

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

**Sistema Detector de Señales y Contador de
Áreas para Imágenes de un Microscopio
Electrónico de Barrido**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
F I S I C O
P R E S E N T A
Guillermo Valentín Medina Gándara



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES CON TODO MI CARÍÑO Y PROFUNDO AGRADECIMIENTO.

A LAURA.

A MIS HERMANOS

A LA FAMILIA CABRERA.

A G R A D E C I M I E N T O S

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a:

Raúl Espejel Paz y Enrique Cabrera Bravo, por la dirección de la presente tesis.

Roberto Toca Lazcano y Arturo Nogueira Jiménez, por sus constructivas sugerencias sobre el diseño electrónico de este aparato.

Al Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber facilitado el equipo y material necesario para la realización de este trabajo.

A los Investigadores y Profesores: Dr. Leonel Cota Araiza y Fís. Ma. Cristina Piña de Noyola, mi agradecimiento por sus atinadas críticas en este trabajo.

A Javier Moctezuma Briones, por su cooperación en la elaboración del prototipo.

A la Sra. Ernestina L. de Cabrera, por la elaboración más eficiente del original de este trabajo.

INDICE.

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
I.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO	5
I.2 OBTENCION DE CONTRASTE	8
I.3 SISTEMA PROCESADOR DE LA SEÑAL	9
I.4 FUNDAMENTOS DEL DETECTOR DE NIVELES DISEÑADO	11
I.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DETECTOR	13
I.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DETECTOR Y CONTADOR DE AREAS	14
CAPITULO II	
II.1 CIRCUITOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS VENTANAS DETECTORAS	18
II.2 EL INVERSOR LOGICO	25
II.3 REFERENCIAS PRECALIBRADAS	27
II.4 REFERENCIAS VARIABLES	29
CAPITULO III	
III.1 CIRCUITOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DEL CONTADOR DE AREAS	32
III.2 GENERADOR DE PULSOS	33
III.3 COMPUERTA COMPUESTA	34
III.4 DIVISOR PROGRAMABLE Y EL CONTADOR DECIMAL	38
III.5 FUENTES DE PODER REGULADAS	41

PAGINA

CAPITULO IV

IV.1 CONCLUSIONES Y RESULTADOS

44

IV.2 APLICACIONES FUTURAS

47

REFERENCIAS

49

INTRODUCCION

La óptica electrónica, en la cual se basan los Microscopios Electrónicos (tanto de Transmisión como de Barrido) y el Micro-analizador de Rayos X , esta fundamentada en tres descubrimientos:

- a) la prueba de la existencia de los electrones, por J.J. Thomson en 1897¹⁾;
- b) la hipótesis de la naturaleza ondulatoria de las partículas materiales, de L. de Broglie en 1923²⁾, y;
- c) la acción de lente de los campos eléctrico y magnético con simetría axial, sobre partículas cargadas, por H. Busch³⁾ en 1926. A partir de éstos descubrimientos es que E. Ruska y M. Knoll⁴⁾ en 1932 proponen el primer prototipo del Microscopio Convencional. Más adelante en 1935, M. Knoll⁵⁾ construye en Alemania el primer Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) . En la década de los cuarentas Dennis McMullan y C.W. Oatley⁶⁾ construyen un MEB, en la Universidad de Cambridge, que sirve de modelo para que en 1963 Cambridge Instruments Company produzca el primer MEB comercial .

La característica fundamental de estos microscopios es la formación de contrastes (o sea diferentes tonos de gris) producidos por la interacción de un fino haz electrónico, durante un barrido o rastreo sobre la muestra. La imagen se forma gracias a una técnica similar a la utilizada en televisión , solo que las velocidades de barrido (entre 2 y 1000 segundos por cuadro) son mucho menores que en la televisión comercial. Esto es debido al pequeño número de electrones provenientes de la interacción con

la muestra que deberán ser integrados (para la obtención de la información) mediante los preamplificadores y el amplificador de video .

Las características fundamentales de un MEB⁷⁾ son:

- a) la correspondencia biunívoca punto a punto entre la muestra y la imagen para un tiempo dado. Esta correspondencia punto a punto cubre a la región muestreada y la imagen en series en el tiempo mediante el barrido del haz electrónico . Por ésto es que la correspondencia de punto a punto en series en el espacio y en el tiempo es la base de la naturaleza y la característica del MEB;
- b) la apariencia tridimensional que se puede observar en la imagen;
- c) la posibilidad de variar continuamente la amplificación desde aproximadamente $20\times$ hasta incluso $200,000\times$;
- d) un poder de resolución, entre 200 y $50 \text{ \AA}$, con una profundidad de campo muy superior (300 veces) en comparación con los otros tipos de microscopios, y;
- e) el gran número de modos de observación posibles en este tipo de instrumento, topográfico, composicional, absorbido, de rayos x, transmitido y de fuerza electromotriz (FEM) .

En base a que la imagen está formada por el contraste, debido a la interacción del haz electrónico con la muestra, es que la interpretación de dicha imagen depende del poder diferenciador de los tonos de gris. En este trabajo se propone procesar electrónicamente la señal , en forma de voltajes, entre el preamplificador (fig.1,12) y el amplificador de video (fig. 1,13), con el fin de aislar diferentes tonos de gris.

La presentación de este trabajo se ha dividido en cuatro capítulos: el primero trata del funcionamiento del MEB, así como de los diagramas de flujo y de bloques del sistema electrónico propuesto; en el segundo, se tratan los circuitos y criterios de diseño del sistema detector; el tercero, analiza el contador de áreas, describiendo los circuitos y criterios de diseño del sistema; finalmente, en el cuarto capítulo, se presentan los resultados, conclusiones y aplicaciones futuras.

C A P I T U L O I

- I.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO.
- I.2 OBTENCION DE CONTRASTE.
- I.3 SISTEMA PROCESADOR DE LA SEÑAL.
- I.4 FUNDAMENTOS DEL DETECTOR DE NIVELES DISEÑADO.
- I.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DETECTOR.
- I.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DETECTOR Y CONTADOR DE AREAS.

I.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO.

El Microscopio de Barrido (fig.1) consta de:

- a) la columna al vacío con un cañón de electrones (cátodo emisor, rejilla reguladora y ánodo acelerador), las lentes electro magnéticas colimadoras del haz con sus aperturas intermedias correspondientes, las bobinas deflectoras para el barrido y las de corrección de astigmatismo y por último la apertura final;
- b) la cámara de muestras, con sus sistemas de movimiento y detectores de señal con sus respectivos preamplificadores, y;
- c) el amplificador lineal de video acoplado a un tubo de rayos catódicos (TRC), donde se observa la imagen . (El yugo de deflexión de este TRC funciona sincrónicamente con las bobinas deflectoras, de tal forma que a cada punto de la muestra le corresponde un solo punto en la pantalla conservando su posición relativa con los demás puntos de la imagen) .

El haz de electrones emitido por el filamento de tungsteno, es procesado optoelectrónicamente para obtener la menor sección posible antes de que interaccione con la muestra (con una energía E_0), ya que de esto depende la resolución del microscopio. (En el S-600 se cuenta con potenciales de aceleración E_0 , entre 1.5 y 25 KeV). De dicha interacción se produce, de acuerdo con las características de la muestra, reflexión, absorción y transmisión de electrones; así como emisión de rayos x característicos y fotoemisión⁷⁾. Al conjunto de electrones reflejados, cuya

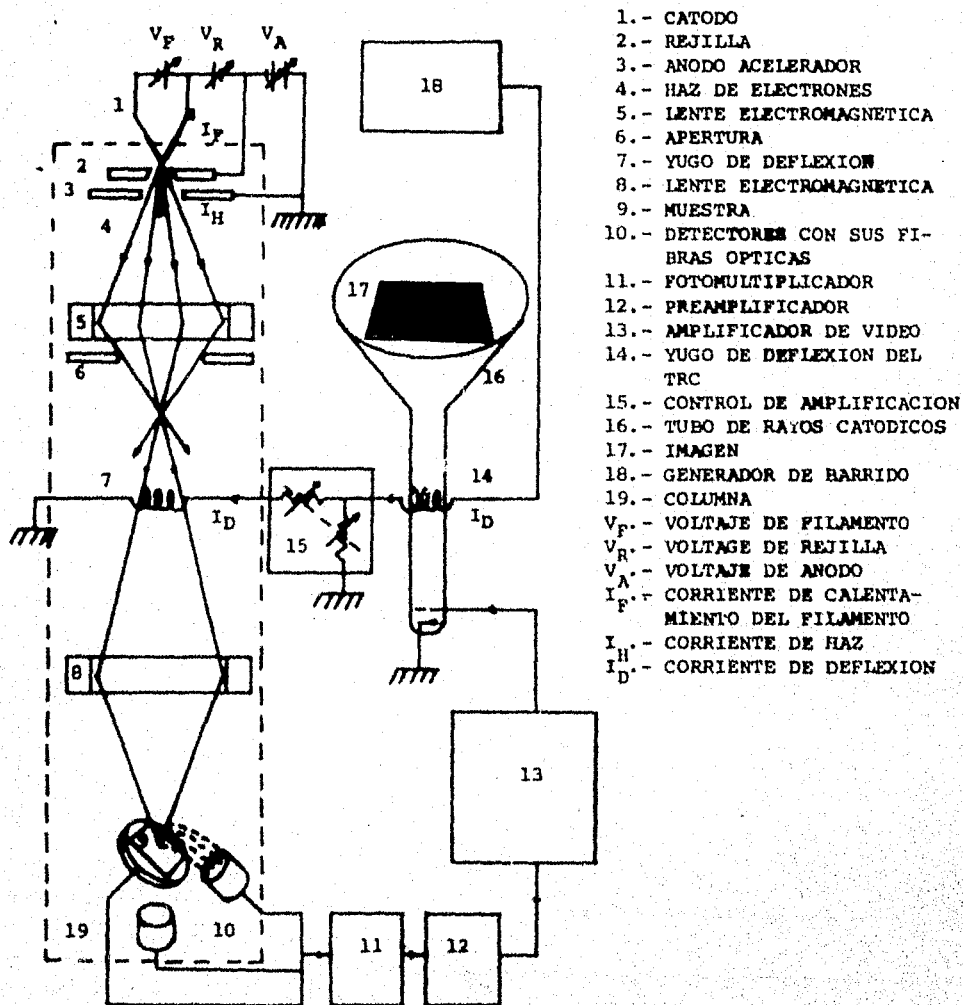


FIGURA 1. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MEB.

energía sea del orden de E_0 , se les conoce como electrones primarios o retrodispersados .

