

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA



**INVESTIGACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN MÉTODO DE
AUTOFOCO BASADO EN LAS ALTAS FRECUENCIAS DE LA
SEÑAL DE VÍDEO**

T E S I S

**que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

MIGUEL ANGEL PAZ GONZALEZ

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. MIGUEL BRAVO ZANOQUERA**

MEXICALI, B. C.

JUNIO DE 2004

RESUMEN de la Tesis de Miguel Angel Paz Gonzalez, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA. Mexicali, Baja California, México. Junio de 2004.

INVESTIGACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN MÉTODO DE AUTOFOCO BASADO EN LAS ALTAS FRECUENCIAS DE LA SEÑAL DE VÍDEO

En un sistema electrónico de formación de imágenes, autofocus es el proceso de detectar la posición de un objeto y ajustar automáticamente al sistema óptico para proyectar sobre un detector, o plano de imagen, la mayor cantidad de información del objeto bajo observación.

En la presente tesis se trabajó en la simulación de un método de autofocus basado en las altas frecuencias de la señal de vídeo, con procesamiento analógico. Se obtienen resultados representativos del comportamiento del sistema de autofocus y se analizan las ventajas y desventajas. Además, en la simulación se exploran nuevas variantes en el procesamiento del circuito de medición de foco.

Por ultimo, se rediseñó el circuito de medición de foco para que seleccionara una subárea de medición o ventana variable, controlado por computadora. Se presentan resultados del desempeño para diferentes condiciones experimentales.

ABSTRACT of the thesis, presented by Miguel Angel Paz Gonzalez, in order to obtain the **MASTER of ENGINEERING DEGREE** in **ELECTRONICS ENGINEERING**. Mexicali, Baja California, México. Junio, 2004.

RESEARCH AND SIMULATION OF AN AUTOFOCUS METED BASED ON THE HIGH FRECUENCY CONTENT OF THE VIDEO SIGNAL.

In an Electronic image formation system, autofocus is the process of detecting an object distance and adjustment of system optics to transfer the maximum amount of information to the image plane.

In this thesis, the autofocus method based on the high frequency content of the video signal was simulated, using analog processing models. Results of the autofocus system behavior are reported and the tradeoffs are analyzed.

Also, the focus measurements circuit was redesigned to facilitate sub-area measurements or variable window, by computer control. Performance results for different experimental conditions are presented.

Dedicatoria:

A la memoria de mis padres, que gracias a ellos estoy aquí y me dieron la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A mi esposa Teresa Ortiz López y a mis hijos Miguel Angel, Isaac Antonio, Teresa Verenice y Tania Verónica.

A mis Hermanos Leticia, José Manuel, Rosalina, David, Alfredo y Rubén.

A mis sobrinos.

A mis amigos del laboratorio de Eléctrica y de Comisión Federal de Electricidad.

Agradecimientos:

A la UABC. Facultad de Ingeniería.

Al Dr. Miguel Bravo Zanoguera, por su valioso tiempo dedicado en la acertada dirección de la presente tesis.

Al Dr. Marco Antonio Reyna Carranza y MC. Guillermo Galaviz Yáñez, por sus valiosas recomendaciones en la revisión de la presente tesis.

Índice	Página
1. Introducción.....	1
2. Conceptos Teóricos.....	3
2.1 Modelo básico de un sistema óptico de imagen.....	3
2.2 Modelo de un sistema de proyección de imágenes.....	6
2.2 Modelo de un sistema de proyección de imágenes.....	7
2.3 Respuesta en frecuencia de los sistema ópticos.....	8
2.3 Respuesta en frecuencia de los sistema ópticos.....	9
2.4 Función de foco y criterio de mejor foco.....	10
2.5. Principio de funcionamiento de una señal de vídeo estándar.....	11
3. Medición de foco.....	16
3.1 Descripción de la medición de foco.....	16
3.2 Creación de una imagen fuera de foco.....	19
3.3 Simulación del circuito de medición de foco.....	21
3.3.1 Generación de una señal de vídeo por medio de <i>Spice</i>	22
3.3.2 Remoción de pulsos de sincronización (“Sync stripper”).....	24
3.3.3 Filtro.....	24
3.3.4 Remoción de transitorios (“ <i>Transient removal</i> ”).....	28
3.3.4 Remoción de transitorios (“ <i>Transient removal</i> ”).....	29
3.3.5 Cuadrado de la señal (“ <i>Squaring</i> ”).....	29
3.3.6 Integrador.....	30
3.3.7 Respuesta obtenida.....	30
3.4 Problemática del circuito integrador.....	33
4. Modificaciones al circuito de foco.....	36
4.1 Nuevo procesamiento de la señal de vídeo.....	36
4.1.1 Multiplicador.....	39
4.1.2 RMS.....	39
4.1.3 Valor Absoluto.....	41
4.2 Creación de una ventana variable.....	43
4.2.1 Dimensión horizontal de la ventana variable.....	46
4.2.2 Dimensión vertical de la ventana variable.....	48

4.2.3 Determinación de ecuaciones para la ventana variable.	49
4.3 Medición de foco utilizando la ventana variable	53
4.3.1 Medición de foco a una pieza sin pulir de acero inoxidable.....	53
4.3.2 Medición de foco a un circuito integrado utilizando la ventana variable.	55
4.4 Medición de Foco de un patrón de barras inclinado	57
4.4.1 Medición de foco de patrón de barras utilizando ventanas contiguas.	58
4.4.2 Medición de foco de patrón de barras utilizando ventanas separadas.	61
5. Discusiones y conclusiones	64
APÉNDICE A. USO Y CONFIGURACIÓN DE <i>SPICE</i> EN LA SIMULACIÓN	67
APÉNDICE B. PROGRAMAS UTILIZADOS CON <i>MATLAB</i>	73
B.1 Programa realizado para obtener el desenfoque de una señal cuadrada	73
B.2 Programa realizado para obtener las coordenadas de una ventana variable.	74
APÉNDICE C. TABLAS QUE SE UTILIZARON PARA GRAFICAR	76
Tablas de C.1 a C.4 con los valores obtenidos para la conversión del número digital a tiempos en la ventana variable.....	76
Tablas de C.5 a C.6 valores obtenidos de la medición de foco de un circuito integrado y de una pieza de aluminio	78
APÉNDICE D. DIAGRAMA DEL CIRCUITO QUE OBTIENE LA VENTANA VARIABLE PARTE VERTICAL.	80
APÉNDICE E. FUNCIONAMIENTO DEL POTENCIÓMETRO DIGITAL.	81
Referencias Bibliográficas	82

Índice de figuras	Página
Figura 2.1 Sistema óptico básico.....	4
Figura 2.2 Respuestas a un impulso puntual de luz de un objeto dentro y fuera de foco.....	6
Figura 2.3 Modelo de un sistema de proyección de imágenes.....	8
Figura 2.4 Función de transferencia de un sistema óptico.....	8
Figura 2.5 Formación de una imagen con pulsos eléctricos.....	11
Figura 2.6 Modo de exploración de una imagen de vídeo.....	12
Figura 2.7 Especificaciones de barrido vertical y horizontal del estándar monocromático RS170.....	13
Figura 3.1 Diagrama de bloques del circuito de medición de foco.....	17
Figura 3.2 Proceso de la forma de onda obtenida para obtener el índice de foco.....	18
Figura 3.3 Representación de una señal de vídeo de barras en blanco y negro en foco y fuera de foco obtenida en <i>Matlab</i>	20
Figura 3.4 Circuito para simulación de la señal de vídeo.....	23
Figura 3.5 Secuencia para obtener la simulación de una señal de vídeo.....	23
Figura 3.6 Circuitos para obtener el índice de foco.....	26
Figura 3.7 Respuesta en frecuencia del filtro.....	28
Figura 3.8 Bloques que se utilizaron para simular el índice de foco.....	30
Figura 3.9 Señales obtenidas en la simulación.....	31
Figura 3.10 Circuito Inversor e integrador alimentado por una señal seno de 3 volt	33
Figura 3.11 Respuesta de salida del circuito de la figura 3.10.....	34
Figura 3.12 Respuesta de salida del circuito de la figura 3.10 utilizando el amplificador operacional LT1220.....	35
Figura 4.1 Diagramas de bloques para medir el índice de foco en tres formas diferentes de procesamiento.....	38
Figura 4.2 Índices de foco obtenidos.....	40
Figura 4.3 Diagramas de bloques para simular el índice de foco con el valor eficaz	41
Figura 4.4 Circuito para simular el índice de foco con el valor absoluto.....	42

Figura 4.5	Ejemplo de selección de una ventana variable.....	44
Figura 4.6	Diagrama de bloques para generar la ventana variable.....	45
Figura 4.7	Diagrama utilizado para simular la sección digital del circuito de autofoco.....	46
Figura 4.8	Gráficas con el tiempo de inicio y duración horizontal.....	51
Figura 4.9	Gráficas con el tiempo de inicio y duración vertical.....	52
Figura 4.10	Imagen adquirida de una pieza sin pulir de acero inoxidable.....	54
Figura 4.11	Índice de foco obtenido para los cuadrantes que se muestran en el objeto de la figura 4.10.....	54
Figura 4.12	Imagen de un circuito integrado.....	56
Figura 4.13	Funciones de foco correspondientes a las mitades definidas en la Figura 4.12.....	56
Figura 4.14	Patrón de barras y ángulo de inclinación.....	57
Figura 4.15	Señal de vídeo y ventanas seleccionadas, capturadas con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A.....	59
Figura 4.16	Índices de foco obtenidos de las ventanas seleccionadas en la figura 4.15.....	59
Figura 4.17	Imágenes capturadas del patrón, en el que se muestran las figuras en foco de cada una de las ventanas y del total.....	60
Figura 4.18	Señal de vídeo y ventanas seleccionadas, capturadas con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A.....	62
Figura 4.19	Índices de Foco obtenidos de las ventanas seleccionadas en la figura 4.18.....	62
Figura 4.20	Gráfica de la línea horizontal activa bajo diferentes posiciones de foco	63

Capítulo 1

Introducción

En un sistema electrónico de formación de imágenes, autofocus es el proceso de sensar la posición de un objeto en una escena y ajustar automáticamente el sistema óptico para proyectar sobre un detector (o plano de imagen) la mayor cantidad de información del objeto bajo observación.

En la presente tesis se aborda el problema de autofocus a partir de investigaciones reportadas anteriormente donde se utiliza un método de procesamiento analógico sobre la señal de vídeo [1]. Se desarrolló la simulación de este método y se compara con los resultados reportados anteriormente. La simulación del circuito de medición de foco nos permite explorar nuevas adecuaciones sin necesidad de un ciclo de implementación de hardware. Posteriormente se rediseñó el circuito de medición de foco, para que ofreciera una subárea de medición o ventana variable, obteniendo muy buenos resultados.

Los métodos de autofocus son indispensables en la automatización de microscopios ópticos de alta resolución, pues la imagen de los objetos que se analizan se degrada fácilmente si el plano proyectado del objeto se desvía del plano focal. En aplicaciones de biología y medicina, es de suma importancia obtener el mejor enfoque posible puesto que esto impacta la veracidad del análisis realizado [2-5]. En la industria, hacer mediciones sobre la imagen de vídeo es preferible con frecuencia en la automatización de procesos, ya que se obtienen mejoras en el reconocimiento de objetos, se obtienen mediciones más precisas, y la inspección visual por máquina es más rápida que la realizada por el ser

humano. Otra aplicación muy conocida es en el uso de aparatos de uso doméstico comercial, tales como en videocámaras y cámaras fotográficas. Por esta razón, los conocimientos generados en este trabajo pueden ser útiles en las áreas anteriormente mencionadas.

El presente trabajo se dividió en cinco capítulos, en donde el primer capítulo es la introducción. El segundo capítulo describe los conceptos básicos de la formación de la imagen, donde se explican las bases teóricas que se utilizaron para realizar esta tesis. En el tercer capítulo se desarrolla la simulación del circuito de medición de foco utilizando el software *Spice* y se comparan los resultados de esta simulación con los valores reportados anteriormente de la implementación física del circuito [1]. El cuarto capítulo trata sobre las modificaciones al circuito de medición de foco, donde se exploran otras formas de procesar la señal de vídeo para obtener el índice de foco por medio del valor eficaz RMS y el valor absoluto, así como la implementación de una ventana variable para la medición de foco en un área variable de la muestra. El quinto capítulo se discute sobre los resultados obtenidos y se elaboran conclusiones del trabajo. Al final se incluyen los anexos.

Capítulo 2

Conceptos Teóricos

En este capítulo se describen las bases teóricas fundamentales que se necesitaron para la realización de esta tesis. Se explica como se forma una imagen en un sistema óptico, se describe la función de transferencia óptica, la función de foco basado en las altas frecuencias de la señal de vídeo y el principio de funcionamiento de una señal de vídeo estándar.

2.1 Modelo básico de un sistema óptico de imagen

En la figura 2.1 se muestra un sistema óptico básico, donde se identifica el plano del objeto, como una fuente de luz $O(x,y)$ que es capturada y transmitida a través de una lente delgada, formando la imagen del objeto en un detector debido a las intensidades $I(x,y)$ de la luz.

Para una lente delgada, según referencia [6], la posición del objeto y su imagen viene dada por la relación que se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}. \quad (2.1)$$

En donde d_1 es la distancia del lente a la imagen, d_2 es la distancia del objeto al lente, y f es la longitud focal del lente. Mientras la posición del objeto y la del detector cumplan con la ecuación 2.1, se dice que el objeto está en foco.

Cuando el objeto se encuentra en foco (plano de referencia), y por algún motivo se mueve de este plano, ya sea acercándose o alejándose del lente, como se muestra en la figura 2.1, el sistema queda fuera de foco y la imagen formada pierde detalle. Para volver a tener la imagen dentro del foco se tiene que reajustar la posición z del lente, o la posición del objeto.

El sistema óptico se puede considerar como un sistema lineal invariante en el tiempo, el cual puede ser caracterizado por la respuesta $h(x,y)$ debido a un objeto punto de luz. Esta respuesta $h(x,y)$ se conoce como la función de esparcimiento puntual o *PSF*. Debido a que es un sistema lineal la imagen es la resultante de la suma de las *PSFs* de todos los puntos que conforman el objeto.

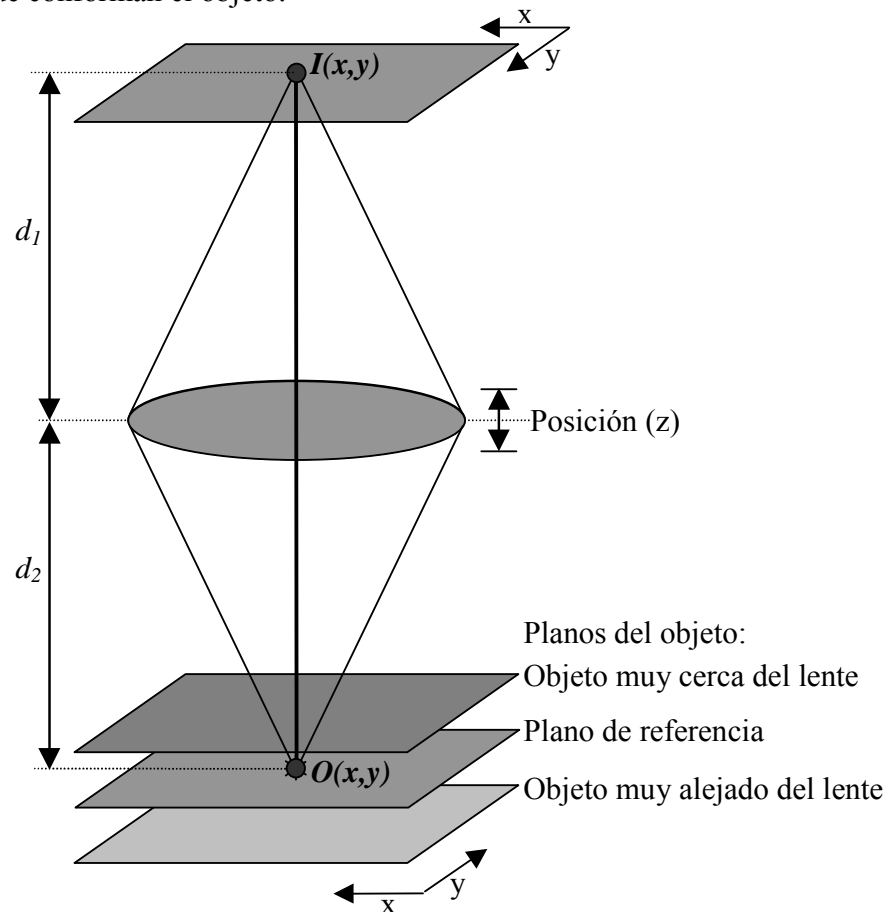


Figura 2.1. Sistema óptico básico que muestra la posición de la imagen formada por una lente, de un objeto en plano normal al eje óptico.

