetro del IAR.

Sistema Propuesto.

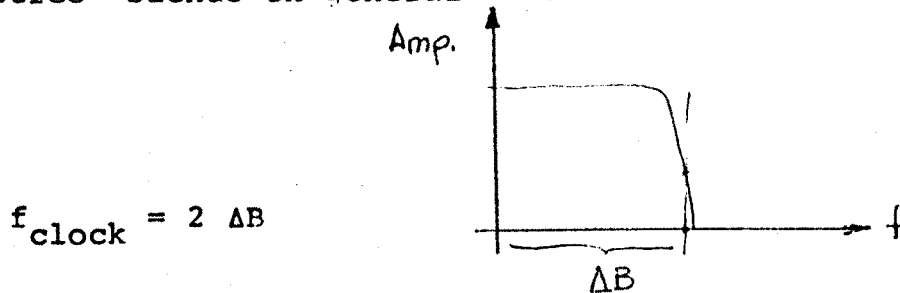
En la figura 1 se encuentra esbozado el diagrama en block del

autocorrelador propuesto.

El correlador hace uso del circuito integrado TDC 1023 de T.R.W. Este circuito integrado es un correlador digital diseñado para propósitos diversos y que eventualmente puede ser utilizado como correlador paralelo para señales de 2 niveles como los digitales. En un "correlador de 1 bit" la señal procedente de un amplificador de video de ancho de banda ΔB es primero comparada con nivel "0" y muestreada de forma que la salida sea la "representación de 1 bit" de la señal de entrada. Se puede demostrar que en la función de autocorrelación resultante sólo recobra un 64% de la información originalmente presente. Esta pérdida de información es compensada por la relativa sencillez de la correlación de 1 bit. Se han construido correladores de 2 y 3 bits (4 y 8 niveles de comparación) aumentando la complejidad electrónica sustancialmente.

Descripción del Diagrama Block.

La selección de los filtros que definen el ancho de banda ΔB deben estar de acuerdo con la frecuencia de CLCK a la cual se produce el "muestreo" siendo en general



donde ΔB es el ancho de banda de video. Por lo tanto el comando proveniente de la CPU definiendo la f_{clock} también selección el filtro adecuado. El comparador obtiene de la señal $x(t)$ la $y(t)$, que solamente define el signo. El muestreo obtiene el valor de $y(t)$ en el instante de la muestra dando origen a la representación de 1 bit (fig. 2). Esta función será eventualmente realizada por un CI N8T20. Esta señal se introduce en el registro A y en el registro B el TDC1023J desplazándose a través del registro con el CLOCK común a ambos y que es el mismo del muestreo. Cargados ambos registros se transfiere el contenido del registro B en el Registro de Referencia R, seguidamente se produce la primera adición de los

128 productos para $\Delta Z = 0$ los cuales son sumados y guiados por el multiplexer al acumulador que corresponde al canal 0. Cuando llega el nuevo pulso de CLOCK los datos se desplazan en los registros A y B quedando R fijo; el nuevo resultado de los productos serán acumulados, multiplexer mediante, en el sumador-acumulador del canal 1 para retardo $\Delta Z = T_{\text{clock}}$. Luego de 128 desplazamientos ya habrán sido registrados los productos hasta $\Delta Z = 127 T_{\text{clock}}$, el pulso subsiguiente debe cargar el contenido del registro B en R y comenzar el ciclo nuevamente para lo cual los productos en ese instante corresponderán a una nueva medida para $\Delta Z = 0$. y por lo tanto deben ser sumados al contenido del acumulador del canal 0 y además el acumulador debe retener el resultado de dicha suma. Lo propio se realizaran para $\Delta Z = 1 \dots \dots \dots 127$.

Los acumuladores serán de 7 bits (en principio) y el "overflow" será detectado y transferido a contadores subsiguientes. La detección de un "overflow" se realizará mediante un circuito de interrogación que comparará con el estado anterior almacenado en el primer FLIP-FLOP del contador: si son distintos indica que un cambio se realizó y por lo tanto se contabilizará un pulso. Se hace notar que aquí se pierden los primeros 7 bits en la precisión final del conteo. La acumulación de pulsos de overflow se realiza para cada canal independientemente y al cabo del tiempo de integración elegido, el estado de los contadores se envía a la memoria.