En el caso de que los electrones incidentes pierdan energía, produciendo emisión secundaria, se producen electrones reflejados con energías menores que 50 eV, y se les conoce como electrones secundarios . Parte de estos dos tipos de electrones son colectados por un detector o centellador colocado a un lado de la muestra. Para el caso de muestras muy delgadas se tienen electrones transmitidos, los cuales son detectados generalmente, por un centellador colocado bajo la muestra . Por último, los electrones que interactúan con la muestra y no tienen energía suficiente para salir de ella son conocidos como electrones absorbidos, y su detección es por medio de un convertidor de corriente a voltaje entre la muestra y tierra .

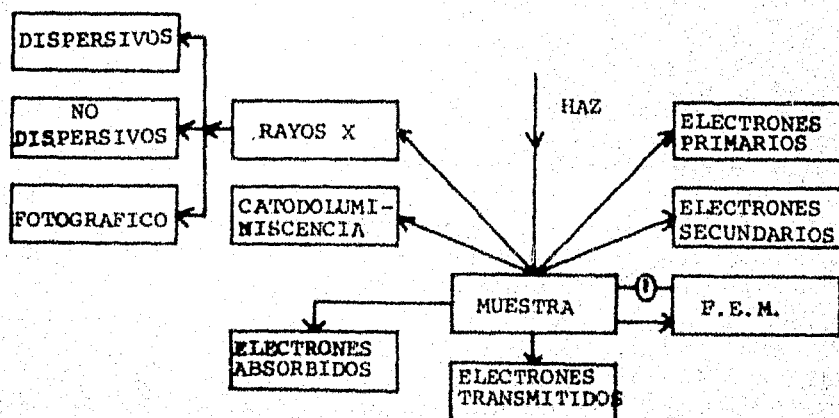


FIGURA 2. MODOS DE OPERACION DE UN MEB.

En la figura 2 se muestran esquemáticamente los diferentes modos de operación del microscopio, en función de las energías de los electrones colectados, así como las formas de observación con fuerza electromotriz, rayos x y cátodo y miniscencia.

I.2 OBTENCION DE CONTRASTE.

En el modo de operación de electrones primarios, la recolección se realiza mediante un centellador, frente al cual se establece una diferencia de potencial negativa del orden de 200 v, con el fin de repeler a los electrones secundarios. La energía de los electrones primarios es tal que, su trayectoria no sufre desviaciones y el efecto resultante es como si la muestra estuviera iluminada desde el propio detector (fig. 3a) . El número de electrones primarios generados depende principalmente del número atómico de la muestra⁸⁾ por lo que la imagen así formada se llama composicional .

En el modo de electrones secundarios, frente al centellador se coloca una diferencia de potencial positiva del orden de 200 v, con lo cual se altera la trayectoria de dichos electrones hacia el centellador causando un efecto, como si la muestra fuera iluminada desde todos los ángulos. El contraste en este modo de operación depende del número de electrones que se generen por cada electron incidente⁹⁾ y la

imagen así obtenida es topográfica (fig. 3b).

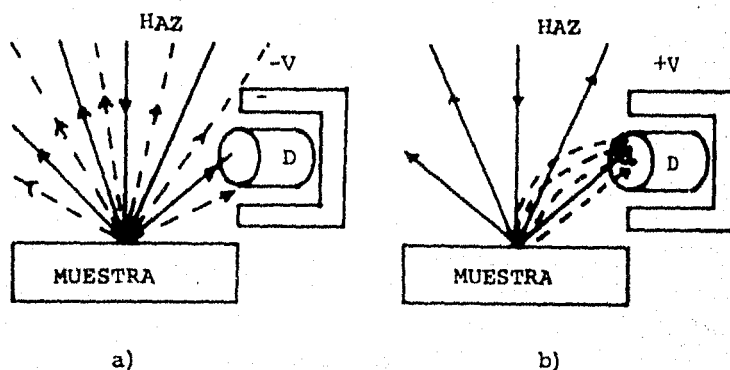


FIGURA 3 a) IMAGEN CON ELECTRONES PRIMARIOS

b) IMAGEN CON ELECTRONES SECUNDARIOS

I.3 SISTEMA PROCESADOR DE LA SEÑAL .

Los electrones incidentes en el centellador producen fotones los cuales son transmitidos, a través de una fibra óptica fuera del vacío hacia el fotomultiplicador. En el cátodo del fotomultiplicador se generan fotoelectrones, que al incidir con los dinodos se multiplican por emisión secundaria, formando un torrente de electrones. Dicho torrente pasa a formar la señal que nos entrega el fotomultiplicador, que es del orden de 10^{-4} amperes¹⁰⁾ y debido a que es de bajo nivel y alta impedancia, es muy susceptible de captar ruido, lo que hace necesario colocar inmediatamente después un preamplificador que nos entregue una señal de fácil mane

jo y sin captación de ruido. Finalmente la señal es procesada por un amplificador lineal de video, cuya función es la de modular la intensidad del brillo de la imagen sobre la pantalla del TRC .

En los microscopios de barrido, la imagen puede ser formada a diferentes velocidades, ya que de esto depende la resolución de la imagen . Esto hace que dichas velocidades se dividan en dos rangos, las utilizadas para observación directa (de 0.033 a 2 segundos por cuadro), con una resolución de 500 líneas con 500 puntos (2.5×10^5 puntos por cuadro) y las velocidades utilizadas con fines fotográficos que varían desde 5 hasta 100 segundos por cuadro, con una resolución de 1000 líneas con 1000 puntos (10^6 puntos por cuadro) .

Dados los diferentes modos de operación, el microscopio cuenta con dos detectores con diferentes impedancias de salida, lo que hace que la entrada del amplificador varíe también su impedancia según el modo de operación (100Ω ó $10\text{ K}\Omega$). En consecuencia, el circuito procesador construido tiene un acoplador de impedancias, para que pueda funcionar con cualquier modo de operación . Los preamplificadores de los diferentes detectores entregan una señal entre 0 y 4 volts de tal manera que a 0v le corresponde un tono negro en la imagen y a 4 v un blanco .

I.4 FUNDAMENTOS DEL DETECTOR DE NIVELES DE VOLTAJE DISEÑADO .

La imagen (tonos de gris), formada en la pantalla del TRC, es debida a diferencias en la intensidad del voltaje de la señal proveniente del sistema detector, siendo proporcional a las propiedades y características intrínsecas de la muestra. Dichos voltajes se necesitan aislar, a diferentes intervalos, con el fin de poder estudiar más detalladamente las propiedades físicas de la muestra. Para ésto se dividió el rango de la señal, en cinco regiones, mediante el empleo de cinco detectores de nivel, cuyo funcionamiento individual es análogo al de una ventana, por lo que se le llama " Ventana Detectora " . La región que cubre cada ventana, esta definida por los voltajes límites inferior (V_{inf}) y superior (V_{sup}), a que está sometida y los cuales se fijan de antemano a: 0.0 y 0.8 volts para la primera; 0.8 y 1.6 para la segunda; 1.6 y 2.4 para la tercera; 2.4 y 3.2 para la cuarta, y; 3.2 y 4.0 para la quinta (fig. 4) . Evitando de esta manera traslapes e intersecciones vacías ya que

$$V_{(i+1)inf} = V_{(i)sup} \quad (i=1,2,\dots,4), \quad I.4.1$$

donde i es el número de la ventana. Por último, cualquier ventana detectora cambia la región de tonos de gris elegida por blanco y el resto de la señal, por negro; lo que

se conoce como mapeo de la muestra.

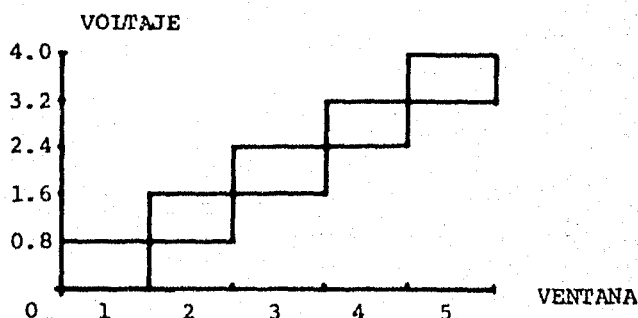


FIGURA 4 VOLTAJES DE REFERENCIA V_{inf} y V_{sup} DE CADA UNA DE LAS CINCO VENTANAS.

Para darle una mayor flexibilidad al sistema, se diseñó una ventana adicional tal que, sus referencias fueran variables, cuidando tan sólo el cumplimiento de la condición:

$$V_{inf} \leq V_{sup},$$

I.4.2

en el rango íntegro de la señal; teniendo además la posibilidad de variar su ancho.