En la figura 2.2a se modela el perfil de intensidad de un objeto puntual de luz que existe sobre el plano de referencia de la figura 2.1 como una señal impulso. En la figura 2.2b se muestra la respuesta sobre el plano detector a este impulso. Aunque corresponde a una imagen dentro de foco, se hacen evidentes las limitaciones físicas de un sistema óptico, al distribuir las intensidades sobre un área mayor.

Esta respuesta se puede aproximar por la función Gaussiana [7,8],

$$h(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \right) \quad (2. 2)$$

Donde σ es el parámetro de esparcimiento correspondiente a la desviación estándar de la distribución de PSF. En la práctica el valor de este parámetro es proporcional al radio del círculo borroso R (que se explica en la sección 2.2), y es aproximadamente $1/\sqrt{2}$ según referencia [7].

En la figura 2.2c se muestra otro perfil de intensidad de un objeto puntual, pero que se origina fuera del plano de referencia (fuera de foco). En la figura 2.2d se muestra la respuesta del sistema, observándose una mayor apertura de la intensidad; mientras más alejado esté el objeto del plano de referencia, la intensidad de la imagen se distribuirá sobre una región más amplia.

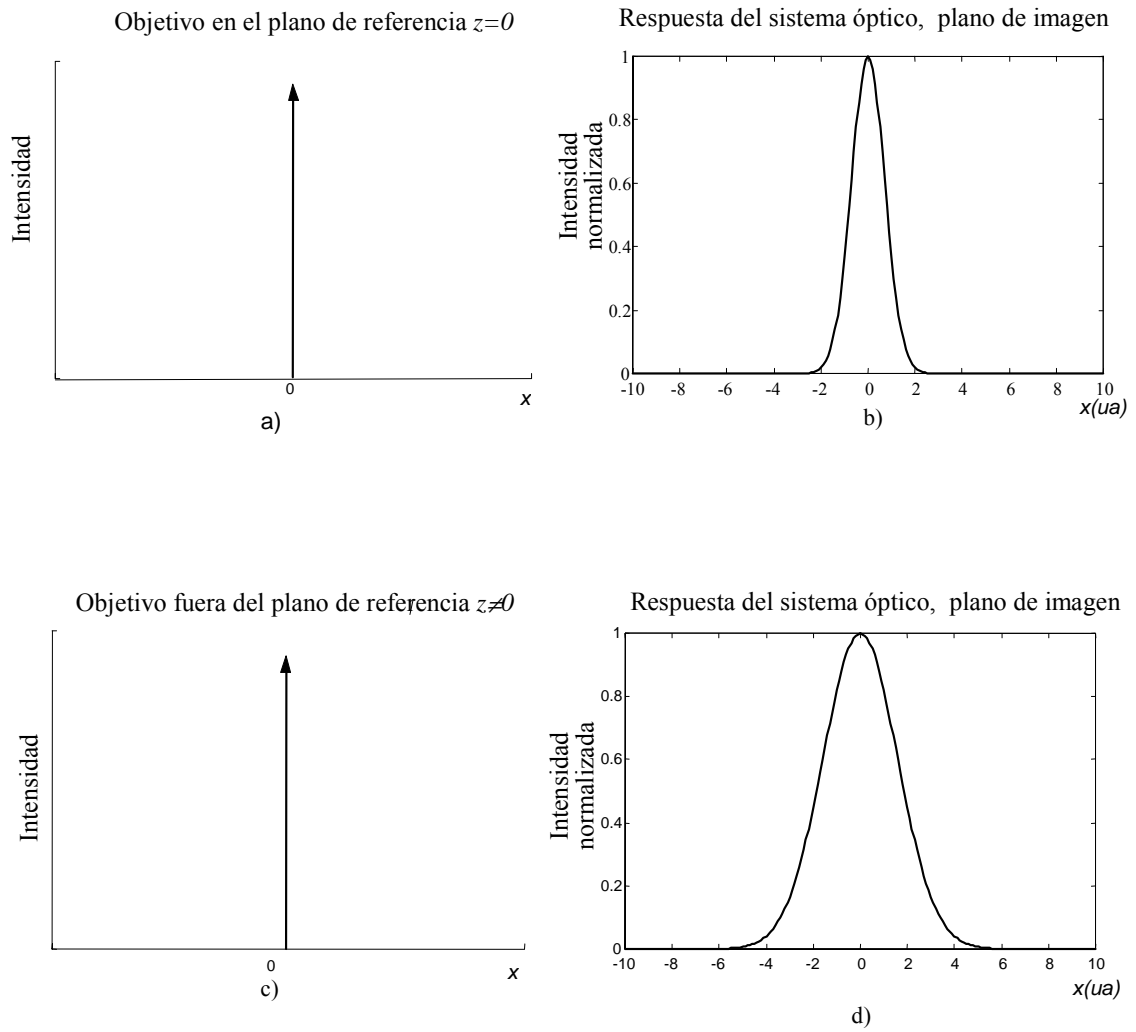


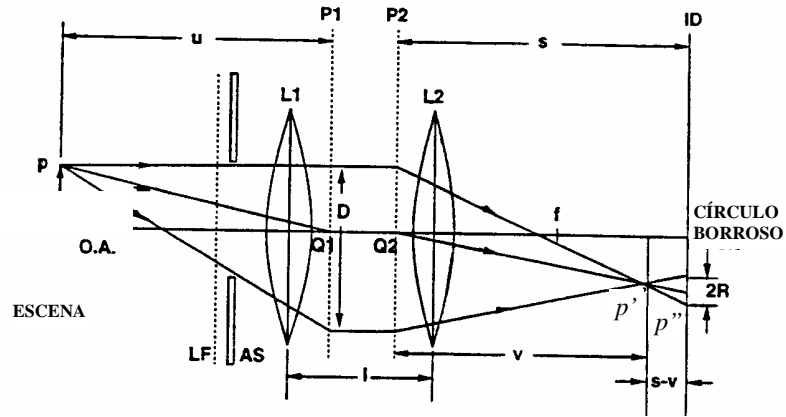
Figura 2.2. Respuestas a un impulso puntual de luz de un objeto dentro y fuera de foco. a) Impulso puntual de luz de un objeto en el plano de referencia. b) Distribución de la intensidad de luz correspondiente a la imagen. c) Impulso puntual de luz de un objeto fuera del plano de referencia. d) Distribución de la intensidad de luz correspondiente a la imagen fuera de foco. Nota: ua son unidades arbitrarias.

2.2 Modelo de un sistema de proyección de imágenes

El diagrama esquemático de un sistema de proyección de imágenes, con sus parámetros, es mostrado en la figura 2.3; este consiste de un sistema óptico con dos lentes $L1$ y $L2$. La longitud focal efectiva f es variable al mover uno de los lentes con respecto a otro. $O.A$ es el eje óptico, $P1$ y $P2$ son los planos principales, $Q1$ y $Q2$ son los puntos principales, ID es el detector de imagen, D es el diámetro de apertura, s es la distancia entre el segundo plano principal y el detector de imagen, u es la distancia entre el objeto al primer plano principal, y v es la distancia de la imagen en foco con el segundo plano principal.

En la figura 2.3, si el objeto puntual p no está en foco entonces da una imagen borrosa en p'' sobre el detector de imagen ID . De acuerdo a la geometría óptica, la imagen borrosa de p es escalada por un factor de acuerdo a la apertura de la lente. La imagen borrosa de p es la respuesta de la cámara al impulso unitario del objeto fuera de foco, siendo esto la función de esparcimiento puntual PSF fuera de foco del sistema, denotado por $h(x,y) z \neq 0$.

En la práctica, la imagen de un objeto puntual no es un círculo con brillo constante como es sugerido por la ley de óptica [6], sino que debido a la difracción, la pobre iluminación, aberraciones del lente, etc., ésta es un círculo borroso, con el brillo desapareciendo gradualmente de los bordes. Por consiguiente una alternativa del modelo de PSF es la función Gaussiana en dos dimensiones definida por la ecuación 2.2.



p = Objeto puntual	$O.A.$ = Eje óptico	ID = Detector de imagen
LF = Filtro de luz	$P1$ = Primer plano principal	s, f, D = Parámetros de la cámara
AS = Apertura	$P2$ = Segundo plano principal	v = Distancia de la imagen en foco
$L1$ = Primer lente	$Q1$ = Primer punto principal	p' = Imagen en foco
$L2$ = Segundo lente	$Q2$ = Segundo punto principal	p'' = Imagen borrosa

Figura 2.3. Modelo de un sistema de proyección de imágenes y parámetros tomada de [7]

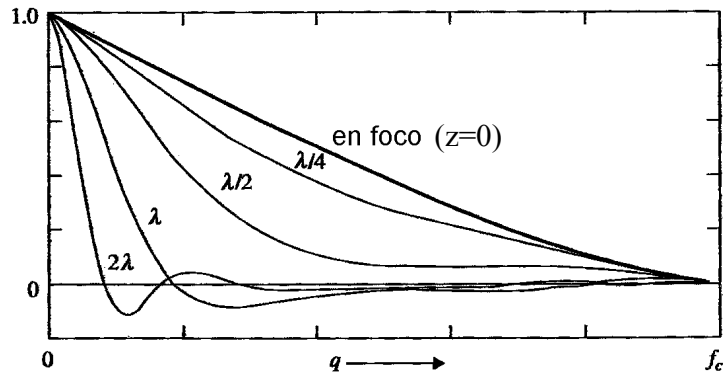


Figura 2.4. Función de transferencia de un sistema óptico. En donde λ es la longitud de onda, f_c es la frecuencia de corte y q es la frecuencia espacial, se muestra cuando una imagen se encuentra en foco y cuatro imágenes fuera de foco en distancias referenciadas a la longitud de onda. Tomada de [6]

2.3 Respuesta en frecuencia de los sistemas ópticos

Dado que los sistemas ópticos se consideran sistemas lineales, es común el caracterizarlos por medio de su respuesta en frecuencia (función de transferencia). En la figura 2.4 se muestra la amplitud de la función de transferencia óptica *OTF*, donde la *OTF* es la transformada de Fourier de la respuesta del sistema óptico a una entrada impulso; el eje de las abscisas es la frecuencia espacial, y el eje de las ordenadas es la amplitud de la respuesta a la frecuencia espacial. Cuando sólo se grafica la magnitud en función de la frecuencia espacial, se conoce como función de transferencia modulada (*MTF*).

Además del aumento producido, una lente óptica se considera como un filtro pasa bajas. El tamaño finito de la apertura del lente, impone restricciones en el rango de frecuencias espaciales que son transmitidas al detector de imagen. En la figura 2.4 se observa la respuesta a la frecuencia de un objeto en foco y de objetos fuera de foco que se alejan del plano de referencia. Cuando el objeto se encuentra en el plano de referencia (objeto en foco, $z=0$), el valor de la magnitud a diferentes frecuencias espaciales se mantiene más alto que cuando el objeto se aleja del plano de referencia (objeto fuera de foco $z \neq 0$).

La frecuencia radiada en una dirección particular depende entre otros de la frecuencia espacial de la textura de la superficie y la longitud de onda de la luz incidente, además la apertura del lente del sistema de imagen tiene un radio finito, que limita la captura de las altas frecuencias radiadas del objeto. Este efecto pone un límite en el sistema óptico de la imagen, el cual es caracterizado por la función de transferencia óptica [9], mostrada en la siguiente ecuación:

$$O(u, v) = O(u, v; a, d')$$

$$O(u, v) = \begin{cases} \left(\frac{a}{\lambda d'}\right)^2 (\gamma - \sin \gamma), & \sqrt{u^2 + v^2} \leq \frac{2a}{\lambda d'} \\ 0, & \sqrt{u^2 + v^2} > \frac{2a}{\lambda d'} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\text{donde } \gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\lambda d' \sqrt{u^2 + v^2}}{2a} \right)$$

Donde (u, v) es la frecuencia espacial de la textura de una superficie en dos dimensiones, “ a ” es el radio de la apertura de un lente, d' es la distancia del objeto al lente, λ es la longitud de onda de la luz incidente. En la ecuación 2.3 solamente las frecuencias espaciales menor al límite de $\frac{2a}{\lambda d'}$ puede ser captada por el sistema óptico.

2.4 Función de foco y criterio de mejor foco.

En un sistema en donde se tiene que enfocar un objeto en forma automatizada, por medio de una cámara de vídeo, se toman varias imágenes a diferentes profundidades para después seleccionar la imagen que mejor enfoque tiene de acuerdo al criterio del valor máximo de la función de foco [1]. La función de foco se puede describir por medio de la siguiente ecuación:

$$F_z = \frac{\iint \left(\frac{dI_{xy}}{dx} \right)^2 dx dy}{\left(\iint I_{xy} dx dy \right)^2} \quad (2.4)$$

En la que la función de foco es calculada con respecto a la posición vertical (z). En la ecuación 2.4, un filtro pasa altas, representado por la derivada de la imagen $I_{x,y}$ selecciona el rango de frecuencias altas de la señal de vídeo; estas frecuencias corresponden a detalles finos de la imagen. El resultado del filtrado es elevado al cuadrado e integrado. Normalizado por los cuadrados de la integral de las intensidades, que corrigen inestabilidades de la fuente de luz [1].

La forma de la función de foco la determinan el criterio de foco, el detector, la función de transferencia de la cámara y la imagen del objeto. Una gran variedad de métodos de autofocus se han usado en sistemas ópticos; sin embargo, el criterio basado en las características de la imagen ha predominado. En nuestro caso se utilizó como criterio de foco, la posición en la que se maximizan la energía a las altas frecuencias de la imagen.

El criterio de foco basado en altas frecuencias se puede describir de la siguiente manera: En una imagen en foco, la variación de grises cambia rápidamente de punto a

punto, mientras que en una imagen desenfocada, el cambio es más gradual. Una imagen con más contraste y detalles finos contiene mayor cantidad de frecuencias espaciales altas, mientras que objetos grandes con pequeños cambios de grises corresponden a frecuencias espaciales menores. Por lo tanto una imagen en foco exhibe mayor potencia de altas frecuencias, que la misma imagen fuera de foco.

2.5. Principio de funcionamiento de una señal de vídeo estándar.

El principio de funcionamiento de una señal de vídeo en blanco y negro, que responde al estándar *RS170* es el siguiente; se basa en una secuencia de barridos de la señal y de pulsos de sincronización de la imagen detectada. La imagen es escaneada por líneas de izquierda a derecha ($A-A'$, $B-B'$, $C-C'$, $D-D'$), convirtiendo las intensidades de luz en potenciales eléctricos ($a-a'$, $b-b'$, $c-c'$, $d-d'$), en donde los potenciales altos (0.7 volt) representa el blanco, los potenciales bajos (0.05 volt) representa al negro y los valores intermedios representan la tonalidad de la figura, en donde se observa en la figura 2.5 la línea C (C_1-C_5) se convierte en potenciales eléctricos c (c_1-c_5) correspondiente a la intensidad de luz de la imagen en C [10].

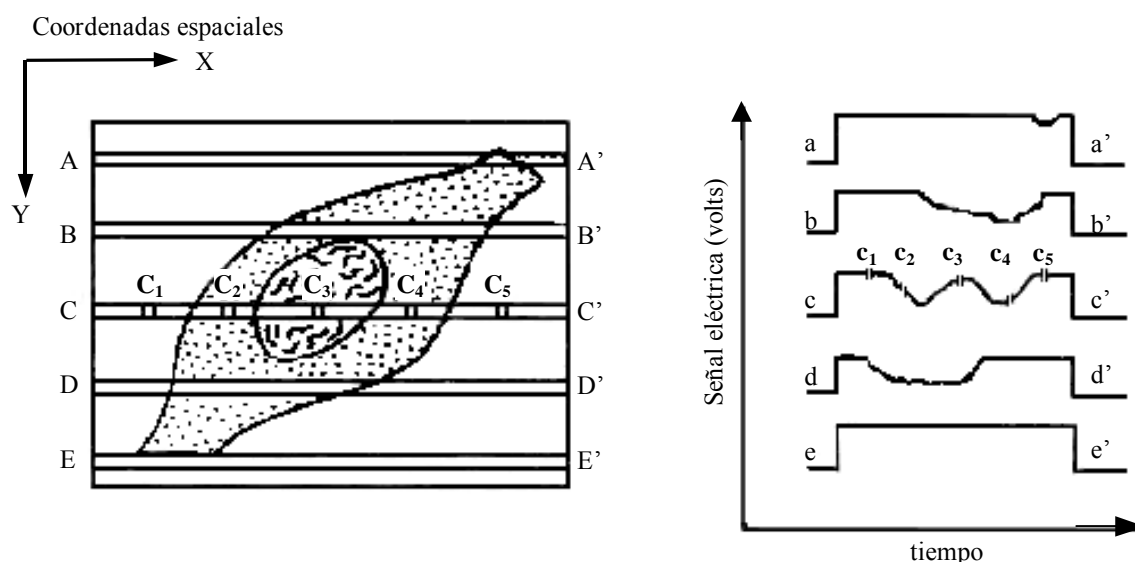


Figura 2.5. Formación de una imagen con pulsos eléctricos. En donde se muestra como se recupera la imagen por medio de un tren de impulsos eléctricos en donde el nivel más bajo representa el negro y el nivel más alto es el blanco. (Tomado de [10]).