Para obtener de esta forma la función de correlación, deben sumarse las coincidencias (que es lo realizado) y deben restarse las no coincidencias. En el canal "0" las coincidencias son totales por lo tanto tendremos el máximo posible de ser acumulado: sea este número N_t ; si el número acumulado para un canal cualquiera es N_+ será;

$N_- = N_t - N_+$ (n^2 de no coincidencias) la correlación para ese canal será $N_+ - (N_t - N_+) = 2 N_+ - N_t$

Una vez alcanzado el tiempo de integración deseado y establecido por programa, los datos acumulados en los 128 canales serán transferidos a la microcomputadora. Esta computará la Transformada

(9)

de FOURIER mientras que la memoria primitiva, luego de ser puesta a cero, queda habilitada para un nuevo proceso de integración que puede ser realizado simultáneamente con la Transformación de FOURIER de los datos previos.

Los periféricos necesarios que se preve~~n~~n son:

- a) Registro de Datos: Unidad de cinta magnética.
- b) Monitor: Compuesto por un conversor D/A y un osciloscopio de baja frecuencia.
- c) Impresora: Para obtención de datos y listados en papel.
- d) Terminal de Video: Como consola principal.
- e) Unidad de almacenamiento de Programas.

(10)

Tabla I

	HI	OH	H ₂ CO
ΔV (km s ⁻¹)	2.0 (0.53)	≈ 1.8 (0.45)	0.62 (0.19)
Separación entre canales (km s ⁻¹)	2. (0.63)	≈ 1.8 (0.54)	0.62 (0.23)
Rango cubierto en velocidad (km s ⁻¹)	224 (=15)	≈ 190 (=13)	≈ 70 (=4.5)

(11)

Tabla II

(Sólo para 128 puntos en frecuencia)

Ancho de Banda (MHz)	Cubrimiento en velocidad (km s ⁻¹) (aprox.)	Resolución en velocidad (km s ⁻¹) (aprox.)
5	1060	20 10
2.5	530	10 5
1.25	265	5 2.5
0.625	133	2.5 1.25
0.3125	66	1.25 0.63
0.1563	33	0.63 0.31
0.0781	16.5	0.31 0.16

Nota: Las columnas dos y tres fueron calculadas para la línea de 21-cm del HI. Para obtener el cubrimiento y resolución en velocidad que correspondería a las líneas de OH (1667) y H₂CO (4830) los números de la segunda y tercera columna deben ser multiplicados por 0.85 y 0.29, respectivamente.