El uso de lógica electrónica permite, como se verá más adelante, evaluar el área cubierta por un determinado tono de gris a partir de la señal obtenida de las ventanas detectoras. Dicha lógica electrónica, forma el así llamado, contador de áreas.

I.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DETECTOR.

Con el fin de dar una idea general del funcionamiento del sistema propuesto para la detección de tonos de gris, es conveniente analizar el diagrama de flujo de la señal mostrada en la figura 5 . Una vez seleccionado el modo de operación del MEB, la señal del preamplificador, se aplica a SW.1a del conmutador múltiple de tres posiciones (selector de funciones), de tal manera que la primera posición no altera la señal, permitiendo su paso libre hacia el amplificador de video; la segunda, conecta la señal en forma simultánea a las cinco ventanas prefijadas y la elección de la ventana o ventanas a utilizar, se realiza mediante los interruptores SW.2 , 3 , 4 , 5 y 6 ; la tercera posición conecta la señal a la ventana variable. La señal de las ventanas detectoras se aplica al amplificador de video mediante la sección SW.1b. La sección SW.1c conecta el contador de áreas, en la primera posición lo conecta a tierra, en la segunda a cualesquiera de las ventanas fijas y en la tercera a la ventana variable. Las secciones, del conmutador, SW.1c y SW.1d (que no aparecen en el diagrama) permiten en su primera posición cortar la alimentación de todos los detectores, evitando así captación de ruido cuando se opera el MEB normalmente; la segunda y la tercera posiciones proporcionan alimentación positiva y negativa, respectivamente, a las ventanas detectoras fijas y a la variable .

I.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DETECTOR Y CONTADOR DE AREAS.

El diagrama de bloques de la figura 5 está formado por: una ventana detectora, un inversor lógico, un bloque de referencias fijas y uno de referencias variables, y un contador de áreas.

El bloque de referencias fijas proporciona los voltajes de referencia V_{inf} y V_{sup} mencionadas en I.4; el bloque de referencias variables proporciona dos cualesquiera voltajes de referencia entre 0 y 4 volts, que cumplen la condición I.4.2 y permite variar el ancho de la ventana.

Las ventanas detectoras se pueden acoplar a un contador que evalúe el área cubierta por un determinado tono de gris (A_G) en función del área total de la imagen (A_T). Esto se logra, como se verá más adelante, evaluando el tiempo (T_G) en que la ventana permanece abierta y el tiempo empleado en un ciclo completo de rastreo (T_T), mediante

$$\frac{A_T}{T_T} = \frac{A_G}{T_G} \quad . \quad \text{I.6.1}$$

Esto se basa en que la imagen, en este tipo de microscopios, esta formada por segmentos rectilíneos y el área de un tono de gris no es más que, el arreglo ordenado de pequeños segmentos. En consecuencia, el bloque denominado contador de áreas (fig. 5b) , está formado por:

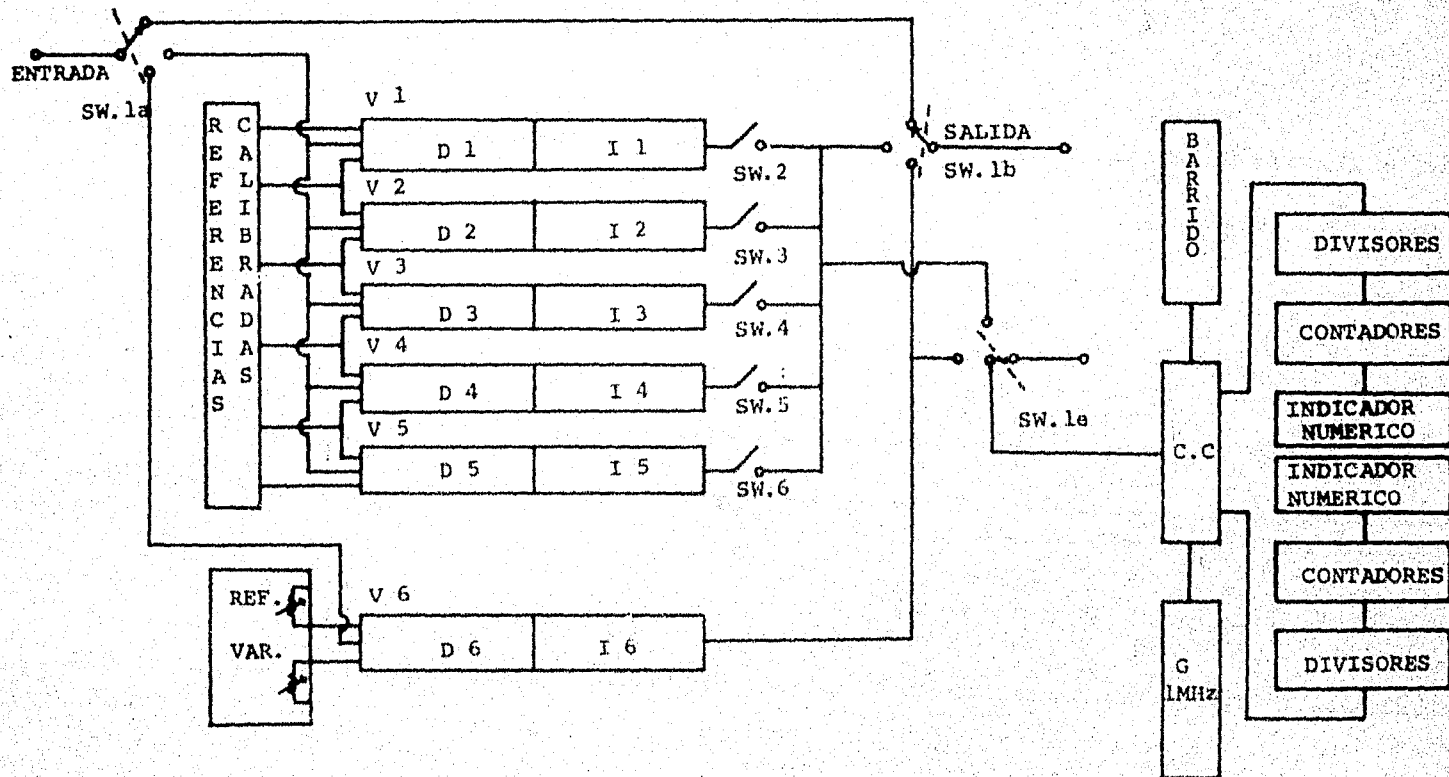


FIGURA 5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DETECTOR Y CONTADOR DE AREAS.

V= Ventana, D= Detector, I= Inversor, C.C.= Compuerta Compuesta, G= Generador.

- a) un generador de pulsos cuadrados de alta frecuencia (1 MHz)
(reloj);
- b) una compuerta compuesta acoplada al generador de sincronía de barrido y a la ventana detectora, con el fin de proporcionar información sobre la imagen durante un sólo barrido, y ;
- c) dos sistemas idénticos, constituidos por un divisor programable, un contador decimal de pulsos y un indicador numérico; el primero de estos sistemas está acoplado al generador de pulsos mediante la compuerta compuesta y proporciona el tiempo total de un barrido (T_T) y el otro sistema proporciona la suma de los tiempos parciales en que la ventana permanece abierta (T_G) .

Los requerimientos de velocidad de respuesta del MEB indujeron al uso, en este bloque, de una lógica electrónica TTL, (anglicismo que significa Lógica Transistor-Transistor). La frecuencia típica de trabajo para los microcircuitos TTL aquí empleados, es del orden de 10 MHz .

C A P I T U L O I I

II.1 C I R C U I T O S Y C R I T E R I O S D E D I S E Ñ O D E L A S V E N T A N A S D E T E C T O R A S .

II.2 E L I N V E R S O R L O G I C O .

II.3 R E F E R E N C I A S P R E C A L I B R A D A S .

II.4 R E F E R E N C I A S V A R I A B L E S .

II.1 CIRCUITOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS VENTANAS DETECTORAS.

En este capítulo se describen detalladamente los componentes electrónicos de cada circuito, así como el criterio de diseño seguido para su elección, tanto para el detector e inversor, como para las referencias fijas y variables. Las posibilidades de procesar los voltajes de la señal, antes de convertirlos en imagen óptica, son muy variadas y dependen de la información que se desea resaltar¹¹⁾. En este caso se verá solamente la posibilidad de detectar uno o varios tonos de gris, los cuales se fijan de antemano, lo que representa la detección de un intervalo determinado del voltaje de la señal; lo cual a su vez, es equivalente a poder aislar una propiedad determinada de la muestra en observación. La posibilidad de realizar esto, radica en el uso de un sistema electrónico lógico, llamado ventana, cuyo comportamiento se define como:

$$V_{sal} = \begin{cases} 1 & \text{si } V_{ent} \in [V_{inf} , V_{sup}] \\ 0 & \text{si } V_{ent} \notin [V_{inf} , V_{sup}] \end{cases}, \quad \text{II.1.1}$$

donde V_{ent} es la señal que normalmente iría al TRC, V_{sal} es la señal procesada que se aplica al TRC, $[V_{inf} , V_{sup}]$ es el intervalo que determina la ventana, (debiendo observarse la condición I.4.2), y donde el 1 corresponde a un blanco y el 0 a un negro en la imagen.