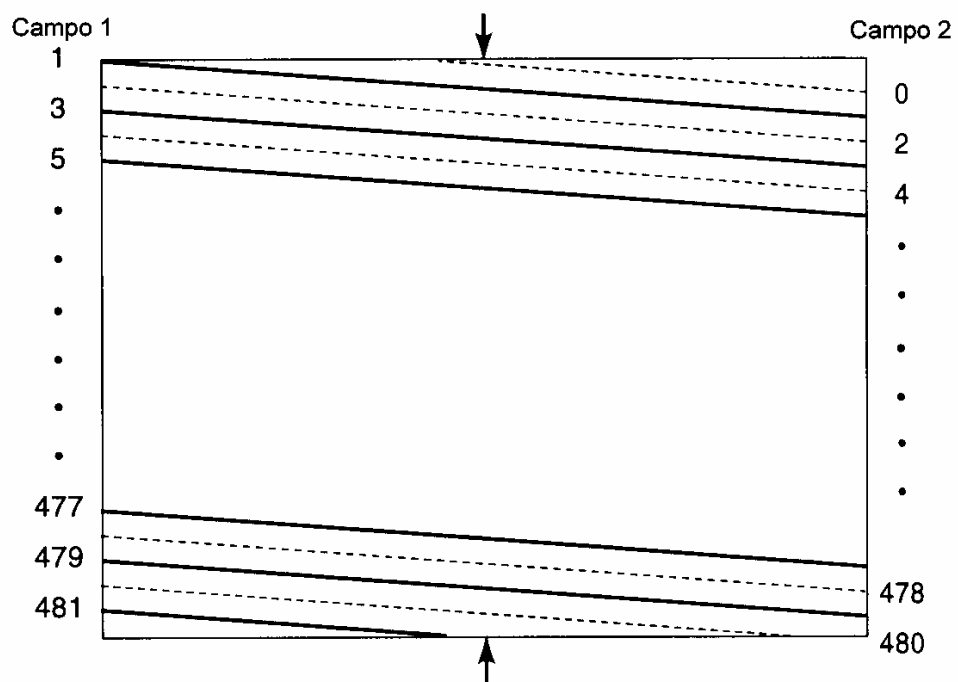


Figura 2.6. Modo de exploración de una imagen de vídeo, en el que se muestra los campos pares y nones. Cada una con 262.5 líneas de exploración para dar un total de 525 líneas. (Tomada de [10])

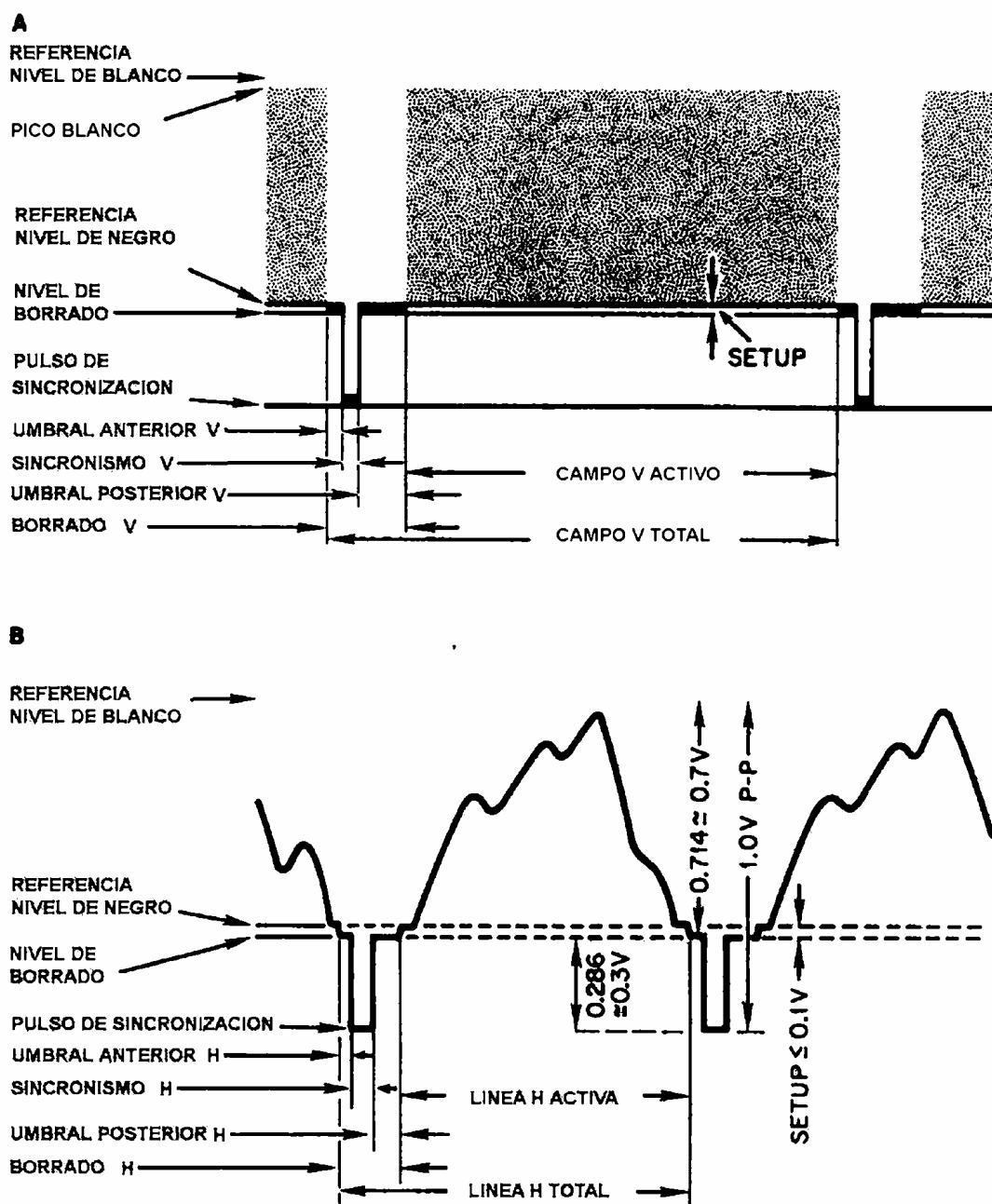


Figura 2.7. Especificaciones de barrido vertical y horizontal del estándar monocromático RS170 A) Intervalo vertical (V). B) Intervalo horizontal (H).

En la figura 2.6 se muestra como la escena es primero explorada por líneas impares tal como la 1ra, 3ra, 5ta, etc. La exploración continúa por 262.5 líneas hasta alcanzar el final del campo uno. Después de explorar las líneas impares, comienza la exploración de las líneas pares, esto es comenzando en el inicio del campo a la mitad de la línea horizontal, hasta alcanzar el final del campo dos. En combinación los dos campos impar y par se entrelazan para formar la imagen con 525 líneas, esto es con el fin de evitar parpadeos en la imagen.

En el formato *RS170* cada campo es explorado con una frecuencia de 60 *Hz* y como en cada campo existen 262.5 líneas por lo que la frecuencia de una línea horizontal (*H*) es (262.5×60) o 15.75 *KHz*. Un impulso de valor negativo indica el principio de una línea horizontal. El tiempo de una línea horizontal es aquel que transcurre desde el comienzo de los pulsos de sincronización horizontal hasta el final de la línea. El intervalo vertical es el tiempo desde los pulsos de sincronización vertical, hasta el final de la última línea horizontal de la imagen.

En la figura 2.7 se muestran las definiciones de los estándares de vídeo para la exploración vertical (*V*) y horizontal (*H*), estas señales tienen una amplitud de 1 *volt* pico a pico, en donde la señal de sincronía ocupa $0.4/1.4=0.286$ *volt* entre la base y el pico de sincronía, la base del pulso de sincronía ocurre en el nivel de borrado.

La señal de vídeo ocupa la parte $1/1.4=0.714$ *volt*, el pico de la señal corresponde al máximo blanco de la imagen. El nivel de negro de la imagen, está un poco más alto que el nivel de borrado, usualmente tiene valores entre 0.05 y 0.075 *volt*.

El intervalo *H* es el tiempo necesario para explorar una línea completa, incluyendo la línea activa así como el retorno, siendo el tiempo de 63.5 μs , el tiempo de borrado horizontal es de 10.2 μs , y el tiempo de una línea activa es de $(63.5 - 10.2) = 53.3$ μs que es el tiempo necesario para la exploración visible, sin borrado en cada línea horizontal, y los 10.2 μs es tiempo necesario para el retorno horizontal (*H*).

Superpuestos a los impulsos de borrado *H* hay impulsos de sincronismo *H* más estrechos, tal como el pulso de sincronización de 4.8 μs , el tiempo anterior al pulso de sincronización se le llama umbral anterior y el tiempo siguiente umbral posterior, siendo estos intervalos de tiempo de 1.27 μs y 3.81 μs .

El intervalo V es el tiempo necesario para explorar una imagen completa, incluyendo los campos activos que corresponde al principio y final de la imagen, así como el retorno o borrado vertical, siendo el tiempo de 16.667 ms , el tiempo de borrado es de 1.25 ms , y el pulso de sincronización de 0.15 ms . Los tiempos resumidos para el estándar de vídeo *RS170* monocromático, se muestra en la tabla 2.1

Líneas por imagen	525
Frecuencia (Hz)	60
Intervalo V (ms)	16.667
Borrado V (ms)	1.25
Pulso de sincronización V (ms)	0.15
Intervalo H (μs)	63.5
Intervalo H activa (μs)	53.3
Borrado H (μs)	10.2
Pulso de sincronización H (μs)	4.8

Tabla 2.1 Datos del estándar de vídeo RS170

Capítulo 3

Medición de foco

En este capítulo se describe y se simula el funcionamiento del circuito de medición de foco, utilizando circuitería analógica que detecta la energía en las frecuencias altas, el cual se implementó en trabajos anteriores [1], también se crea y se simula la señal de vídeo de un patrón de barras en blanco y negro, en foco y fuera de foco, para estimular el circuito. La simulación se realizó con el software *Spice*.

3.1 Descripción de la medición de foco.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del circuito analógico de medición de foco que fue implementado [1]. Este circuito está compuesto por tres partes principales: la sección del índice de foco, la sección digital de temporizador, y la medición de iluminación promedio.

Para la medición del índice de foco se utilizan los siguientes bloques en cascada:

- Remoción de pulsos de sincronización. (*Syn stripper*)
- Filtro.
- Remoción de transitorios. (*Transient removal*),
- Cuadrado de la señal. (*Squaring*)
- Integrador.

La sección de la medición de iluminación se muestra en la parte inferior del diagrama de bloques de la figura 3.1. En el que la señal de vídeo, después de removersele los pulsos de sincronización negativos por el bloque de remoción de sincronización, es integrada y retenida para la cuantificación de la cantidad de brillo de la imagen.

La sección digital utiliza los pulsos de sincronización de la señal de vídeo, para activar una ventana que abarca el periodo donde se obtendrá el índice de foco, y envía la señal de retención a los integradores, al final de cada ventana del vídeo. También genera las señales de control a la computadora para convertir la señal analógica a digital.

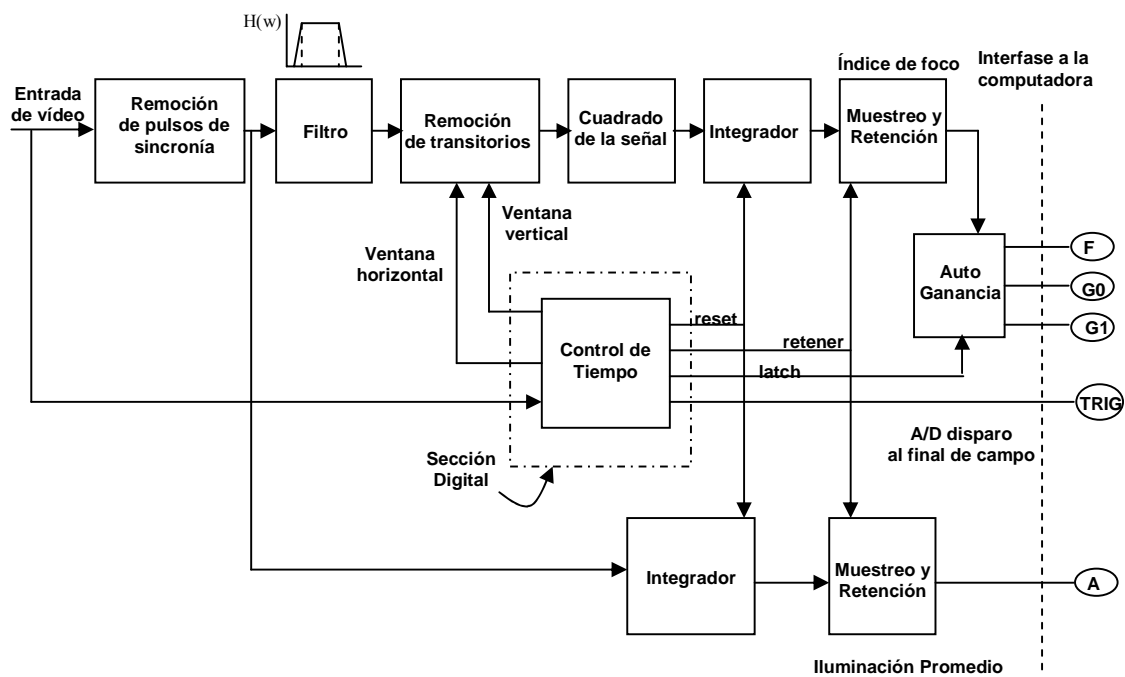


Figura 3.1. Diagrama de bloques del circuito medición de foco, en donde $F1$ es el índice de foco, $G0$ y $G1$ son dos ganancias binarias, $A1$ es el índice de iluminación, $TRIG$ es el pulso de disparo. Tomado de [1]

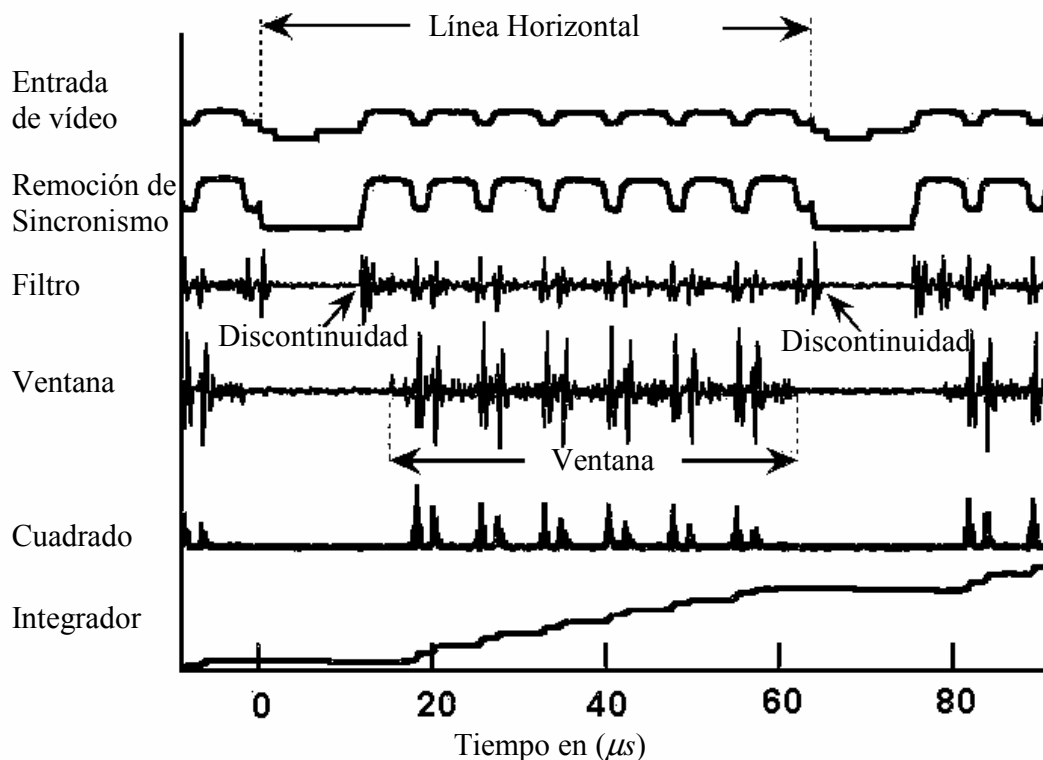


Figura 3.2. Proceso de la forma de onda obtenida para obtener el índice de foco. De barras en blanco y negro por medio del circuito de medición de foco obtenido en tiempo real. Tomada de [1]

En la figura 3.2 se observa las formas de ondas obtenidas de los circuitos para obtener el índice de foco, suponiendo que se captura la imagen de un patrón de barras en blanco y negro. Primero se muestra una línea horizontal junto con los pulsos de sincronización de la señal de vídeo, en el que se observa la señal cuadrada que se produce debido a los cambios de intensidad del patrón de barras. En el circuito de Remoción de pulsos de sincronización (*Sync Stripper*), se remueven los pulsos negativos de sincronización y se amplifica la señal de vídeo. Enseguida se muestra el filtro pasa bandas, el cual deja pasar principalmente frecuencias correspondientes a los bordes de la señal cuadrada. Después del filtro se muestra la señal de salida del circuito de Remoción de transitorios que selecciona una ventana, con el fin de eliminar transitorios que se producen en el filtro al inicio y final de la línea horizontal. Enseguida se eleva al cuadrado la señal obtenida de la ventana, para integrarse y así obtener el índice de foco, de acuerdo con la ecuación 2.4 para obtener el índice de foco.