DIAGRAMA BLOCK

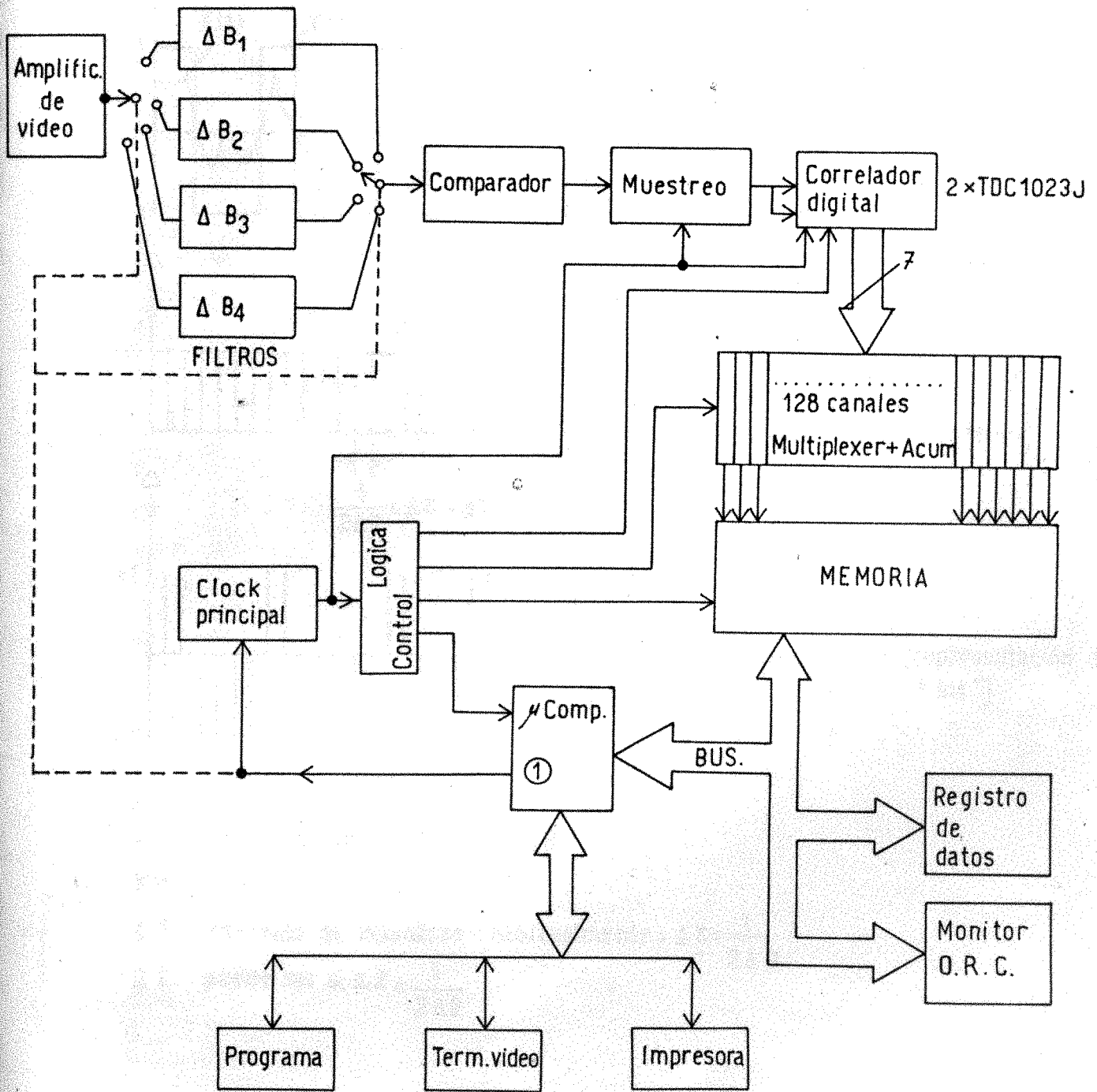
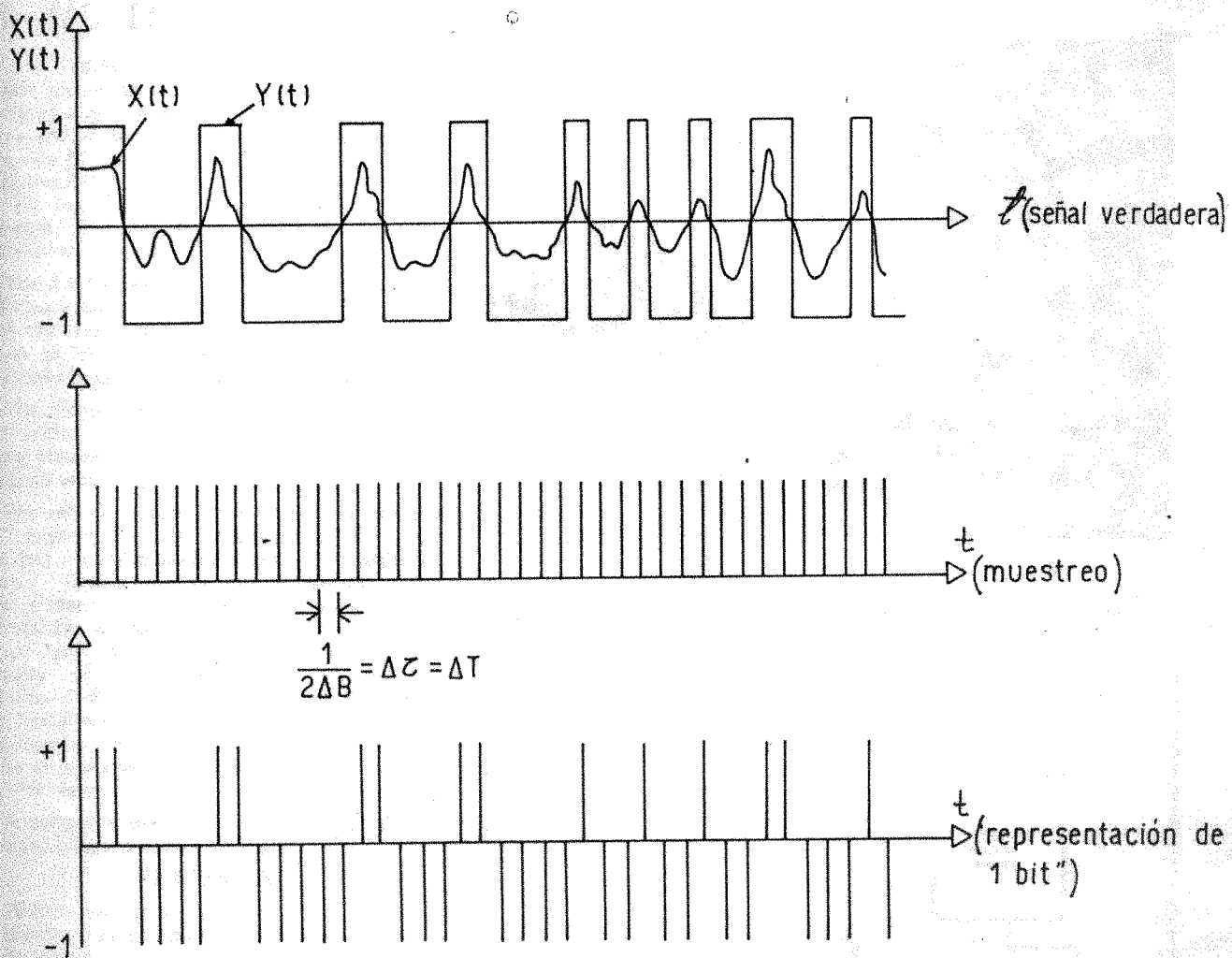