Para el mejor aprovechamiento de esta técnica y para que la interpretación de la imagen sea más rápida y eficaz, es necesario contar con un conjunto de ventanas cuyos voltajes V_{inf} y V_{sup} sean fijos y calibrados de tal forma que cubra todo el rango de voltaje de Vent para poder mapear la imagen a intervalos predeterminados, al seleccionar diferentes ventanas. Es necesario que se cumpla la igualdad I.4.1, con el objeto de que las ventanas tengan un mínimo traslape e incluir todos los tonos de gris. En este trabajo se emplearon cinco ventanas fijas, como se muestra en la figura 5. Cabe mencionar la posibilidad de utilizar dos o más ventanas en forma simultánea, si el estudio de la muestra así lo requiriese.

Es necesario que el circuito sea capaz de distinguir los diferentes puntos de una imagen producida en un MEB trabajando a su máxima velocidad de barrido fotográfico y algunas velocidades de barrido para observación directa, así como de seleccionar la señal de los preamplificadores. La velocidad de respuesta debe ser del orden de 5 MHz, puesto que las velocidades de barrido del MEB así lo requieren¹²⁾, (ver tabla 1).

Como podemos observar, dada la respuesta del detector de 5 MHz, el sistema funcionará a todas las velocidades de barrido, excepto a la de 0.033 segundos por cuadro (velocidad de T.V.), cuya frecuencia asociada es del orden de 8×10^6 MHz, la cual sobrepasa a la frecuencia de respuesta del detector.

	VELOCIDAD DE BARRIDO (seg./cuadro)	FRECUENCIA ASOCIADA DE PUNTOS (Hz)
a)	100	1×10^4
	50	2×10^4
	20	5×10^4
	10	1×10^5
	5	2×10^5
b)	2	1.25×10^5
	1	2.5×10^5
	0.5	5.0×10^5
	0.2	1.25×10^6
	0.033	7.57×10^6

TABLA 1 VELOCIDADES DE BARRIDO Y FRECUENCIA ASOCIADA
DE PUNTOS .
a) VELOCIDAD DE BARRIDO FOTOGRAFICO.
b) VELOCIDAD DE BARRIDO CONTINUO.

El primer sistema diseñado para la detección de niveles de voltaje empleó un microcircuito (A741¹³) (amplificador operacional) y se muestra en la figura 6 . En la entrada E.1 se aplica la señal de video Vent, que sale del preamplificador, dicha señal es comparada con un voltaje de referencia V_r entre 0 y 4 volts, previamente fijado y aplicado en la entrada E.2 . La lógica característica de este circuito es :

$$V_{sal} = \begin{cases} 1 & \text{si } V_{ent} = [V_r - 0.4 \text{ v} , V_r + 0.4 \text{ v}] \\ 0 & \text{si } V_{ent} \neq [V_r - 0.4 \text{ v} , V_r + 0.4 \text{ v}] \end{cases}, \text{ II.1.2}$$

ésto es, el circuito funciona como una ventana detectora. La sección a) de la figura 6 , tiene una ganancia unitaria y se diseñó con los transistores T.1 y 2, conectados en configuración diferencial de colector común, cuya polarización se realiza por medio de las resistencias R.1 , 2 , 3 y 4 , siendo alimentado con $\pm$ 12 volts.

La fuente de corriente constante sirve para darle mayor estabilidad al amplificador diferencial . Está formado por el transistor T.3 en configuración de emisor común, el cual se encuentra polarizado por la resistencia R.7 y el condensador C.4 ; para evitar oscilaciones y ruidos al sistema se emplean los condensadores de desacoplamiento C.2 y 3 . Cabe mencionar que esta fuente de corriente constante forma parte del amplificador diferencial. La referencia fija esta formada por un transistor de efecto de campo (FET) T.4 , un diodo zener Dz.1 , una resistencia fija R.6, el condensador C.1 y un divisor de voltaje R.5 . El transistor T.4 y la resistencia R.6 constituyen otra fuente de corriente constante, la cual alimenta a la referencia formada por Dz.1 y el divisor de voltaje R.5. Esto proporciona toda la gama de voltajes entre 0 y 4 volts y el divisor de voltaje nos permite elegir y fijar el voltaje de referencia deseado, el cual es aplicado en la entrada E.2 .El funcionamiento de la sección a), de la figura 6, se muestra en la

figura 7.a .

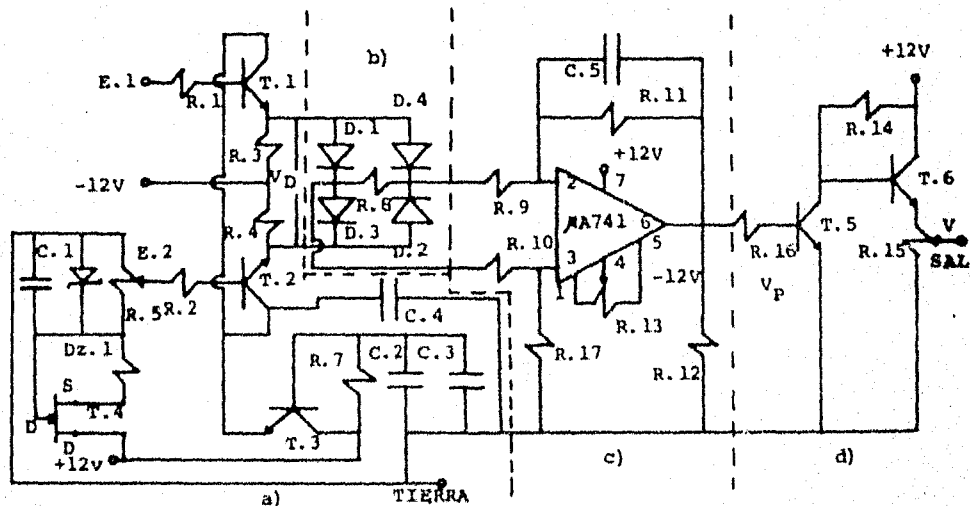


FIGURA 6 PRIMER SISTEMA DETECTOR EN BASE AL μ A741 .

Ya que los MEBS no pueden formar imágenes con voltajes negativos, es necesario aplicar la función de valor absoluto (fig. 6b) , la cual se realiza con un puente rectificador, empleando 4 diodos de germanio, que después se cambiaron por diodos de alta velocidad (diodos de silicio) . La resistencia de carga R.8 de este puente de diodos es del orden de 270 Ohms, y se utiliza para un acoplamiento directo con el siguiente paso del circuito . La señal sobre R.8 es definida positiva, como se puede ver en la figura 7.b .

Ya que la señal no está referida a tierra, ésto es, se trata de una señal flotante , es imperativo referirla a tierra , así como cuadrarla en una primera aproximación. El amplificador diferen-

cial (fig. 6.c) , se construyó con un amplificador operacional $\mu A741$, por su alta impedancia de entrada así como su gran ganancia . Sus funciones son: referir la señal a tierra y debido a su configuración , amplificarla diferencialmente, el resultado de la señal a la salida de éste (V_p) , se observa en la figura 7 .c . La cuadratura de la señal se logra por tener al $\mu A741$ trabajando a saturación y corte . Esta señal es invertida y acoplada en impedancias en la sección d) de la figura 6 , y el voltaje de salida del sistema se muestra en la figura 7.d .

Este sistema fue probado en el MEB S-600 y su funcionamiento resultó fuertemente limitado en la frecuencia de respuesta debida al operacional $\mu A741$ (10 KHz) , véase tabla 1 . Esto condujo a la necesidad de diseñar otro circuito detector .

El elemento fundamental de este nuevo sistema detector (fig. 8), es el microcircuito CI.1 ($\mu A711c$)¹⁴ que es un comparador de voltaje dual de alta velocidad . El requerimiento fundamental , por lo que se eligió dicho microcircuito, fué su rapidez de reacción , la cual es de 0.04 μ segundos , tanto en el tiempo de subida como en el de bajada . Los condensadores C.1 , 2 , 4 y 5 , derivan componentes parásitas de alta frecuencia que afectarían al microcircuito . Como se puede observar el circuito consta de tres entradas y una salida de señal. La señal del pre-amplificador se aplica a la resistencia R.2 y a través de las resistencias R.1 y 3 se aplican los potenciales de referencia fijos V_{sup} y V_{inf} , respectivamente . La alimentación es por medio de las fuentes reguladas de + 12 y - 6 volts , las cuales se verán