3.2 Creación de una imagen fuera de foco

Para poder calcular el índice foco en imágenes tanto enfocadas y desenfocadas se crearon imágenes fuera de foco a partir de la imagen en foco. Esto se logra haciendo la convolución de la señal cuadrada con la función de la ecuación 3.1, que corresponde a una función Gausiana.

$$B = Ke^{-A(x^2+y^2)} \quad (3.5)$$

Donde x , y son las coordenadas de la imagen en dos dimensiones, K se varía para obtener el mismo tamaño de la señal original, y A corresponde al desenfoque de la señal, para valores grandes de A corresponde a una señal más desenfocada, y cuando A se aproxima a cero la señal se convoluciona con un impulso, dando por resultado la señal original con ganancia K . El resultado de varias convoluciones con diferentes valores de A con la señal cuadrada fue obtenido con *Matlab*, como se muestra la figura 3.3. Después de calcular los valores de la señal de entrada se realizó la simulación para cada uno de los valores de desenfoque.

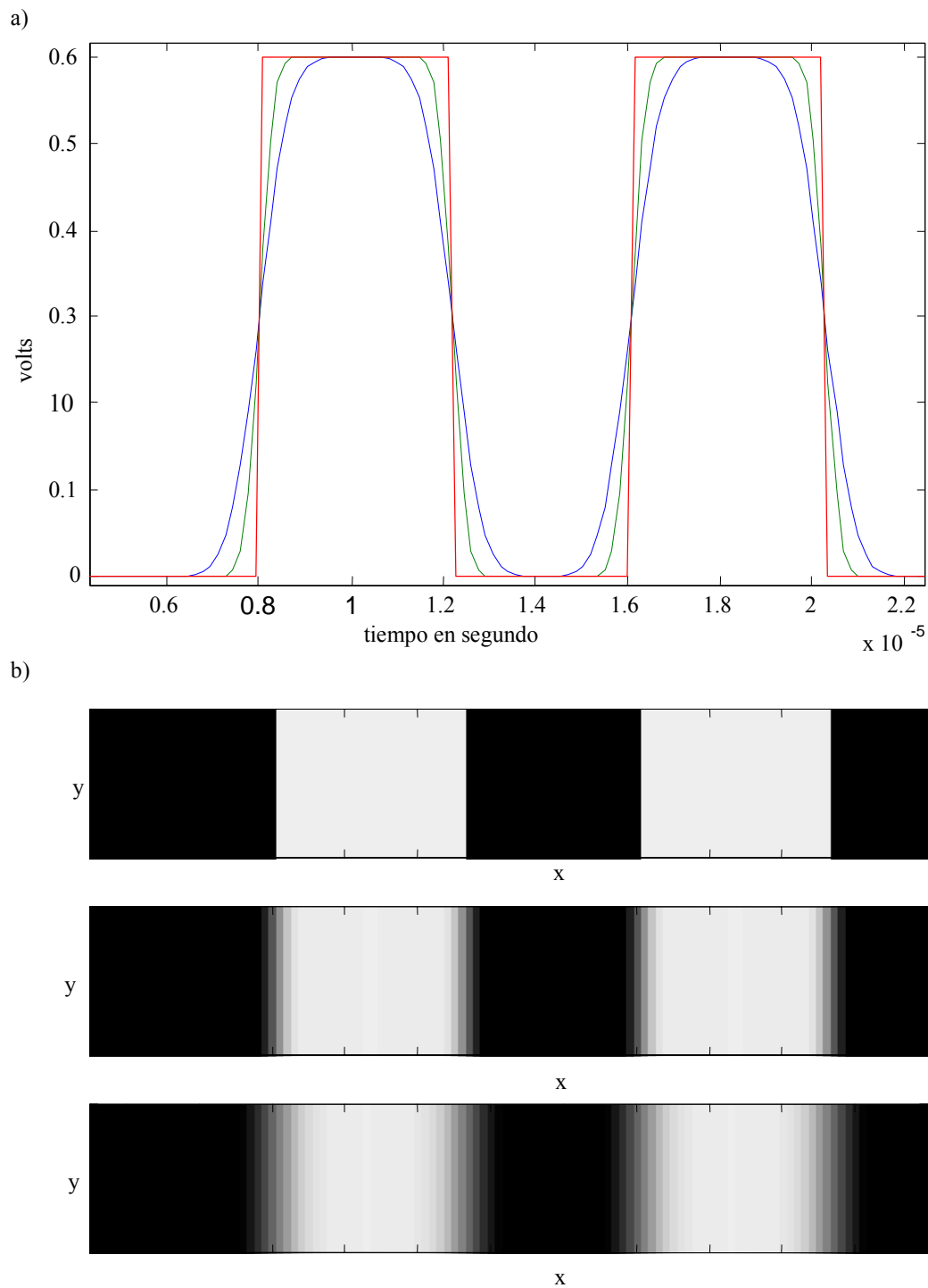


Figura 3.3. Representación de una señal de vídeo de barras en blanco y negro en foco y fuera de foco obtenida en *Matlab*. a) Señal en foco con dos señales en desenfoque. b) Imágenes obtenidas a partir de las señales generadas en a).

3.3 Simulación del circuito de medición de foco

Usualmente los ajustes al circuito analógico se tienen que realizar en un prototipo físico, representando gastos económicos y tiempo. Al poder simular este circuito analógico, así como otras variantes del circuito implementado en [1], se obtendrán rápidamente resultados representativos del comportamiento del sistema de autofocus, donde se podrán analizar las ventajas y desventajas del circuito. Además se podrán probar nuevos ajustes y modificaciones sobre la misma simulación, reduciendo el tiempo de los ciclos de diseño e implementación.

Utilizando el software *Spice* versión *ICAP/4Rx 8.8.6 ISSPICE4*, se realizó la simulación de los circuitos que en cascada obtienen la medición del índice de foco. Primero se probaron los bloques en forma individual con señales de entrada de 2 a 4 MHz y por último se realizó una prueba de respuesta del circuito de medición de foco. A continuación se describen las actividades de simulación:

Generación de una señal de vídeo cuadrada, incluyendo los pulsos negativos de sincronización. Esta señal corresponde a una imagen con barras en blanco y negro.

Remoción de pulsos de sincronización. (“*Sync stripper*”)

Filtro pasa bandas de octavo orden, Butterwoth con topología Sallen key.

Remoción de transitorios. (“*Transient Removal*”)

Cuadrado de la señal. (“*Squaring*”)

Integrador, el cual obtiene el índice de foco.

3.3.1 Generación de una señal de vídeo por medio de *Spice*.

La señal que se simula corresponde a una imagen de barras verticales en blanco y negro que se puede considerar como una señal de vídeo que contiene una onda cuadrada, con un periodo de $6 \mu s$. En esta señal se incluyen los pulsos de sincronización, con los tiempos utilizados en el estándar *RS170*. Para la simulación se tomó como idea la referencia [11], la cual se modificó a nuestras necesidades. Para obtener esta señal se utilizaron bloques de funciones matemáticas de *Spice* combinadas, tal y como se muestra en la figura 3.4. La fuente *V1* representa la duración de la línea horizontal activa de una señal de vídeo, sin considerar los pulsos de sincronización. Esto se logra por medio de un pulso de 1 volt de $52.1 \mu s$ de duración, con un retardo de $11.4 \mu s$ y un periodo de $63.5 \mu s$, esta señal se muestra en la figura 3.5a. La fuente *V2* representa la señal de vídeo, que se produciría por un objeto con barras en blanco y negro, en donde el valor más alto de voltaje representa el blanco y valores bajos corresponden al negro, el ancho de las barras corresponde a la duración en nivel alto o bajo, esto se logra por medio de una señal cuadrada de 0.6 volt con un periodo de $6 \mu s$, esta señal se muestra en la figura 3.5b. Los pulsos de sincronización de la señal de vídeo son pulsos de valor negativo de 0.4 volt con una duración $5.2 \mu s$ que se aparecen con un periodo de $63.5 \mu s$, estos valores son obtenidos por la fuente *V3*, esta señal se muestra en la figura 3.5c. La señal completa de vídeo que se obtiene *V4*, se muestra en la figura 3.5d el cual es la suma de *V3* con la señal obtenida de la multiplicación de *V1* y *V2*.

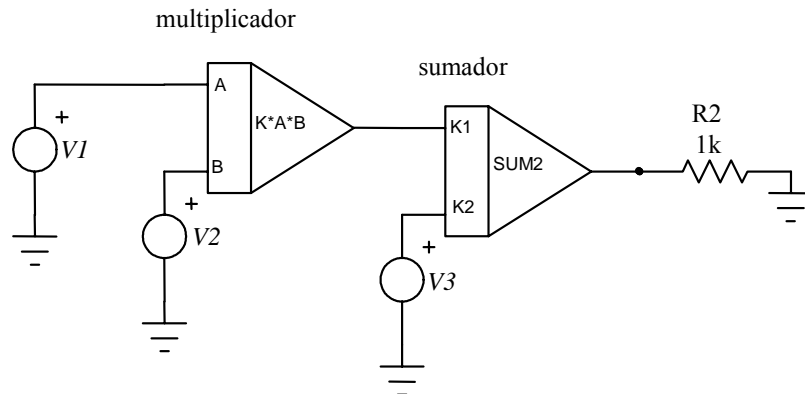


Figura 3.4. Circuito para simulación de la señal de vídeo. En donde $V1$ es un pulso con la duración horizontal activa de vídeo, $V2$ es la información de la señal de vídeo y $V3$ son los pulsos de sincronización.

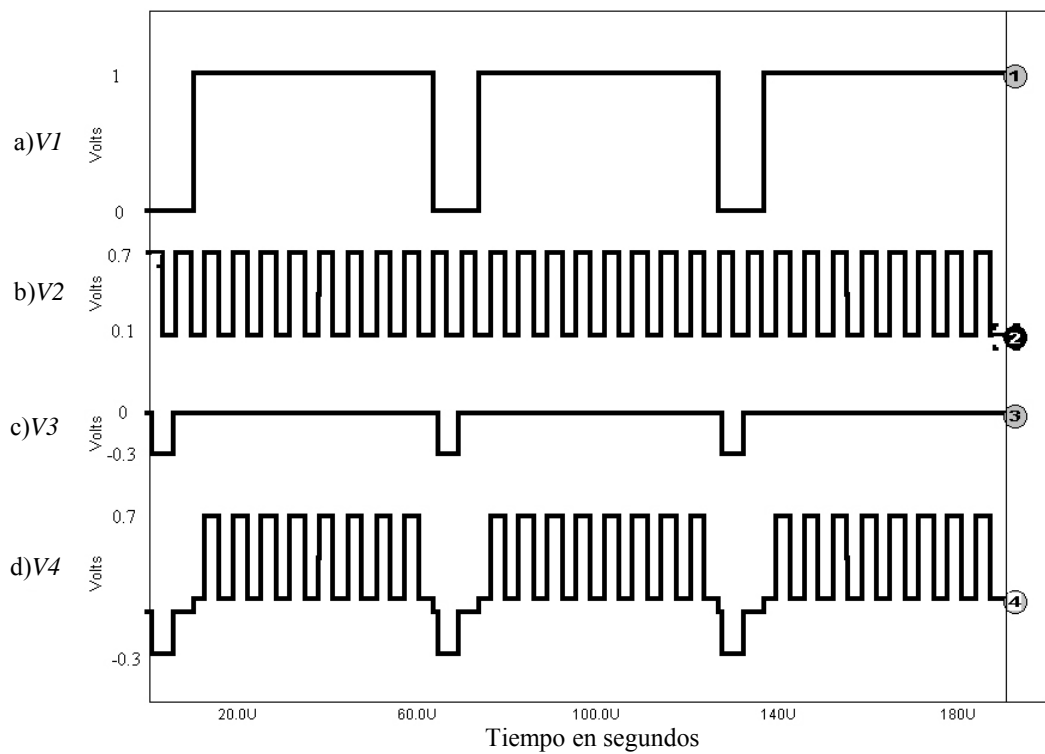


Figura 3.5. Secuencia para obtener la simulación de una señal de vídeo. a) Duración de la línea de vídeo obtenida por $V1$. b) Señal de vídeo de unas barras en blanco y negro obtenida con $V2$. c) Pulsos de sincronización obtenido con $V3$. d) Señal $V4$ que representa una señal de vídeo que se obtiene de multiplicar $V1$ y $V2$ y sumar $V3$

3.3.2 Remoción de pulsos de sincronización (“Sync stripper”)

Como se explicó en la sección 2.5, toda señal de vídeo contiene pulsos de sincronización que son valores negativos, por lo que este circuito se encarga de eliminar estos pulsos negativos para únicamente procesar la señal activa de vídeo. En la Figura 3.6a se muestra este circuito, que además de remover los pulsos de sincronización de la señal de vídeo, le da una ganancia de:

$$\left(1 + \frac{R_3}{R_2(1 + R_3CS)}\right).$$

La característica de eliminar los voltajes negativos se logra al polarizar solo positivamente al amplificador no inversor implementado con el circuito integrado AD8041 (Analog Devices), el cual tiene un ancho de banda de 160 MHz, suficiente para la señal que se procesa. Se usó esta configuración debido al menor número de componentes que se utiliza, comparada con otras configuraciones más complejas.

3.3.3 Filtro

El filtro de la figura 3.6b selecciona las altas frecuencias de la señal de vídeo, que corresponden a detalles finos de la imagen, las frecuencias que corresponden a detalles de la imagen están en el rango de 2 a 4 MHz, ya que frecuencias mayores a 4 MHz son señales de ruido, que provocan inestabilidades en la función de foco por lo que se diseñó un filtro pasa banda en el rango de 2 a 4 MHz.

El filtro usa cuatro amplificadores operacionales (*LT1209*, *Linear Technology Corporation*) con un filtro pasa bajas de cuarto orden, en cascada con otro pasa altas de cuarto orden. El filtro pasa bajas se compone de dos filtros en cascada de segundo orden del tipo Butterworth con topología Sallen- Key *U2-U3* que se muestran en la figura 3.6b. La función de transferencia está dada por la ecuación 3.2 y la frecuencia de corte está dada por la ecuación 3.3.

$$T(S) = \frac{(K/R^2C^2)}{S^2 + S/RC(3-K) + 1/R^2C^2} \quad (3.2)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.3)$$

En donde para el amplificador $U2$ se tiene que:

$$R = R6 = R7 = 1.1K\Omega$$

$$C = C3 = C4 = 33pF$$

Estos valores de resistencia y capacitancias son los que determinan la frecuencia de corte para el filtro pasa bajas del tipo Butterworth dada por la ecuación 3.2 que en nuestro caso es de 4 MHz.

La ganancia del filtro pasa bajas K de la primera sección $U2$ está dada por:

$$K = 1 + \frac{R9}{R8}$$

Dando un valor de 1.15 y para la segunda sección $U3$ está dada por:

$$K = 1 + \frac{R13}{R12}$$

Dando un valor de 2.23, con lo que la ganancia del filtro pasa bajas es aproximadamente de 2.56.