Fig. 1



$X(t)$ función dentro de un ancho ΔB

$Y(t)$ señal muestreada

ΔT intervalo de muestreo (habitualmente: $\Delta z = \frac{1}{2\Delta B}$)

Δt puede ser $\leq \Delta z = \frac{1}{2\Delta B}$

Fig. 2

81
TRW

DIGITAL OUTPUT CORRELATOR

64 BIT

PRELIMINARY INFORMATION

Model: TDC1023J

The TDC1023J is a 64 bit monolithic, all digital correlator with a seven bit three-state buffered digital output. This device consists of three 64 bit independently clocked shift registers, one 64 bit reference holding latch, which is exclusive-ORed with the "A" data register, and a 64 bit independently clocked digital summing network. The device is capable of a parallel correlation rate of 20 MHz.

The 7 bit threshold register allows the user to pre-load a binary number from 0 to 64. Whenever the total number of bits in agreement are equal to or greater than the number in the threshold register the threshold flag will go high.

The "mask" 64 bit shift register (M register) is provided to allow the user to mask or selectively choose "no compare" bit positions enabling total word length flexibility.

The reference word is serially shifted into the "B" register. Then by clocking the "R" latch, the data is parallel loaded into the "R" reference latch. This allows the user to serially load a new reference word into the "B" register while correlation is taking place between the "A" register and "R" latch. The two words are continually compared bit-for-bit by exclusive-OR circuits. Each exclusive-OR provides one bit to the digital summer. The output is a 7 bit word representing the sum of bit positions which agree at any one time between the "A" register and "R" latch.