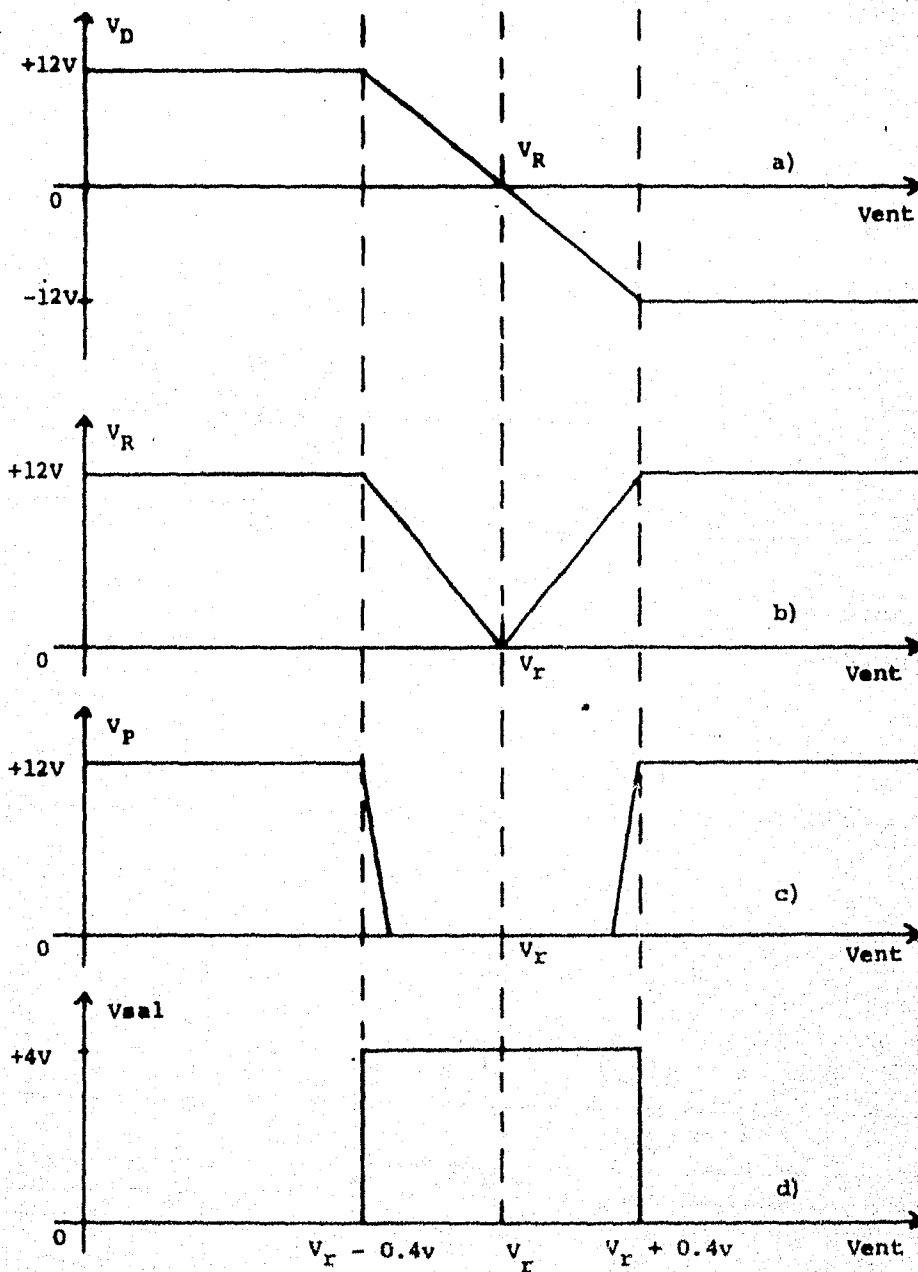


FIGURA 7 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL PRIMER SISTEMA
DETECTOR E INVERSOR.

posteriormente en el capítulo III .

La lógica de este microcircuito es:

$$V_{sal} = \begin{cases} 0 & \text{si } V_{ent} \in [v_{inf}, v_{sup}] \\ 1 & \text{si } V_{ent} \notin [v_{inf}, v_{sup}] \end{cases} \quad \text{II.1.3}$$

Dicha lógica es justamente la inversa a la requerida por la ecuación II.1.1 , por lo tanto es necesario el uso de un sistema tal, que invierta y cuadre la señal de salida del $\mu A711c$.

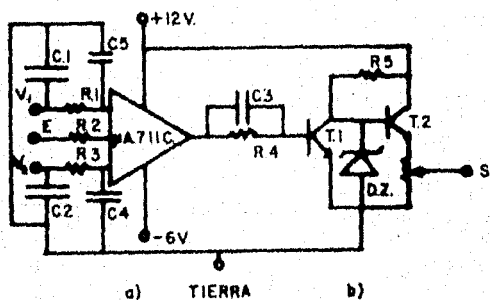


FIGURA 8 CIRCUITO DEL DETECTOR DE NIVEL Y DEL INVERSOR.

a) VENTANA DETECTORA DE NIVEL .

b) INVERSOR LOGICO.

II.2 EL INVERSOR LOGICO.

El inversor lógico mostrado en la figura 8b se acopla al detector de nivel mediante el circuito RC , formado por la resistencia R.4 y el condensador C.3 , evitando así sobrecargas

al detector. El valor de C.3 se eligió de tal forma que la velocidad de respuesta del sistema no se alterara, ya que para disminuir el nivel de ruido fué necesario variar dicho condensador . A pesar de ésto, la velocidad de respuesta disminuyó y el sistema funcionaba muy lento , ésto es, el valor de C.3 presenta un compromiso entre relación señal-ruido y el ancho de banda. Dicho inversor se puede dividir en dos secciones, la primera es un amplificador constituido por el transistor T.1 conectado en configuración de emisor común, trabajado a saturación, siendo su resistencia de carga R.5 . En el colector del transistor T.1 se obtiene la señal invertida , cuyo voltaje máximo queda limitado por el diodo zener Dz.1 . La segunda sección del inversor es un acoplador de impedancias diseñado con el transistor T.2 en configuración de colector común. Por último la señal de salida que se aplica al amplificador de video, se toma del divisor de voltaje formado por la resistencia variable R.6 , de tal manera que los valores a la salida del " uno lógico " y del " cero lógico " sean 4 y 0 volts respectivamente, lo que corresponde a un blanco y un negro en la pantalla del TRC (según las características del MEB S-600), como se observa en la figura 9 .

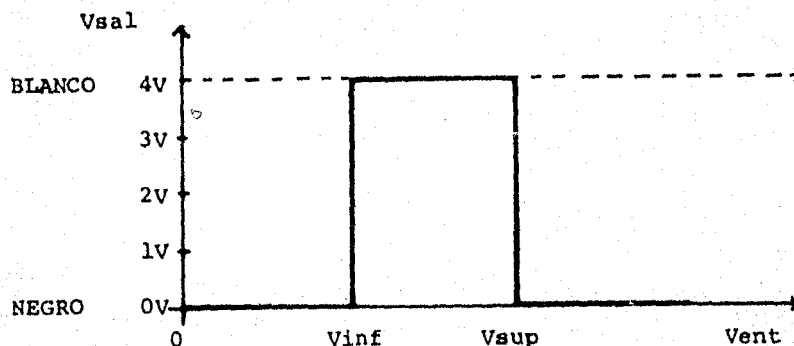


FIGURA 9 SEÑAL DE SALIDA DE LA VENTANA DETECTORA
(CUADRADA A SATURACION Y AJUSTADA A 4 VOLTS.)

II.3 REFERENCIAS PRECALIBRADAS .

Esta sección proporciona los voltajes calibrados V_{inf} y V_{sup} de cada ventana, observando tanto las condiciones impuestas por las ecuaciones 1.4.1 y 1.4.2 , como que además sean estables y libres de ruido.

El transistor T.1 , del circuito de la figura 10, funciona como un comparador de voltajes, obteniéndose en el emisor de éste, el voltaje del diodo zener Dz.1 al cual debe restársele el voltaje de polarización del propio transistor T.1. Esta configuración a su vez alimenta a los transistores T.2, 3 , 4 , 5 y 6 , cuya configuración es similar a la de T.1; obteniéndose en cada uno de los emisores un voltaje de referencia calibrado,

definiendo los voltajes de referencia para cada una de las cinco ventanas detectoras, como se muestra en la figura 4. La calibración de los voltajes de referencia se efectúa por medio de los voltajes de base de los transistores, los cuales están determinados por los divisores de voltaje R.2 , 3 y 4 para T.2; R.5 , 6 y 7 para T.3 ; R.8 , 9 y 10 para T.4 ; R.11 , 12 y 13 para T.5 y R.14 , 15 y 16 para T.6. El ajuste fino de estos voltajes de referencia se realiza por medio de las resistencias variables R.3, 6 , 9 , 12 y 15 .

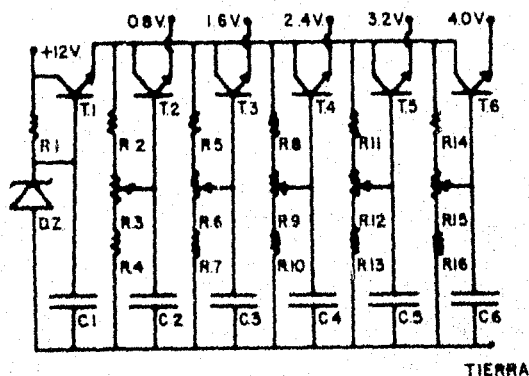


FIGURA 10 CIRCUITO DE VOLTAJES DE REFERENCIAS PRECALIBRADAS.

Las características electrónicas de los bloques Detector e Inversor se describen a continuación . La velocidad de respuesta es del orden de 5 MHz , por lo que el sistema es capaz de procesar señales provenientes del preamplificador. Resultando una imagen blanca con fondo negro, ésto es , " MAPEA "

la muestra. Además cumple la lógica requerida por II.1.1 y su acoplamiento es directo con el amplificador de video para cualquier modo de operación.

II.4 REFERENCIAS VARIABLES.

En base a las características que tiene cada ventana para mapear la muestra a alta velocidad y para darle mayor flexibilidad al sistema se diseñó una ventana adicional tal que, sus referencias V'_{inf} y V'_{sup} así como su ancho pudieran ser variadas en el rango integro de la señal. El diseño de esta sexta ventana detectora se limita prácticamente a la construcción del bloque denominado " referencias variables ", puesto que ésta es exactamente igual a las cinco ventanas detectoras mencionadas con anterioridad, con la sola diferencia de que las referencias ahora son variables. Las referencias variables V'_{sup} y V'_{inf} se aplican al detector a través de las resistencias R.1 y 3 respectivamente de la sexta ventana detectora.