Para el filtro pasa altas representado por $U4-U5$ se sustituyen las resistencias por capacitancias y las capacitancias por resistencias, sin mover las resistencias que determinan la ganancia, pero la frecuencia de corte seleccionada es de 2 MHz.

La ganancia total del filtro pasa bandas es de 6.55 o lo que sería aproximadamente 16 decibeles. En la figura 3.7 se muestra la respuesta en frecuencia del filtro pasa bandas, cuando se utiliza el amplificador operacional $LT1209$ (Linear Technology) y el $HA-2548$ (Harris) originalmente se utilizaba el $LT1209$, pues se ahorra en espacio del tablero y cuenta con suficiente ancho de banda, 45MHz según sus especificaciones. Pero como se observa en la figura 3.7, no se mantiene la respuesta del filtro en tres decibeles. Mientras que el amplificador operacional $HA-2548$ tiene un ancho de banda de 150 MHz, y se asemeja a la respuesta ideal de un filtro. Aunque la respuesta del $LT1209$ se aleja de lo ideal, muestra un ligero incremento de ganancia en frecuencias altas que mejoraría la determinación del foco.

En este proceso se muestra la facilidad de usar un simulador, empezando con las características especificadas de los elementos. El simulador se emplea para variar

parámetros y componentes que nos ayuda a visualizar y determinar un diseño más eficiente y la validación preliminar de un nuevo producto.

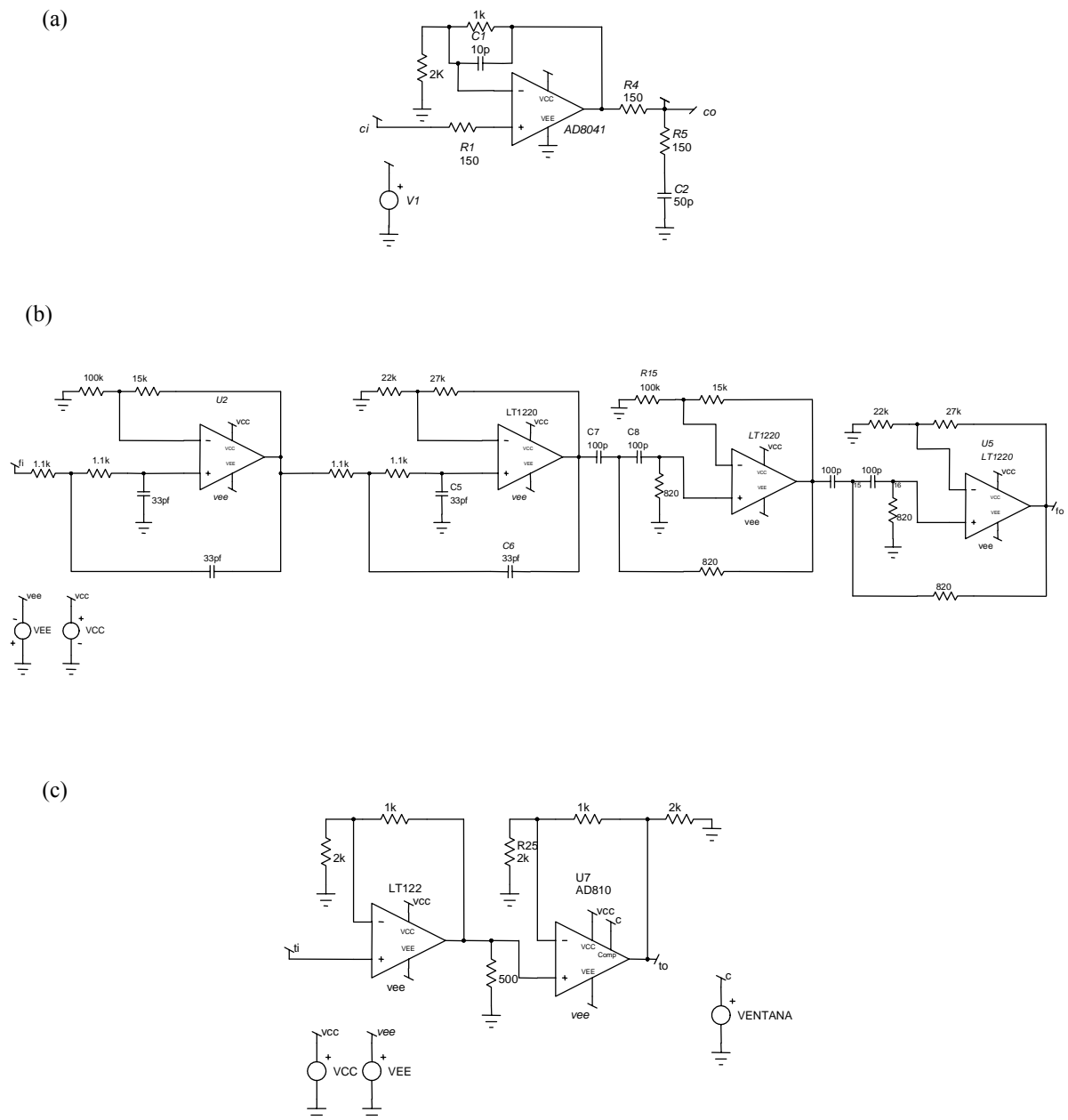
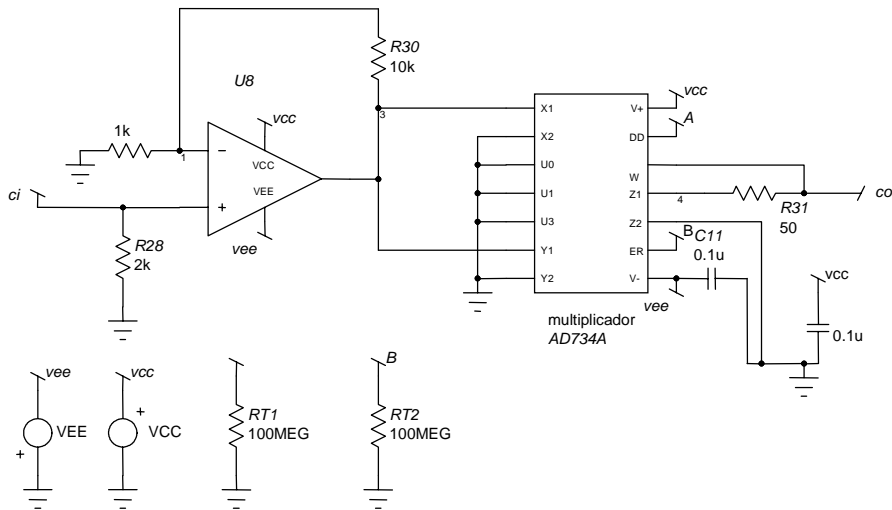


Figura 3.6. Circuitos para obtener el índice de foco (a) Remoción de pulsos de sincronía (*Sync stripper*) (b) Filtro pasa bandas el cual se compone de un filtro de cuarto orden pasa bajas (*U2-U3*) con un filtro de cuarto orden pasa altas (*U4-U5*) (c) Remoción de transitorios (*Transient removal*)

(d)



(e)

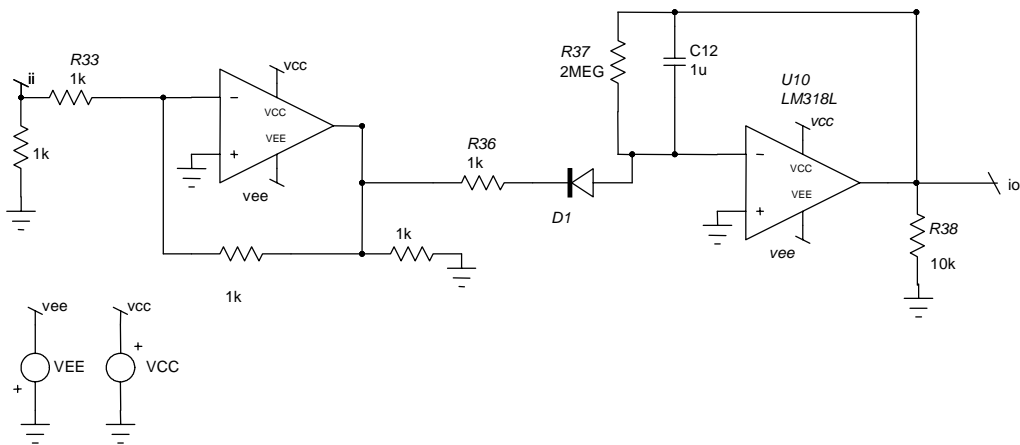


Figura 3.6. (Continuación) (d) Cuadrado de la señal (*Squaring*). (e) Integrador

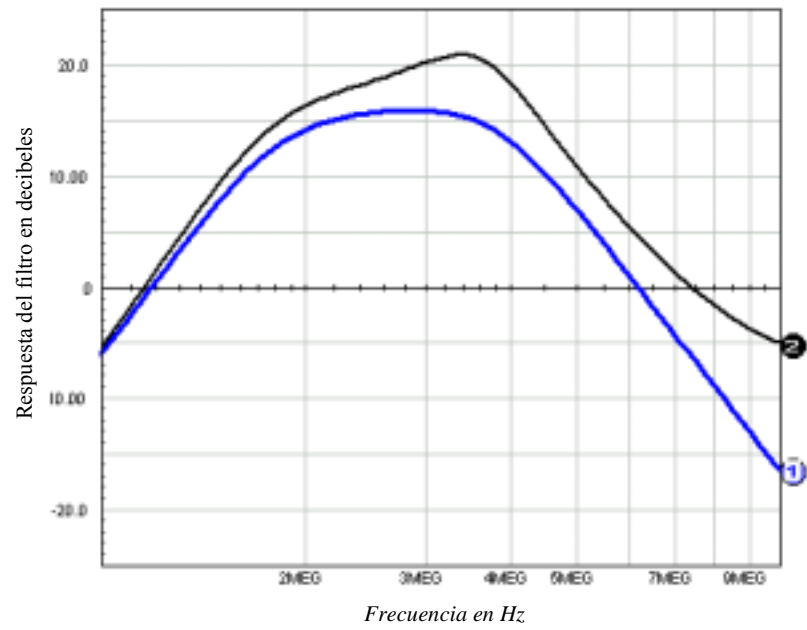


Figura 3.7. Respuesta en frecuencia del filtro. 1) Respuesta del filtro utilizando el amplificador operacional *HA-2548*. 2) Respuesta del filtro utilizando el amplificador operacional *LT1209*

3.3.4 Remoción de transitorios (“*Transient removal*”)

En la figura 3.6c se muestra el circuito de remoción de transitorios, la función de este circuito es remover los transitorios que genera el filtro al inicio y final de una línea de vídeo horizontal; la remoción se logra habilitando una ventana sobre la señal de vídeo. En donde el amplificador operacional *U6* (*LT1220 Linear Technology Corporation*) acondiciona la señal de salida del filtro para ser procesada por el amplificador operacional con deshabilitador *U7* (*AD810 Analog Devices*). El cual se habilita cuando la señal de vídeo se encuentra en un intervalo activo de la ventana horizontal o vertical dada por la sección digital del circuito. En el circuito de medición de foco que fue implementado en [1], se utilizaba el amplificador operacional con deshabilitador *CL411* (*National Semiconductor*), el cual se encuentra obsoleto y no se tiene su modelo en *Spice*.

3.3.5 Cuadrado de la señal (“*Squaring*”)

En la figura 3.6d se muestra el circuito multiplicador, el cual consta del circuito multiplicador de cuatro cuadrantes *AD734* (*Analog devices*), que se encarga de elevar al cuadrado la señal de vídeo.

La configuración que se utilizó para el cuadrado de la señal se seleccionó de la hoja de datos de *Analog devices*, en la opción de multiplicación, donde la función de transferencia viene dada por:

$$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10V} + Z2$$

Las terminales *X2*, *Y2* y *Z2* se conectaron a tierra con lo que son valores de cero, y la terminal *X1* y *Y1* se conectó a la salida de *U8* con lo que la función de transferencia queda:

$$V_f = \frac{V_i^2}{10V}$$

Donde V_f es el voltaje de salida y V_i es el voltaje de entrada, la resistencia conectada de *Z1* a *W* de 50Ω es para compensar el error de la ganancia debido a la resistencia finita de la señal de entrada.

3.3.6 Integrador

Con el circuito integrador (figura 3.6d) se obtiene el índice de foco. El cual consta de un circuito inversor formado con $U9$ ($LT1220$, *Linear Technology Corporation*) en cascada con el integrador $U10$ ($LM318$, *National semiconductor*), dando una ganancia aproximada por:

$$V_0 = \frac{R_{34}}{R_{33} C_{12} R_{36} S} V_1 \quad (3.4)$$

El diodo DI ayuda a retener la señal de entrada al integrador durante los intervalos en la que la ventana de la imagen no se encuentre activa. A la salida de este circuito se obtiene un voltaje que representa el índice de foco de la señal de vídeo.

3.3.7 Respuesta obtenida

Una vez que se simuló los circuitos en forma individual, se formaron subcircuitos de cada uno de ellos para simularlos en forma global; estos bloques se muestran en la figura 3.8 la respuesta obtenida en la simulación se observa en la figura 3.9, y es parecida a la obtenida con el circuito que se implementó físicamente (figura 3.2).

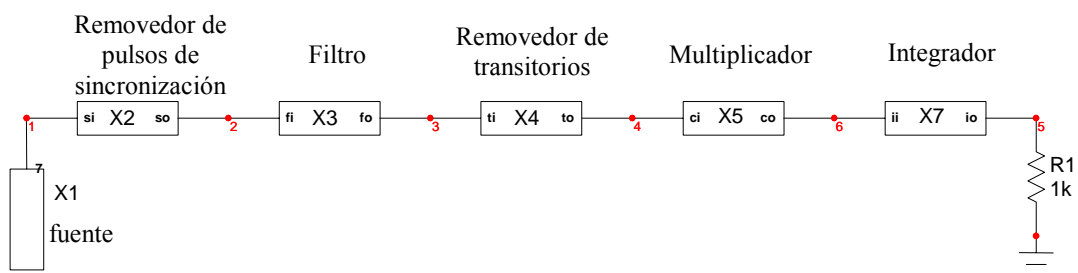


Figura 3.8. Bloques que se utilizaron para simular el índice de foco, cada bloque representa un subcircuito.