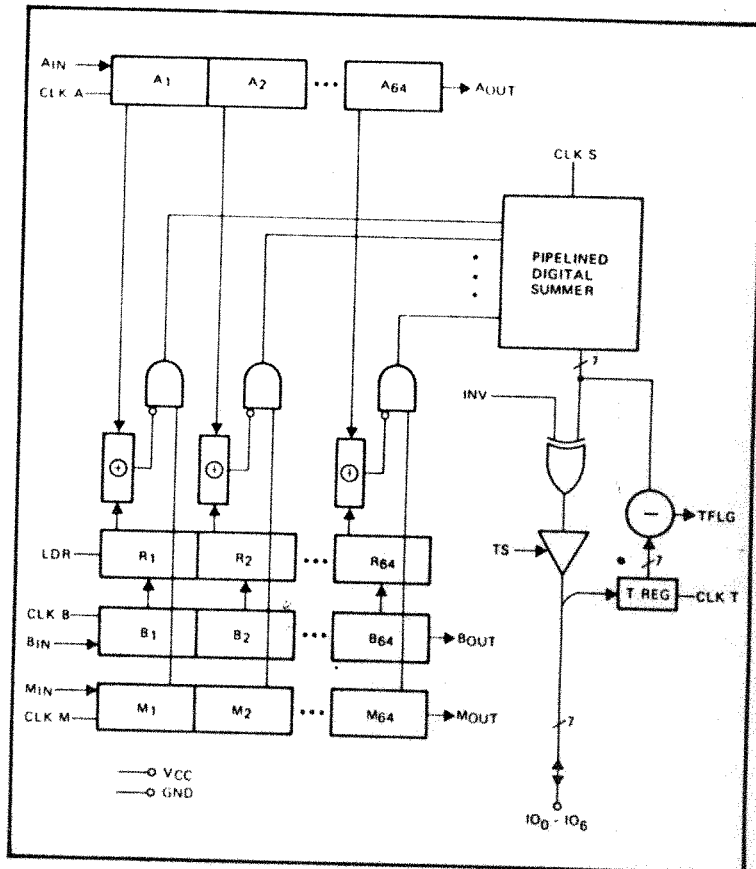
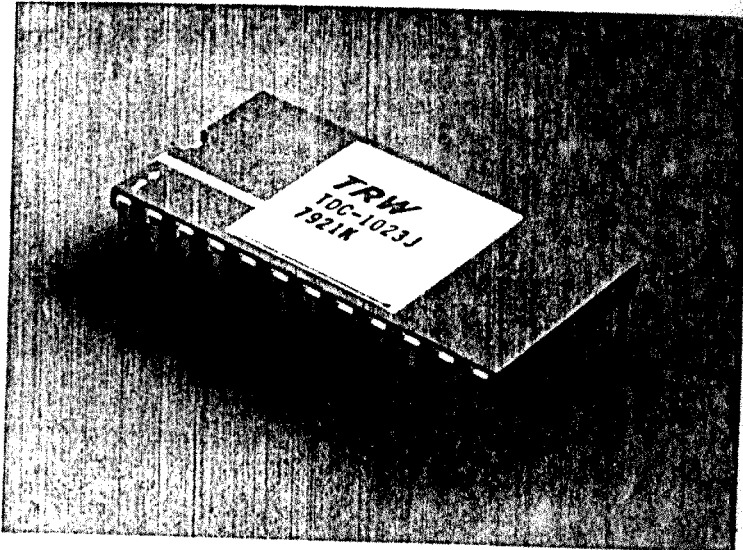
A control is provided to allow either true or inverted binary output formats.

FEATURES

- 20 MHz correlation rate
- Bipolar, TTL compatible
- All digital
- Single 5V supply
- Serial data input, parallel correlation output
- Word length flexibility: Mask
- Independently clocked registers
- Power dissipation: 900mW
- Package size: 24 pin DIP
- Output format flexibility
- Three-State outputs

APPLICATIONS

- Check sorting equipment
- High density recording
- Bar code identification
- Radar signature recognition
- Video frame synchronization
- Electro-optical navigation
- Pattern and character recognition
- Cross-correlation control systems
- Error correction coding



TRW DIGITAL OUTPUT CORRELATOR 64 BIT

TRW LSI PRODUCTS

THIKO S.A.

P.O. BOX 2472
LA JOLLA, CALIFORNIA 92038
(714) 578-5990

PERU 653-106 Capital
Tel. 30-4132-3396