Las referencias variables (fig. 11) constan, de una fuente de voltaje constante, constituida por la resistencia R.1, el diodo zener Dz.1 y el transistor T.1, dicha fuente alimenta al circuito de referencias variables, cuyo funcionamiento se describe a continuación. El potenciómetro de precisión de 10 vueltas (R.2) , ajusta el voltaje de V'_{sup} a través de los transistores T.2, 3 , 4 y 5 . El potenciómetro de precisión de 10 vueltas (R.4) , ajusta el voltaje de V'_{inf} , a través de

los transistores T.2, 3 , 6 y 7 . La configuración del potenciómetro R.4 es de tal manera que el máximo valor alcanzable por V'_{inf} es V'_{sup} . Esto se logra ya que $V'_{sup} + 1.2$ alimentan a R.4, y por medio de los transistores T.4 y 5, así como de las resistencias R.3 y 5, que tienen la función de compensar las caídas de potencial producidas en las junturas Base-Emitor de los transistores T.2, 3 , 6 y 7 , de tal modo que siempre se cumple la condición I.4.2. Por último, las resistencias R.6 y 7 son de acoplamiento para que las salidas de este bloque de referencias variables, se apliquen directamente en las entradas del detector de nivel .

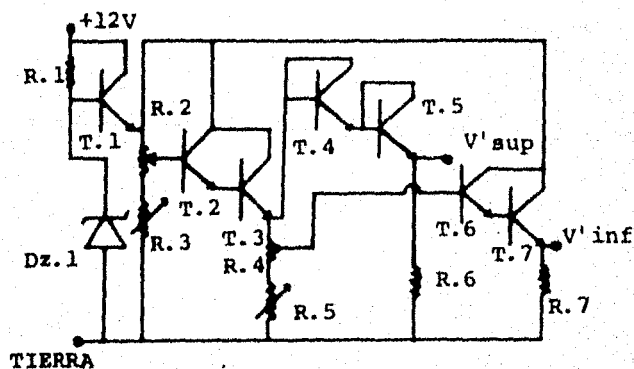


FIGURA 11 CIRCUITO DE REFERENCIAS VARIABLES.

C A P I T U L O

III

III.1 CIRCUITOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DEL CONTADOR DE AREAS.

III.2 GENERADOR DE PULSOS.

III.3 COMPUERTA COMPUESTA.

III.4 DIVISOR PROGRAMABLE Y EL CONTADOR DECIMAL.

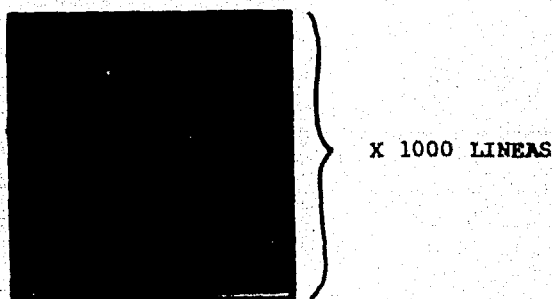
III.5 FUENTES DE PODER REGULADAS.

III.1 CIRCUITOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DEL

CONTADOR DE AREAS.

La justificación de medir áreas en base a mediciones de tiempo se debe, como se mencionó anteriormente, a que la imagen en la pantalla del TRC está formada por el arreglo ordenado de 1000 segmentos rectilíneos. Por lo que es posible pensar en la imagen, como una línea continua formada por los 1000 segmentos susodichos, (fig. 12) . Lo anterior significa que en realidad se asocian áreas a los arreglos ordenados, lo que dá pié a poder evaluar la razón de área de grises (A_G) a áreas totales (A_T) como una función de la razón de los tiempos en que permanece abierta la ventana detectora (T_G) y el tiempo total empleado en el barrido de una imagen (T_T),

$$\frac{A_G}{T_G} = \frac{A_T}{T_T} .$$



1000 LINEAS EN ARREGLO ORDENADO DE IMAGEN.
FIGURA 12 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA IMAGEN EN UN MEB.

La forma de medir estos intervalos de tiempo es contando pulsos periódicos generados durante dichos intervalos, (fig. 5b).

III.2 EL GENERADOR DE PULSOS (RELOJ) .

El generador de pulsos funciona como base de tiempo independiente de la del MEB, debido a que la precisión en la medida de los intervalos total y parcial es función del reloj empleado . Esta precisión dependerá directamente de:

- i) la estabilidad con que se generan los pulsos, y ;
- ii) la cantidad de pulsos generados por unidad de tiempo (frecuencia) .

La frecuencia con que se generan dichos pulsos, se escogió de 1 MHz , con el fin de garantizar que por cada punto de la imagen se generen al menos 4 pulsos a la máxima velocidad de barrido fotográfico (5 segundos por cuadro) . De la tabla 1 , se tiene que la frecuencia asociada es de 0.2 MHz , a esta velocidad, la cual da $1 \text{ MHz} / 0.2 \text{ MHz} = 5 \text{ pulsos / punto}$.

La estabilidad del generador se obtiene utilizando un cristal de cuarzo, cuya frecuencia fundamental es de 1 MHz , en un circuito multivibrador a estable. Este generador se construyó, como se puede ver en la figura 13, empleando un microcircuito SN 7400¹⁵⁾, el cual consta de cuatro compuertas " NO Y " ; dos de ellas forman el multivibrador antes mencionado y las otras dos se utilizan como cuadradores de la señal, asegurando una forma de onda limpia. El condensador variable C.1 se utiliza para el ajuste

te fino de la frecuencia del oscilador , con un poder de variación máxima ± 10 Hz. La estabilidad que se obtiene con este circuito es mejor que 1 ppm, en un plazo de 6 horas (21600 segundos) lo cual supera en mucho la requerida en algunos microscopios comerciales, cuyo tiempo máximo de rastreo es del orden de 2000 segundos .

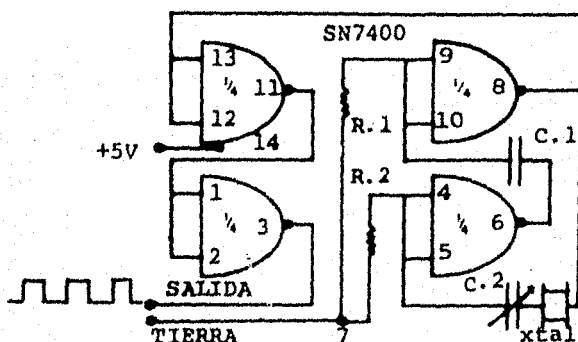


FIGURA 13 GENERADOR DE PULSOS (FRECUENCIA FUNDAMENTAL = 1 MHz).

III.3 COMPUERTA COMPUESTA .

El acoplamiento del reloj y la ventana detectora con los divisores y los contadores, se realiza mediante el circuito llamado compuerta compuesta. Los pulsos del reloj que serán procesados en cada una de las secciones contadoras pasan a través de dos compuertas lógicas " Y ", una para el área total (B) y otra para el área parcial (C) , figura 14 . A la compuerta (B) le llega la señal del oscilador (ox) y la señal correspondiente a la ejecución del barrido (pulso de sincronía de un barrido del MEB).

A la compuerta (C) le llega la señal de la ventana empleada para el mapeo y la señal de salida de la compuerta (B). Es necesario condicionar el conteo para que se realice exclusivamente durante un barrido, lo cual se logra mediante otro circuito lógico perteneciente a la misma compuerta compuesta, el cual será explicado posteriormente. La tabla de verdad 2, esquematiza el funcionamiento de la compuerta compuesta, en particular las compuertas (B) y (C) de la figura 14.

	tn	tn+1	tn+2	tn+3	tn+4	tn+5	tn+6
R	1	0	0	0	0	0	0
EB	1	0	1	1	0	X	$\bar{X}$
D	0	0	1	1	0	0	0
EV	X	X	0	1	X	X	X
T	0	0	OX	OX	0	0	0
P	0	0	0	OX	0	0	0

TABLA 2 TABLA DE VERDAD PARA LA COMPUERTA COMPUESTA, donde: $tn+i$ es el inicio del intervalo de tiempo i , R es el restablecimiento de las condiciones iniciales, EB es la señal de barrido del MEB, D es el estado a la salida de la compuerta A, EV es la señal proveniente de la ventana, T es la salida de la compuerta B, P es la salida de la compuerta C, OX indica que aparece la señal del oscilador y X es cualquier estado de la lógica.

El inversor I.3, los JKs 1 y 2 (microcircuito SN 7473, JK dual)¹⁶⁾ y la compuerta (A), que forman la sección b) de la figura 14, realizan la siguiente función lógica. Una vez restablecidas las condiciones iniciales en los JKs, por medio de la sección d) de la misma figura, se tiene un " 0 lógico " en la sa

lida de la compuerta (A), preparando al sistema para el conteo. Al iniciarse el barrido, aparece una transición del pulso de sincronía del barrido del MEB de " 0 " a " 1 " en la entrada del inversor I.3 , el cual la invierte en una transición de " 1 " a " 0 ", ésto acciona el JK.1 que cambia de estado y obli da a la compuerta A a tener un "1" a su salida. Ya que la transición de " 0 " a " 1 " no afecta estos JKs , se tiene que, al acabar el barrido, la transición de " 1 " a " 0 " cambia el estado del JK.2 y por lo tanto en la compuerta A aparecerá un "0 " a su salida. Debido a que el JK.1 tiene su salida $\bar{Q}$ unida con su entrada K, queda amarrado de tal forma que, su salida Q se mantiene en "1" , una vez hecha la primera transición, después de haber sido restablecido. De igual forma el JK.2 queda amarrado después de su primera transición, ya que sus entradas J y K están unidas a Q y $\bar{Q}$ del JK.1 respectivamente. Una vez realizado el conteo, o lo que es equivalente, un barrido, no vuelve a pasar información a los contadores hasta que se restablezcan las condiciones iniciales en los JKs.