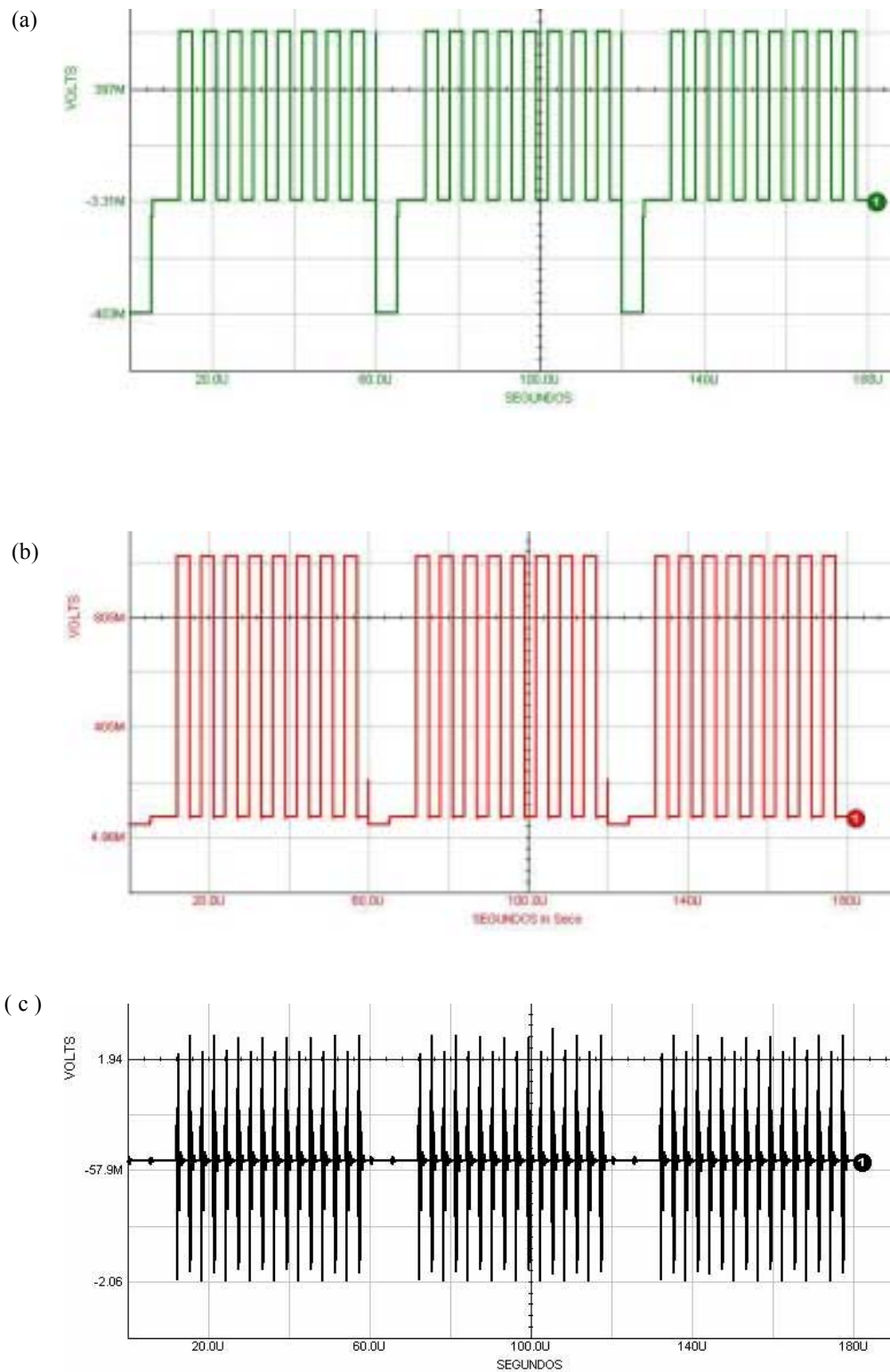
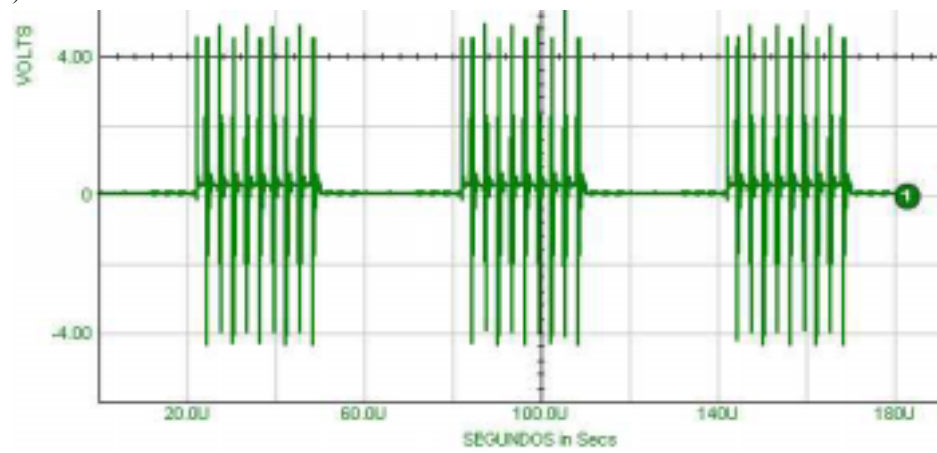
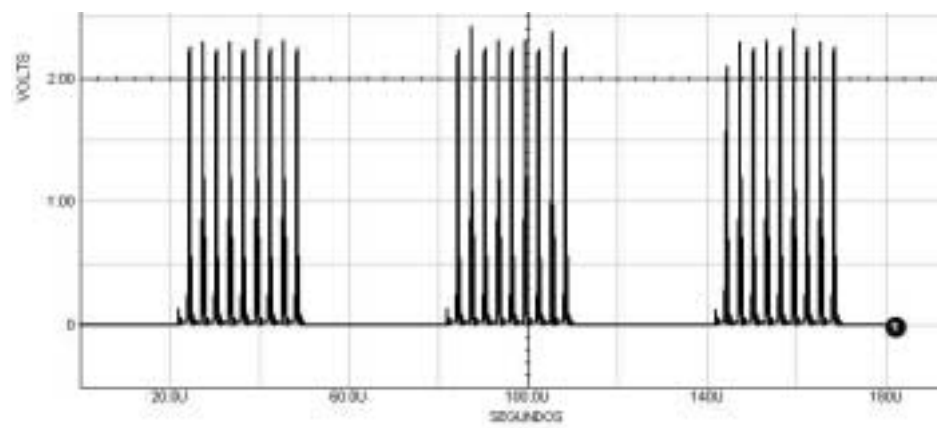


Figura 3.9. Señales obtenidas en la simulación. (a) Señal de vídeo. (b) Señal amplificada y sin los pulsos de sincronización. (c) Señal obtenida del filtro

(d)



(e)



(f)

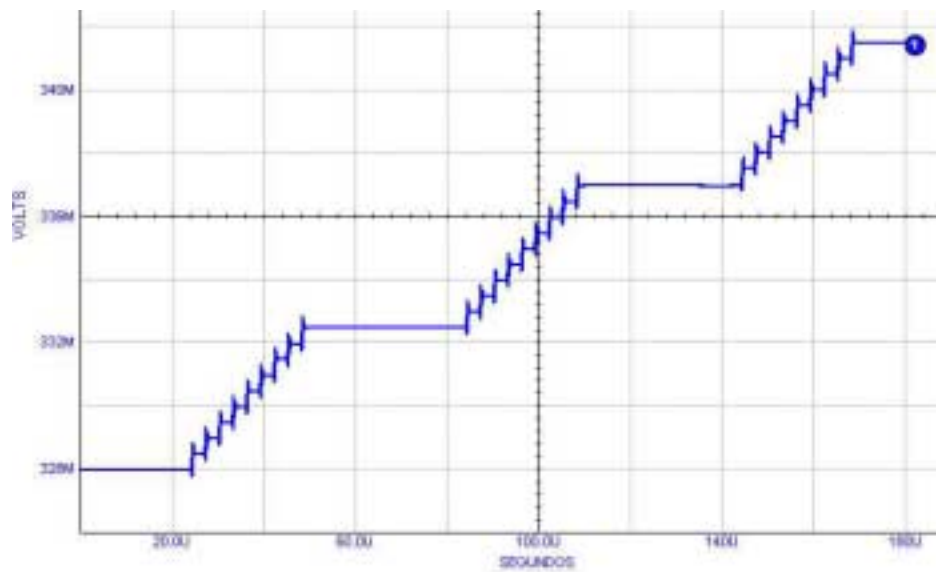


Figura 3.9. (Continuación). (d) Señal obtenida de la ventana. (e) señal obtenida del cuadrado de la señal. (f) señal obtenida del integrador.

3.4 Problemática del circuito integrador.

Analizando la gráfica de la figura 3.9f, la cual corresponde a la señal de salida del inversor $U9$ e integrador $U10$ de la figura 3.6e, se observan ciertos picos de los escalones que sobresalen al inicio y final de la señal integrada de vídeo, y que corresponden al cambio de negro a blanco y viceversa del patrón de barras; por lo que se optó por simular y analizar el circuito inversor e integrador para señales senoidales de alta y baja frecuencia.

Antes del inversor la señal es elevada al cuadrado por el multiplicador, y si la entrada es una señal seno, la salida del multiplicador estará dada por la relación:

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \quad (3.5)$$

Con lo que la frecuencia de la nueva señal es el doble de la original, exigiendo mayor ancho de banda de operación. Para simular el efecto producido por el multiplicador de duplicar la frecuencia según la ecuación 3.5, se aplicó la función de valor absoluto a fuente senoidal de 3 volt de amplitud como se muestra en la figura 3.10. Primero se simuló el circuito a una frecuencia de 100 KHz, mostrando las respuestas en la figura 3.11a,b,c, enseguida se simuló para una frecuencia de 3 MHz, mostrando las respuestas en la figura 3.11d,e,f.

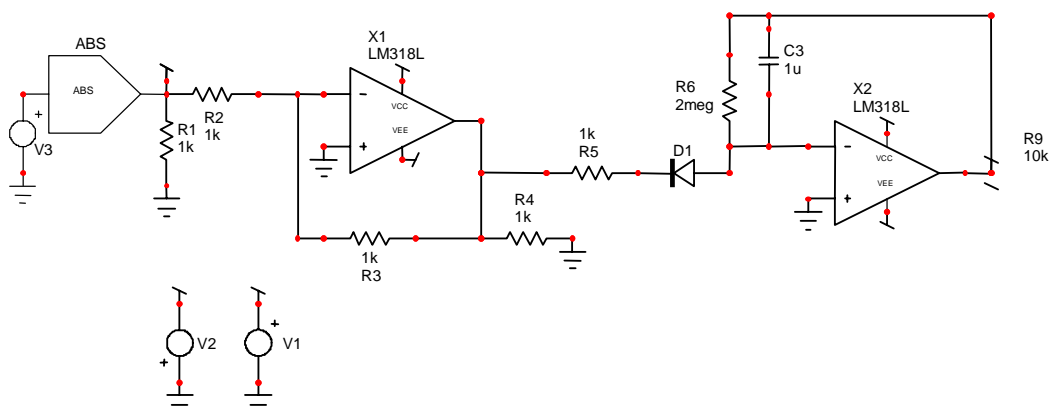


Figura 3.10. Circuito Inversor e integrador, alimentado por una señal seno de 3 volts

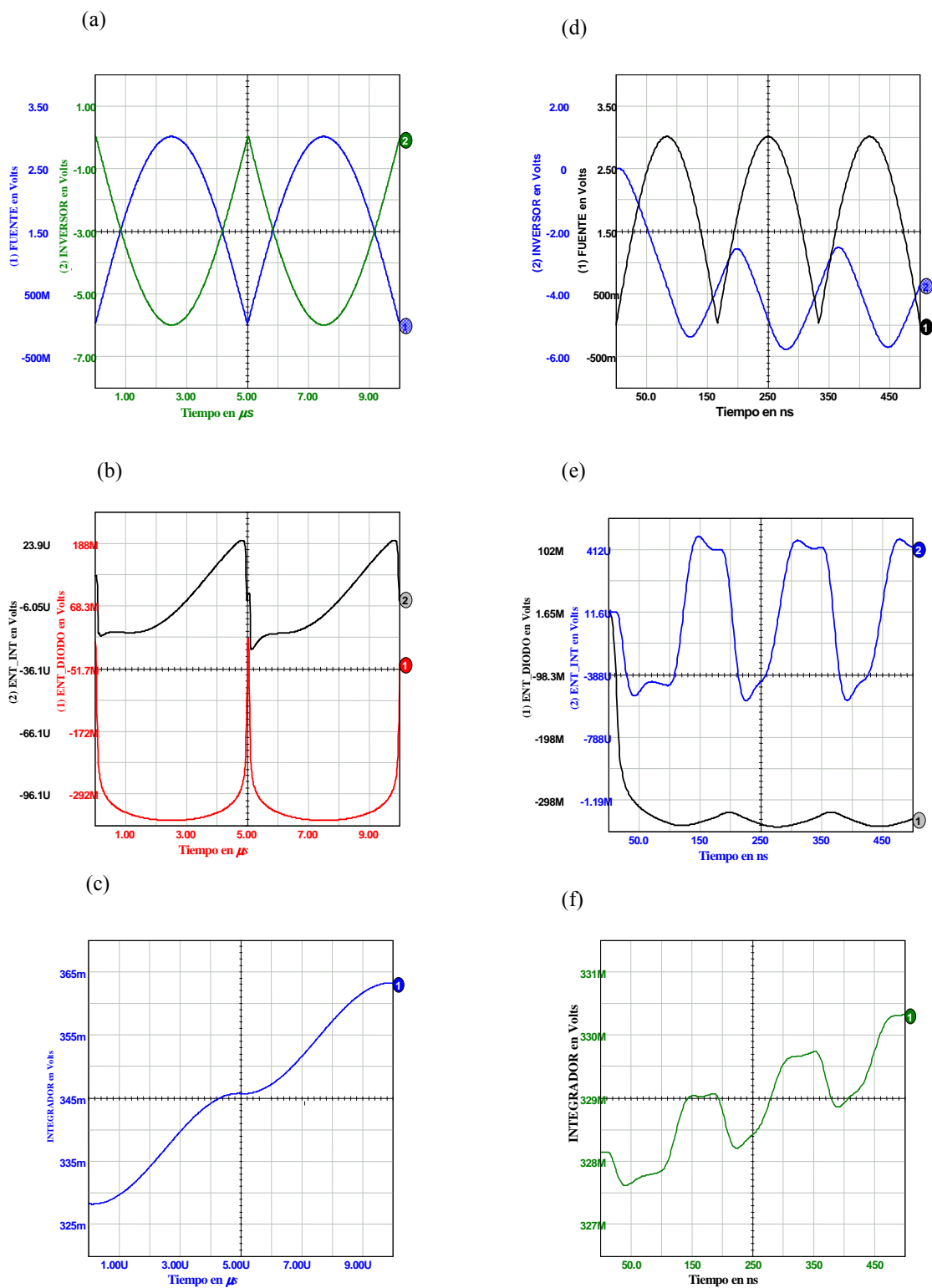


Figura 3.11. Respuestas de salida del circuito de la figura 3.10 a una señal de entrada tipo senoidal con frecuencia de 100 KHz a,b,c. Respuesta a una señal senoidal con una frecuencia de 6 MHz d,e,f. Se muestra como el circuito funciona correctamente para frecuencia de 100 KHz y no así para entradas con frecuencias mayores a 6 MHz.

En las figuras 3.11a,b,c se obtiene la respuesta esperada, ante una entrada del tipo seno con frecuencia de 100 KHz . En la figura 3.11d,e,f se gráfica la señal de prueba a una frecuencia de 6 MHz y se observa cómo la respuesta del circuito inversor no alcanza a seguir esta señal, obteniendo menos amplitud y distorsión en la señal. En la figura 3.11e se muestra la señal obtenida antes y después del diodo $D2$ de la figura 3.10, donde se observa que el diodo siempre está polarizado directamente, pues la señal obtenida del inversor siempre es menor que el voltaje necesario de polarización. En la figura 3.11f se muestra como la señal obtenida a la salida del integrador no es la deseada, ya que la señal disminuye en ciertos intervalos de tiempo, en vez de mantenerse o incrementarse. Se aprecia que no se logra integrar a las señales de más alta frecuencia de la imagen, radicando el problema en el inversor antes del integrador. El integrado $LM318$ es un estándar industrial utilizado ampliamente, barato y que se utilizó en el circuito original; tanto para el inversor como el integrador. Para el caso del integrador la constante de tiempo $R_7C_3 = 1\text{ms}$ es lo suficientemente pequeña para integrar las señales en un intervalo de vídeo de 16ms , y su ancho de banda del $LM318$ es más que adecuado. Sin embargo, el amplificador inversor $LM318$ del circuito de autofocus no alcanzaba a seguir la señal del valor absoluto de 6 MHz de frecuencia. Por lo que se sustituyó en la simulación por el amplificador operacional $LT1220$, que si puede procesar la señal a esta frecuencia, ya que tiene un ancho de banda de 45 MHz . El desempeño de este amplificador se muestra en la figura 3.12.

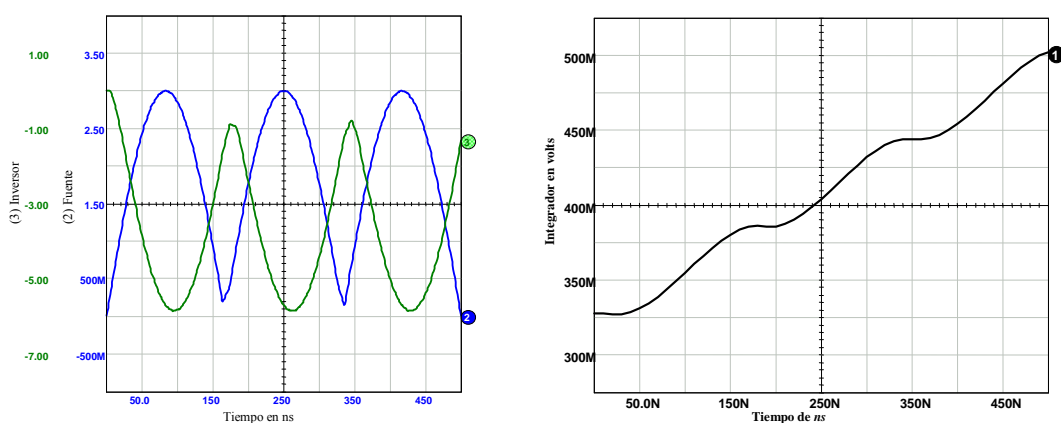


Figura 3.12. Respuesta de salida del circuito de la figura 3.10 a una señal seno con una frecuencia 3 MHz , utilizando el amplificador operación $LT1220$.