La sección d) de la figura 14 proporciona las condiciones iniciales, tanto para los JKs como para los contadores y divisores. Su funcionamiento lógico es como sigue. En los extremos de la resistencia R.1 se establece una diferencia de potencial diferente de 0, por lo que el condensador C.1 está cargado. Una vez accionado el botón para restablecer las condiciones iniciales el condensador C.1 se descarga, por lo que aparece un " 0 " en la salida del inversor I.4 , el cual es aplicado directamente en las en-

tradas de restablecimiento de los JKs . No siendo así para los microcircuitos SN 7490¹⁷⁾, que constituyen los divisores programables y los contadores decimales, cuya lógica para restablecer las condiciones iniciales debe ser " 1 " . En consecuencia se debe invertir la salida del inversor I.4 , lo cual se logra mediante los inversores I.5 y 6 . La necesidad de usar dos inversores es debida a que sólo pueden manejar 10 unidades de carga cada uno¹⁸⁾ y los 16 microcircuitos SN 7490 requieren 16 unidades de carga. Finalmente el pulso de sincronía de barrido, es del orden de 23 volts , con una componente alterna de alta frecuencia , por lo que debe ser aplicado a la compuerta compuesta a través del diodo D.1 y con el divisor formado por la resistencia variable R.2 , (ya que un " 1 " para la lógica TTL es del orden de 5 volts) .

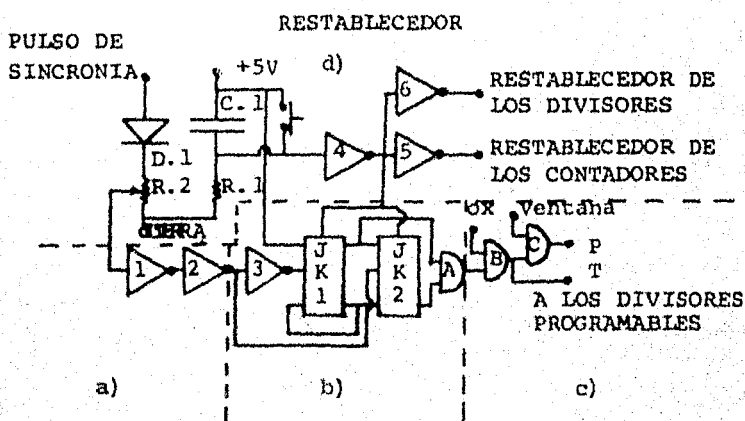


FIGURA 14 DIAGRAMA DE LA COMPUERTA COMPUESTA.

La sección a) de la figura 14, consta de dos inversores I.1 y 2, que sirven para cuadrar la señal proveniente del barrido.

do. Esto resulta por el uso de la lógica TTL, que obliga a tener transiciones rápidas a las entradas de los multibibradores biaestables JKs, la cual no tiene el pulso de barrido.

La alimentación para toda la lógica TTL es de 5 v y se considera un " 1 " desde 3.5 a 5.0 volts y un " 0 " desde 0.0 a 0.2 volts¹⁹⁾. El funcionamiento de toda la compuerta compuesta está representado esquemáticamente en la figura 15. Las salidas de la compuerta compuesta son: P, para el área parcial y T para el área total, los pulsos que salen de éstas pasan a uno de los dos conjuntos de divisores programables.

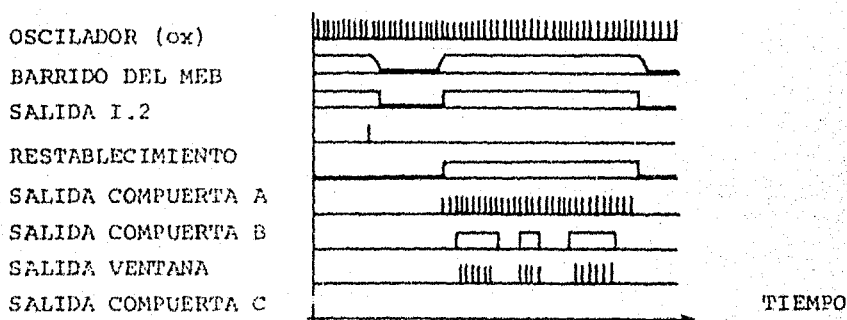


FIGURA 15 FUNCIONAMIENTO ESQUEMATICO DE LA COMPUERTA COMPUESTA.

III.4 EL DIVISOR PROGRAMABLE Y EL CONTADOR DECIMAL.

El divisor programable de la figura 16, consta de dos secciones idénticas de 5 microcircuitos SN 7490¹⁷⁾, divisores decimales de frecuencia, conectados en cascada, donde el número de divisores a utilizar se selecciona mediante SW.1 y ésta da la razón de división. Los condensadores C.1, 2, 3, 4, 5 y 6 se emplean para absorber las transiciones de la alimen-

tación de los divisores , bastando un condensador por cada dos microcircuitos. La necesidad de dichos divisores aparece, por el uso de alta frecuencia en el generador de pulsos y ya que los tiempos de barrido fotográfico van de 5 a 100 segundos por cuadro, de tal forma que el número de divisores que se emplean sea acorde al tiempo de barrido, procurando que el conteo del área total (A_T) sea la máxima lectura posible en los indicadores numéricos.

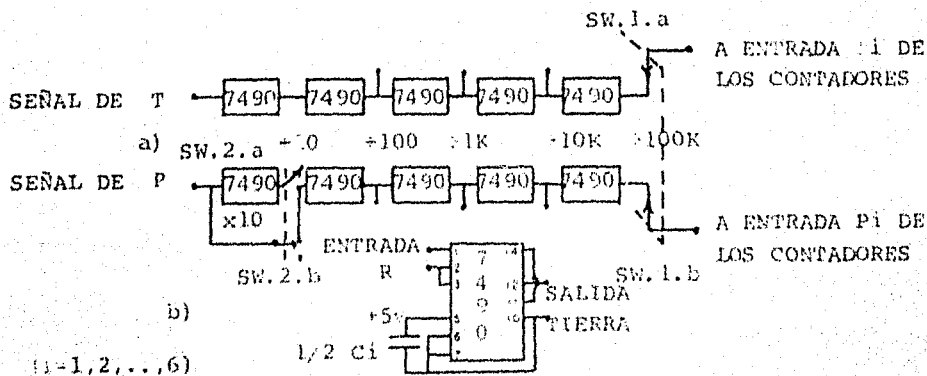


FIGURA 16 a) DIAGRAMA DEL DIVISOR PROGRAMABLE.
b) CONEXION DE CADA MICROCIRCUITO.

En caso de que la cuenta de A_G , sea mucho menor que la de A_T , se cuenta con la opción de sobreescribir, por medio del conmutador SW.2 el primer divisor de la segunda sección de divisores. Esto es necesario ya que el conmutador de cuatro posiciones y dos polos SW.1, define el orden de la división, en

en ambas secciones. Al accionar el conmutador SW.2, debe recordarse que la cuenta de A_G aparecerá 10 veces mayor. Por medio de la técnica de doble barrido y haciendo uso de las propiedades del divisor programable se determina un cuarto dígito en caso de ser necesario. El uso de solamente tres indicadores numéricos se debe a inestabilidades en el MEB, principalmente en el cañón de electrones.

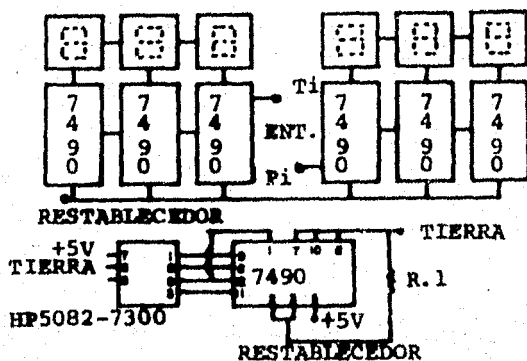


FIGURA 17 DIAGRAMA DE LOS CONTADORES E INDICADORES NUMERICOS.

Los pulsos obtenidos a la salida de cada una de las secciones de divisores programables, son contados por seis microcircuitos SN 7490, conectados en configuración de contadores decimales. Se utilizan tres por cada sección de divisores programables, mostrando la suma total en forma numérico digital en los microcircuitos 5082-7300²⁰⁾, (fig. 17). Solamente resta aplicar la ecuación 1.6.1 y evaluar así el porcentaje de área gris de interés, de la

muestra en observación.

III.5 FUENTES DE PODER REGULADAS.

Para satisfacer los requerimientos de alimentación de la lógica TTL, así como de todos los circuitos empleados, se diseñaron cinco fuentes reguladas, cuatro de las cuales proporcionan los voltajes ± 6 v y ± 12 v. Debido a que la configuración empleada es la misma para las cuatro fuentes, con la salvedad de los valores de los elementos electrónicos empleados para cada caso, solo se muestra un circuito en la figura 18. a. En este circuito, el voltaje es rectificado por medio de un puente de diodos de silicio y el filtraje es por medio de los condensado de alta capacidad C.1 , 2 y 3. La regulación es debida a la configuración transistor de potencia-diodo zener y la alimentación se obtiene en cada emisor de los transistores antes mencionados. En la sección b) de la figura 18, se muestra la configuración de la fuente regulada de + 5 volts, empleada para alimentar la lógica TTL; la rectificación es también con cuatro diodos de silicio conectados en puente. El filtraje se realiza mediante el condensador de alta capacidad C.4 y finalmente la regulación es debida al microcircuito NA 7805²¹⁾. Debe mencionarse que fué necesario colocar algunos condensadores en posiciones estratégicas para evitar la propagación de ruido en la lógica TTL.