Capítulo 4

Modificaciones al circuito de foco

En este capítulo se presentan y comparan tres formas de medir la salida de foco sobre la señal de vídeo. Donde uno de los métodos presentados representa al circuito desarrollado anteriormente en el capítulo tres. Además de estos tres circuitos de medición de foco, se modificó la manera de establecer el área de medición, introduciendo una ventana variable sobre la imagen para que el procesamiento de la señal se realice sólo en el área de la ventana. Finalmente, se evalúa el método de ventana variable utilizando varios objetos como prueba.

4.1 Nuevo procesamiento de la señal de vídeo.

La medición de foco se realizó con tres diferentes circuitos de medición, tal y como se observa en los diagramas de bloques de la figura 4.1. En la primera se utilizó los bloques de la figura 4.1a, en donde el procesamiento para obtener el índice de foco es igual al circuito del capítulo 3: Remoción de pulso de sincronización de la señal de vídeo (transient removal), enseguida se filtra la señal, después se aplica la ventana, luego se eleva al cuadrado esta señal, para luego ser integrada y obtener la medición de foco. La segunda forma de procesar la señal para obtener el índice de foco se muestra en la figura 4.1b, en donde se sustituye el multiplicador por un bloque que calcula el valor absoluto después que se calcula el valor absoluto la señal pasa a ser integrada y se obtiene la medición de foco.

La ultima forma que se realizó para medir el índice de foco se muestra en el diagrama de bloques de la figura 4.1c, donde el multiplicador y el integrador ya no se encuentran presentes y son sustituidos por el bloque que mide el valor eficaz (RMS) que determina el índice de foco.

Estas tres formas diferentes se simularon y se ejercitaron con un conjunto de señales de vídeo. Una señal de este conjunto representa la imagen en foco y otras diez señales representan el proceso de desenfoque, que correspondería al desplazamiento vertical en z, fuera del plano focal. Para normalizar el índice de foco se dividen los índices obtenidos con cada una de las señales con el valor de foco máximo del conjunto. Para obtener las gráficas, se considera que existe simetría en la respuesta al desenfoque axial con respecto al plano de referencia (en el que se tiene el mejor foco). La simulación se realizó de dos formas diferentes, para cada una de las formas de procesar la señal, una considerando offset y otra sin considerarlo, para eliminar el offset se insertó una fuente de corriente directa de 0.1 volt con signo negativo después del circuito de remoción de transitorios.

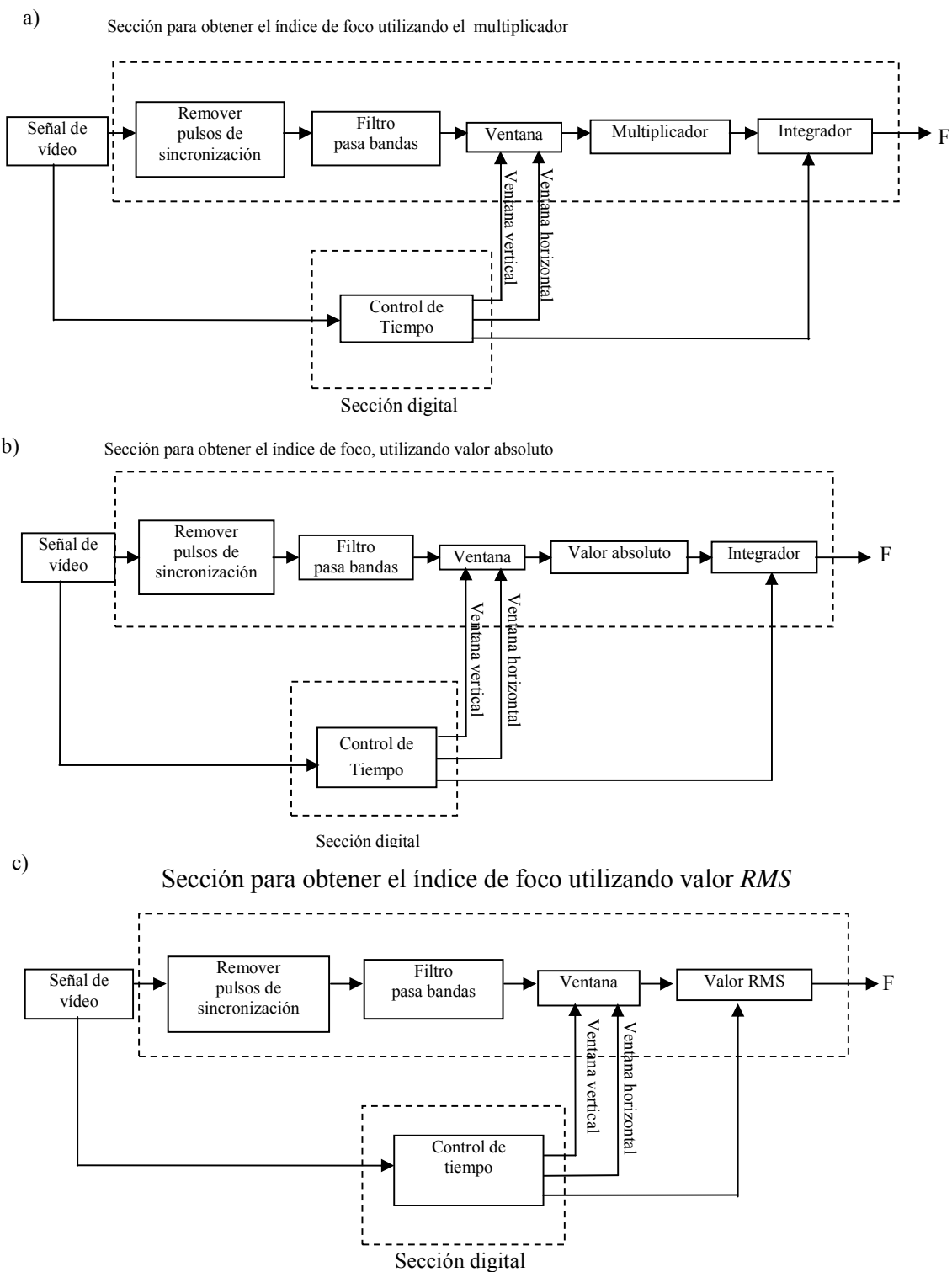


Figura 4.1. Diagramas de bloques para medir el índice de foco con tres formas diferentes de procesamiento. a) Diagrama de bloques donde se utiliza el multiplicador para medir el índice de foco b) Diagrama de bloques para medir el índice de foco utilizando el valor absoluto c) Diagrama de bloques utilizando el valor eficaz o *RMS*.

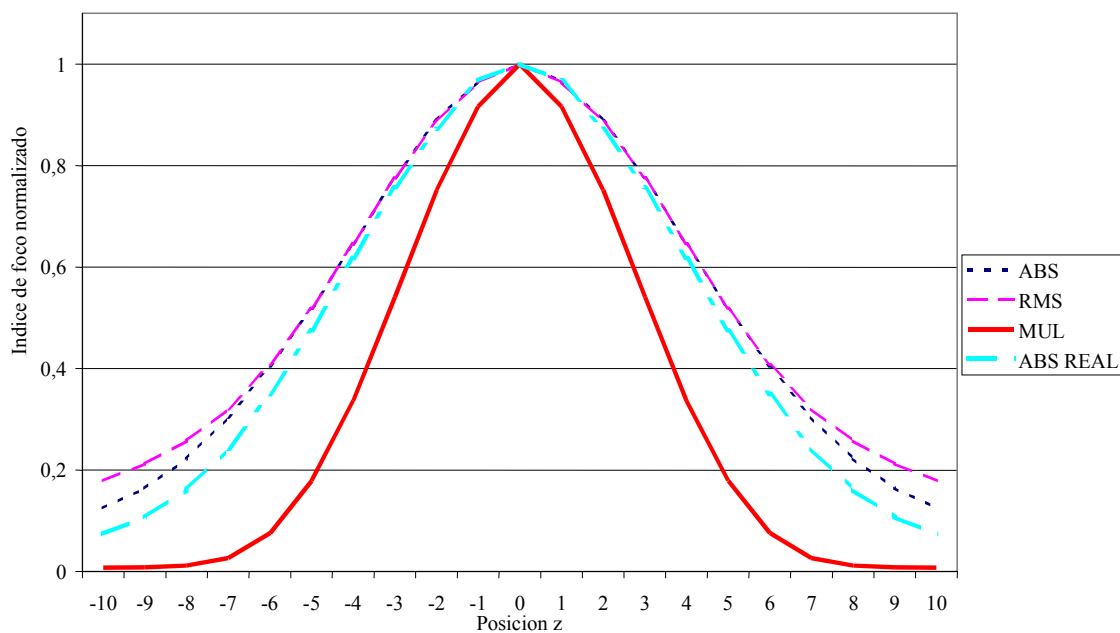
4.1.1 Multiplicador.

La simulación con el circuito original de medición de foco utiliza el circuito integrado multiplicador de cuatro cuadrantes AD734. Una de las desventajas de utilizar este circuito es que el circuito integrado AD734 es más elevado en costo que los demás componentes. En la figura 4.2a y 4.2b se observa como este método lleva rápidamente al índice de foco máximo, siendo más preciso. Y además es menos sensible al offset, esto debido a que al elevar al cuadrado, valores pequeños de offset, los hace más pequeños con respecto a la señal. Se aprecia también que no existen diferencias significativas en la función de foco cuando la señal del filtro tiene un error de offset.

4.1.2 RMS.

El circuito de valor eficaz *RMS* (Raíz media cuadrática), sustituye los componentes multiplicador y el integrador en el procesamiento de la señal. Tal y como se indica en la figura 4.3. Esto se puede lograr con un circuito integrado que mide el valor eficaz, como los circuitos *AD637* (Analog Devices) que tiene un ancho de banda de 8 *MHz* y el circuito *AD8361* (Analog Devices) que tiene un ancho de banda de 2.5 *GHz*. No se encontraron los modelos de estos circuitos, por lo que únicamente se simuló los bloques X1 a X4, que corresponde de la fuente de señal hasta el circuito de remoción de transitorios, una vez obtenida la respuesta se obtiene el valor RMS con una función del *Spice*. La función de foco con offset y eliminando el offset se muestra en la figura 4.2. Una de las ventajas de utilizar este circuito es el rango dinámico que se obtiene y la simplificación en el circuito de autofocus. Pero se observa también en la gráfica 4.2, como el offset le afecta mayormente a diferencia del procesamiento con multiplicador que no le afecta.

a)



b)

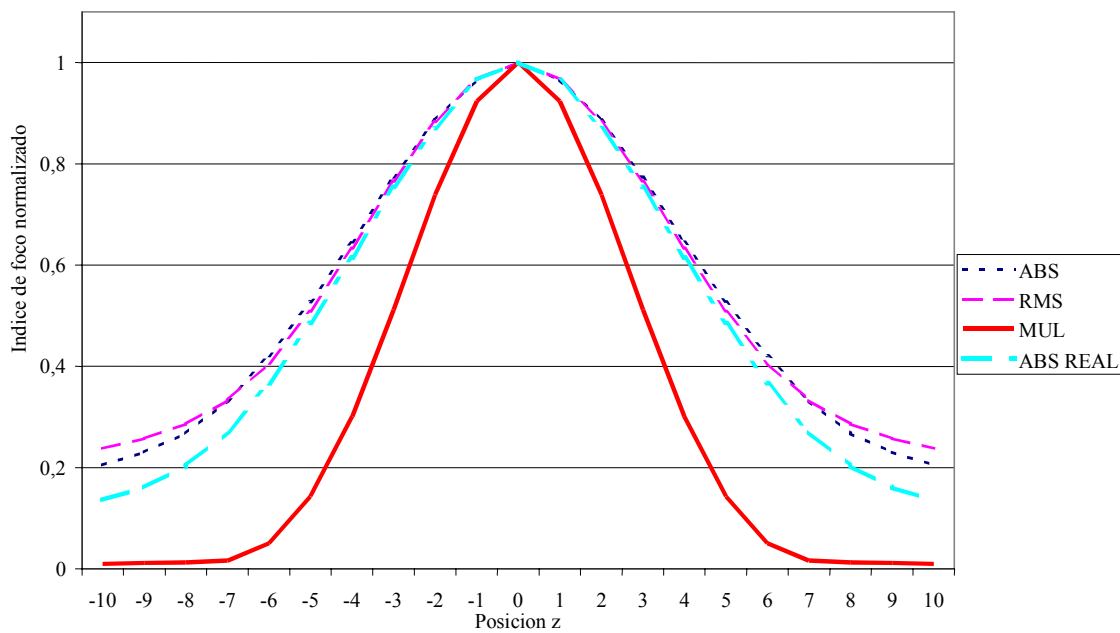


Figura 4.2. Índices de foco obtenido con los bloques utilizando valor absoluto (función de *Spice* y real), valor *RMS* (función de *Spice*), y multiplicador. a) sin considerar offset b) considerando offset.

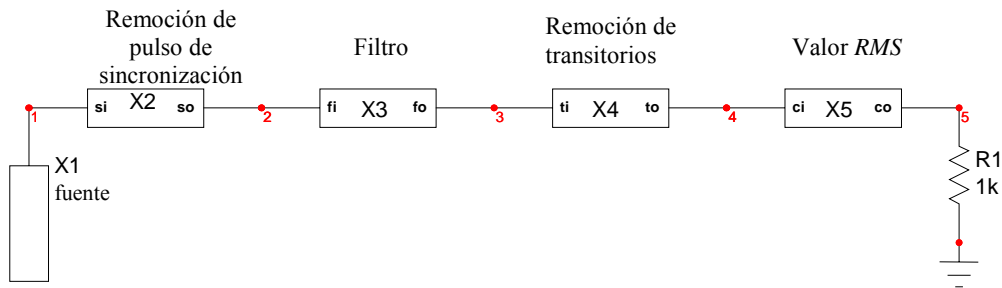


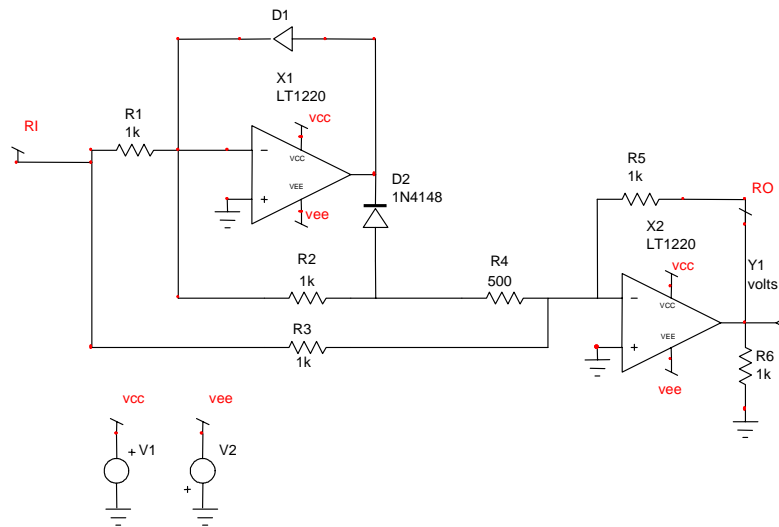
Figura 4.3. Diagrama de bloques para simular el índice de foco con el valor eficaz

4.1.3 Valor Absoluto.

En esta modalidad en la salida que se obtiene del circuito remoción de transitorios se calcula el valor absoluto y esta señal se integra para obtener el índice de foco. La forma de procesar la señal fue de dos formas diferentes, una utilizando una función aritmética de *Spice* que calcula el valor absoluto y otra con un circuito rectificador como el que se muestra en el circuito 4.4a. El diagrama de bloques utilizado se muestra en la figura 4.4b. El funcionamiento del circuito de valor absoluto mostrado en la figura 4.4a es el siguiente: cuando el voltaje de entrada es positivo se polariza inversamente el diodo *D1* y directamente el diodo *D2*, actuando el amplificador operacional *X1* como un inversor en cascada con otro circuito inversor *X2*, con lo que el voltaje de salida es positivo. Cuando el voltaje de entrada es negativo el diodo *D1* se polariza directamente y el diodo *D2* se polariza inversamente con lo que se deshabilita el circuito inversor del amplificador operacional *X1*, actuando únicamente el circuito inversor correspondiente al amplificador operacional *X2*, con lo que se vuelve a tener un voltaje positivo a la salida.