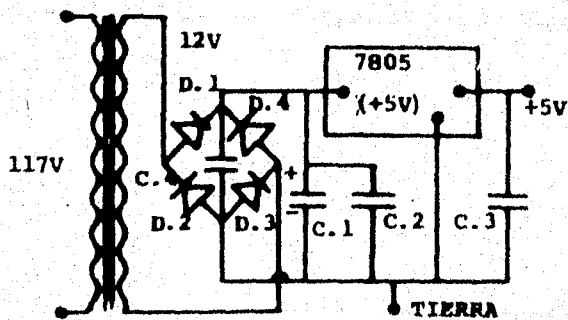
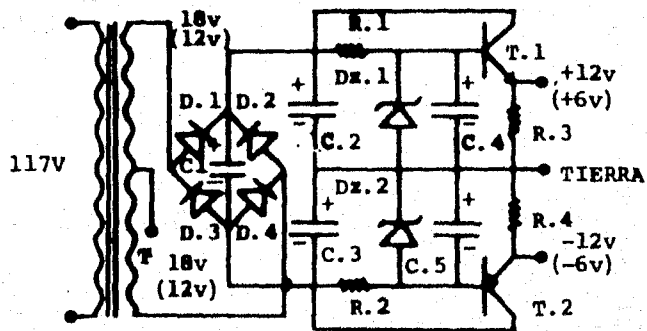


FIGURA 18 a) FUENTES REGULADAS (± 6 v y ± 12 v).
b) FUENTE REGULADA ($+ 5$ v).

CAPÍTULO IV.

IV.1 CONCLUSIONES Y RESULTADOS.

IV.2 APLICACIONES FUTURAS.

IV.1 CONCLUSIONES Y RESULTADOS.

La idea del sistema mapeador o sistemas de ventanas detectoras, no es original, puesto que existen aparatos comerciales contruídos con solo transistores, sin embargo el aparato presentado en este trabajo, tiene mayor velocidad de respuesta que los comerciales y su construcción es principalmente con elementos electrónicos integra dos. Así mismo es más moderno y funcional debido a su construcción modular, siendo posible retirar cualquier módulo fácil y rapidamen te para su modificación, reparación, etc. También se cuenta con un módulo (extensión) el cual permite conectar cualquier módulo desde el exterior, al aparato, facilitando el acceso a la electrónica de éste. El módulo correspondiente a las fuentes permite la conexión exterior de circuitos futuros, ya que dicho módulo cuenta con sali das al frente del chasis de $\pm 12v$, $\pm 6v$, $+ 5v$ y tierra. Finalmente los módulos vacíos serán ocupados por nuevos dispositivos electró_nicos que faciliten la interpretación de las imagenes obtenidas en el MEB S-600, como por ejemplo un sistema diferenciador, un sumador y un integrador, de las señales electricas²²).

El sistema construido se probó en el MEB S-600 del Departamento de Estado Sólido del Instituto de Física de la UNAM y se comprobó que funcionó satisfactoriamente en todas las velocidades de barrido fotográfico y los resultados en forma fotográfica se muestran en la figura 19.

La precisión del contador de áreas se puede evaluar facilmente,



b



d

FIGURA 19 IMAGEN TOPOGRAFICA DE LA SUPERFICIE DE ALUMINIO EROSIONADA IONICAMENTE A 10,000 AMPLIFICACIONES.

- a) Imagen Normal.
- b) Mapeo de la Señal de un tono de gris entre 0.0 y 0.8 V.
- c) Mapeo de la Señal de un tono de gris entre 0.8 y 1.6 V.
- d) Mapeo de la Señal de un tono de gris entre 1.6 y 2.4 V.

debido al cumplimiento de la condición I.4.1, en la que se exige que no haya traslapes entre ventanas ni intersecciones vacías. Es decir, cualquier señal entre 0 y 4 volts debe cumplir que los porcentajes de las áreas cubiertas por cada ventana, en suma, sea igual al 100% (señal total). La expresión algebraica de lo anterior es:

$$\sum_{i=1}^5 \frac{T_G(i)}{T_T(i)} \times 100 = 100 \% , \quad \text{IV.1.1}$$

donde i es la ventana utilizada en cada medición. Esta evaluación se realizó mediante una señal senoidal (de 1 KHz y 100 KHz), proveniente de un generador de funciones²³⁾, comprendida entre 0 y 4 volts, la cual se aplicó en la entrada de los detectores de nivel. El tiempo de barrido $T_T(i)$ se simuló, al condicionar el generador de funciones, de tal manera que se dispere en forma manual, dejando que automáticamente se desconecte pasado un tiempo τ constante. De esta manera se contó el tiempo que permanece abierta cada una de las ventanas durante el tiempo $T_T(i)$ (fig. 20). Los resultados así obtenidos se sustituyeron en la ecuación IV.1.1, encontrandose un error máximo del 1 % en una de las series de 10 mediciones efectuadas para cada frecuencia de la onda senoidal, esto es:

$$99 \% \leq \sum_{i=1}^5 \frac{T_G(i)}{T_T(i)} \times 100 \leq 101 \%$$

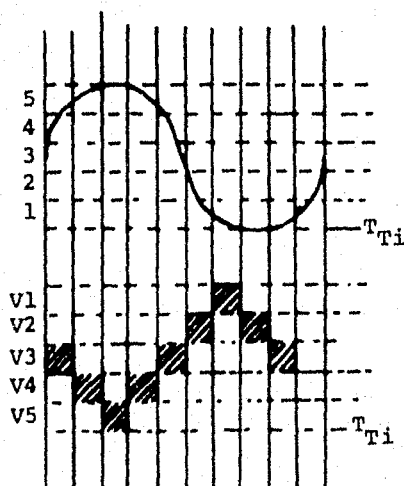


FIGURA 20 JUSTIFICACION GRAFICA DE LA ECUACION IV.1.1. MOSTRANDO
LOS LAPROS DE TIEMPO EN QUE PERMANECE ABIERTA CADA
VENTANA.

IV.2 APLICACIONES FUTURAS.

A continuación se enumeran algunas aplicaciones futuras del sistema construido.

- 1) Cuantificar las propiedades de las muestras que se observen en el S-600, tales como estadística de tamaños de partículas y estadística de orientaciones cristalográficas en policristales.
- 2) La información obtenida a la salida de los contadores está en forma binaria, por lo que permite el acoplamiento, para su análisis.

lisis, a una computadora. Cabe subrayar que en esta opción, con el fin de incrementar la información de la imagen, puede aumentarse el número de ventanas.

3) La obtención de una imagen policromática, para su facilidad de interpretación, se hace factible si diferentes ventanas, con voltajes de salida diferentes, se acoplan a distintos colores de un televisor.

4) El sistema detector y contador de áreas, esta diseñado de tal forma que pueda emplearse en cualquier sistema, que utilice para su funcionamiento un sistema de video. Como ejemplo se puede mencionar, su uso con telescopios electrónicos y con sistemas de control de calidad industrial.

R E F E R E N C I A S

- 1) Arthur Beiser.
" Concepts of Modern Physics ".
Mc. Graw-Hill.
63, (1963).
- 2) L. de Broglie, Nature; 112, 540, (1923).
- 3) W. K. Zworykin, G. A. Morton.
" Electron Optics and The Electron Microscope ".
John Wiley and Son, Inc.
New York, (1945).
- 4) M. Knoll and E. Ruska, Z. Phys; 78, 318, (1932).
- 5) M. Knoll, Z. Tech. Phys., 109, 553, (1938).
- 6) C. W. Oatley.
" The Scanning Electron Microscope " Part 1:
England Cambridge University Press, (1972).
- 7) Joel News; 10e, 2, (1972).
- 8) P. R. Thornton.
" Scanning Electron Microscopy ".
England Cambridge, (1967).
- 9) P. R. Thornton.
" Scanning Electron Microscopy ".
England Cambridge, (1967).
- 10) Philips Data Handbook, Electron Tubes.
(Photomultipliers) Part 6, (1968).
- 11) E. Cabrera and M. J. Yacaman.
Properties and Application of Derivative Signal In SEM.
Jap. Jour. App. Phys., 14, 7, 1035, (1975)
- 12) S-600 Operator's Manual.
- 13) The Linear Integrated Circuits Data Catalog Fairchild
Semiconductors, 107, (1971).
- 14) Linear Integrated circuits Data Book Motorola Semiconductors
Products Inc., 86, (1971).

- 15) The Microelectronics Data Book
Motorola Semiconductors Products Inc.
Sección MTTL Serie MC 7400, 7400.
Segunda Edición, Diciembre (1969)

- 16) The Microelectronics Data Book.
Motorola Semiconductors Products Inc.
Sección MTTL Serie MC 7400, 7473.
Segunda Edición, Diciembre (1969).

- 17) Philips Data Handbook, Digital Integrated Circuits
Part. 6 TTL, FJ, Family, FJJ 141/7490.
March (1972).

- 18) The Microelectronics Data Book.
Motorola Semiconductors Products Inc.
Functions And Characteristics.

- 19) Designing with TTL Integrated Circuits.
Texas Instruments Incorporated, McGraw-Hill Book Co. (1971).

- 20) Applications Note AN 934 H. P.

- 21) The Linear Integrated Circuits Data Catalog Fairchild
Semiconductors, 267, (1971).

- 22) E. Cabrera, R. Espejel, R. Toca.
Sistema Derivador para Estudios Dinámicos en el MEB.
Rev. Méx. Fis., 24 F A 15, (1975).

- 23) H. P. 3310-A Function Generator.