La función de foco que se obtiene se muestra en la figura 4.2 donde se observa como se alcanza el valor de foco un poco más lento que con el circuito del multiplicador y muy parecida al circuito *RMS*. También se observa como le afecta el offset, al índice de foco, este circuito es más simple que el multiplicador y más económico.

a)



b)

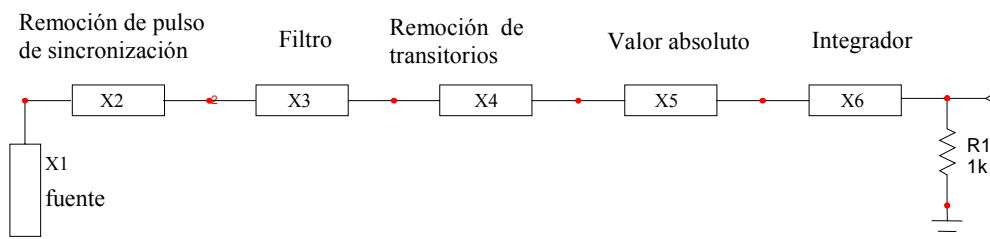


Figura 4.4. Circuito para simular el índice de foco con el valor absoluto. a) Circuito para obtener el valor absoluto. b) Diagrama de bloques que se utilizó para calcular el índice de foco.

4.2 Creación de una ventana variable.

En ocasiones en la medición de foco que se realiza sobre la señal de vídeo, no es necesario tomar toda el área de la imagen, sino solamente un área específica que interesa para el cálculo de foco. Por lo que se implementó un circuito, el cual selecciona una ventana de la imagen, la cual puede variar en inicio y duración. Otra de las ventajas de utilizar la ventana variable es el tiempo de procesamiento para la medición de foco, ya que sólo se procesa el área seleccionada, y se puede tener una lectura más rápida antes del tiempo de un cuadro completo de vídeo. En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de cómo seleccionar la ventana variable, por medio de las coordenadas de inicio horizontal h_0 y duración horizontal Δh , inicio vertical v_0 y duración vertical Δv , sobre una señal de vídeo. Tanto las coordenadas como la duración de la ventana, serán datos digitales con valores de 0 a 255.

En la figura 4.6 se muestra el diagrama de bloques para obtener la ventana. Para la parte horizontal de la ventana se utilizan potenciómetros digitales *MPC42050* (*Microchip*), que ajustan las constantes de inicio y duración de la parte horizontal. Y para obtener la parte vertical se utilizan contadores *74C193* para contar el inicio y duración del número de líneas horizontales.

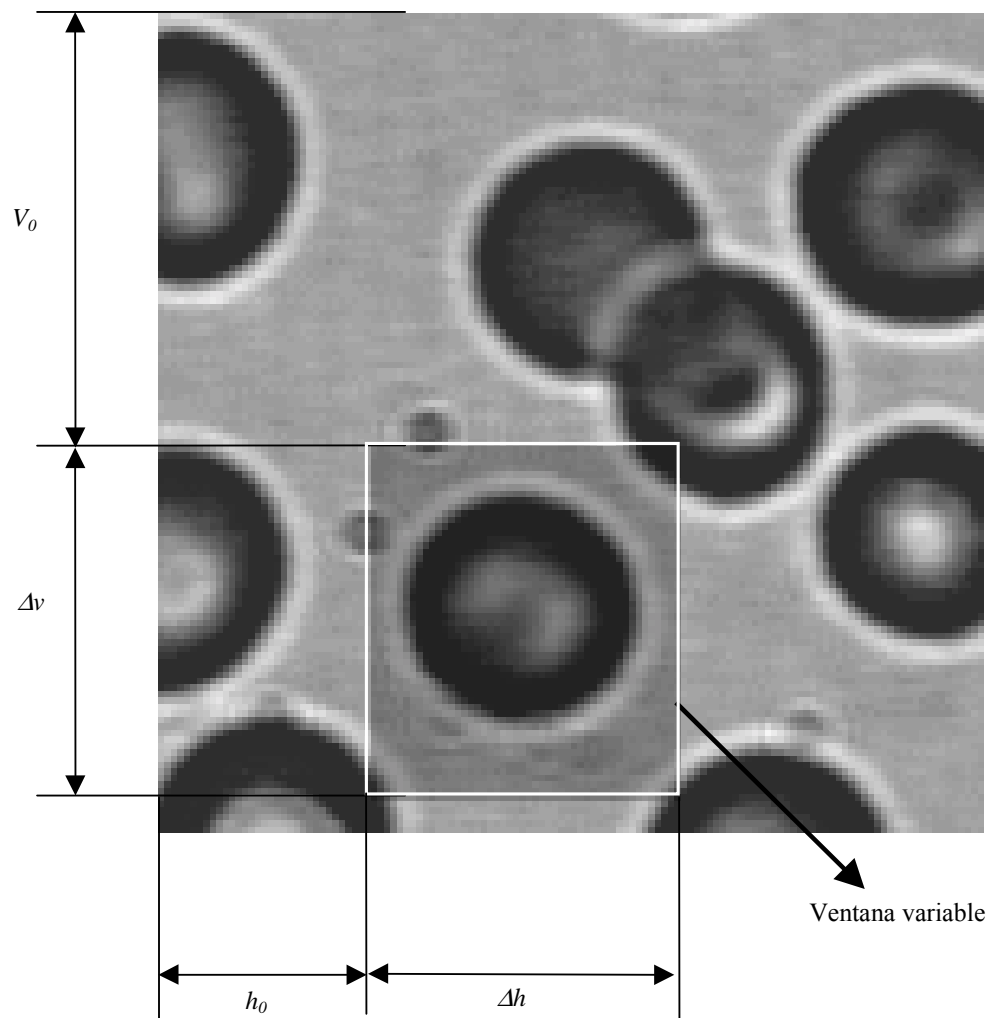


Figura 4.5. Ejemplo de selección de una ventana variable, sobre un cuadro de imagen h_0 representa el inicio horizontal de la ventana, Δh representa la duración de la parte horizontal, v_0 el inicio de la parte vertical, Δv la duración de la parte vertical

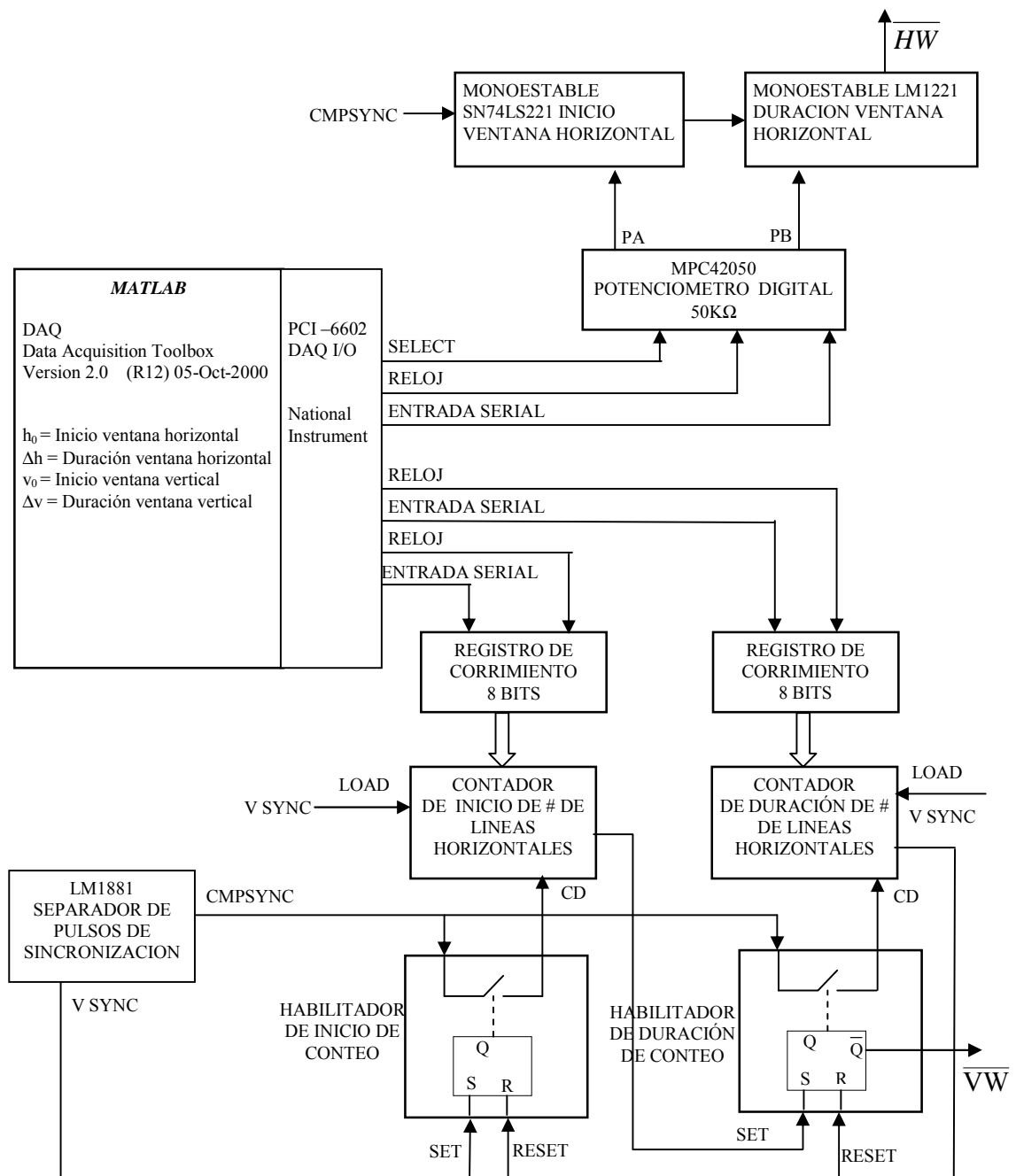


Figura 4.6. Diagrama de bloques para generar la ventana variable. En donde *PA* potenciómetro digital A, *PB* potenciómetro digital B, *V SYNC* pulsos de duración de líneas verticales, *CMPSYNC* pulsos de duración de sincronía horizontal, *CD* Conteo decremental, *Q* pulso de valor verdadero al activar el Set, \bar{Q} pulso de valor negado al activar el Set, \overline{HW} pulso negado que representa la ventana horizontal, \overline{VW} pulso negado que indica la duración de la ventana vertical.

4.2.1 Dimensión horizontal de la ventana variable.

Los pulsos de sincronización horizontal y vertical obtenidos con el circuito *LM1881* (*National Semiconductor*), accionan la presencia y duración horizontal de la ventana, por medio de los multivibradores monoestables *X1* y *X2* mostrados en la figura 4.7a. El tiempo de inicio de la ventana horizontal la genera *X1* con la constante de tiempo $R1C1$ y el tiempo de duración *X2* con la constante de tiempo $R2C2$. Donde $R1$ y $R2$ son potenciómetros digitales *MPC42050*, su modelo se muestra en la figura 4.7b y los detalles de funcionamiento se encuentran en el apéndice E.

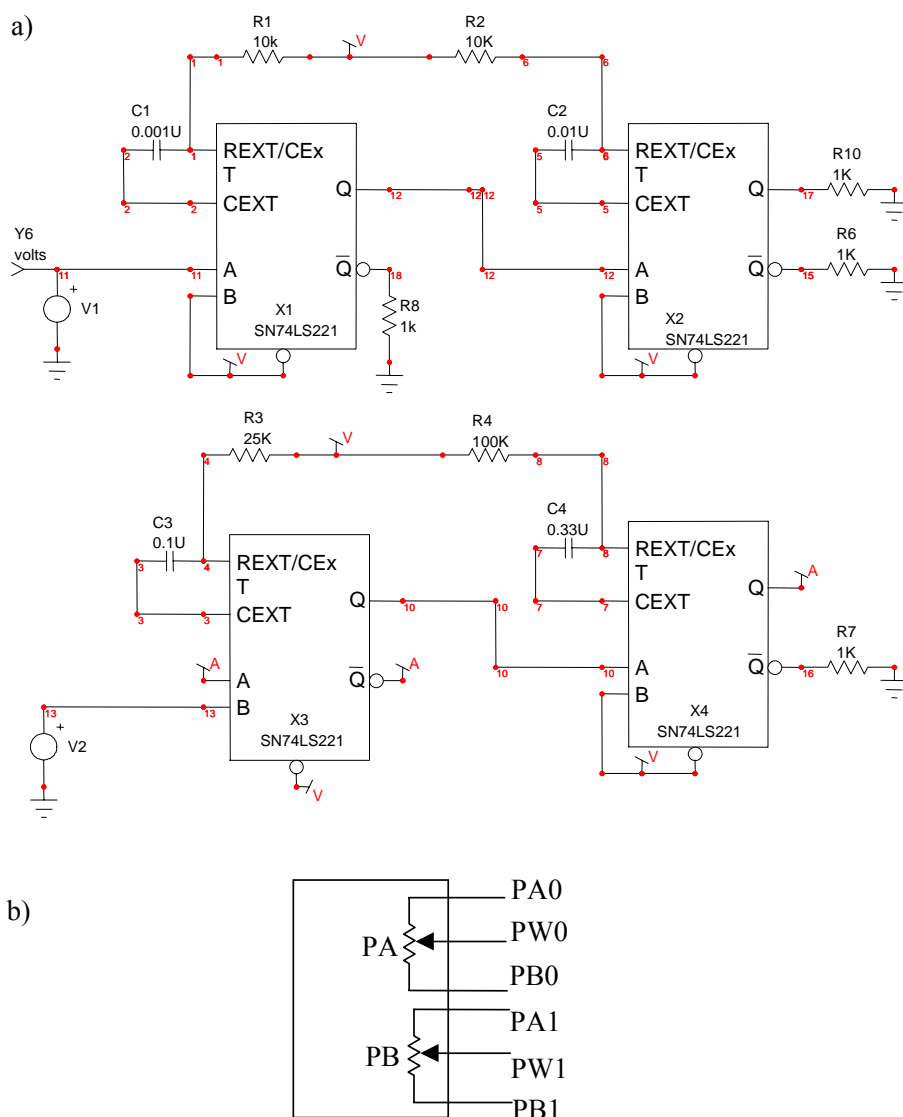


Figura 4.7. a) Diagrama utilizado para simular la sección digital del circuito de autofocus. b). Modelo del potenciómetro variable *MPC42050*, donde RWA , y RWB son resistencias variables.

Para establecer la ventana horizontal se alimenta a la computadora el inicio h_0 y la duración de la ventana horizontal Δh , en donde estos parámetros pueden variar de 0 a 255. Para enviar la información de la computadora al potenciómetro digital MCP42050 (Microchip), se utilizó como software a *MATLAB* con el *Toolbox DAQ Data Acquisition Toolbox, Version 2.0 (R12)*, y como interfase la tarjeta de *National Instrument DAQ PCI 6602*. Las líneas de salida digital *DIO0*, *DIO1* y *DIO2* de la tarjeta I/O se utilizaron para enviar la información al potenciómetro digital. Donde la primera salida es la información del reloj (*SCK*), la segunda es el Chip Select (*CS*) y la tercera es la entrada de datos serial (*SI*). Para iniciar la entrada de código al potenciómetro digital, el *CS* debe de ser un cero digital (normalmente está en uno) y la señal de reloj se ajustó a una frecuencia de 1 *KHz*, para después enviar un código serial de dieciséis bits por medio de la entrada *SI*. Los primeros ocho bits b_0 - b_7 sirven para seleccionar el potenciómetro, de acuerdo a la siguiente secuencia:

b_0 y b_1 pueden ser cualquier valor.

b_2 y b_3 representan la acción a realizar, en nuestro caso es escribir datos al potenciómetro, con lo que se envió 0 y 1.

b_4 y b_5 pueden ser cualquier valor.

b_6 y b_7 representan la selección del potenciómetro al que se va a escribir, donde 01 significa que se va a escribir en el potenciómetro *PA* y 10 significa que se va a escribir en el potenciómetro *PB*.

Los siguientes 8 bits b_8 - b_{15} representan el valor de la resistencia de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_{WB} = \frac{(50K)D_n}{256} + 125$$

Donde R_{WB} es el valor del potenciómetro digital en Ohms y D_n es el valor digital enviado por la computadora.

Una vez que se tienen los valores digitales de los potenciómetros, estos junto con los capacitores determinarán la constante de tiempo de los multivibradores monoestables *SN74LS221*. La ecuación del tiempo de estos multivibradores monoestables está dada por:

$$t_w = C_{ext} R_{ext} \ln 2 = 0.7 C_{ext} R_{ext}$$

Para abarcar todo el rango de inicio y duración de la ventana horizontal se ajustó C_{ext} en $0.002 \mu F$, y se utilizó el potenciómetro digital de $50 K\Omega$ (R_{ext} máxima), que dan una longitud máxima de tiempo horizontal de $70 \mu s$, y el valor de un incremento digital de $0.27 \mu s$. Estos valores fueron idénticos para el inicio y duración de la ventana horizontal.

4.2.2 Dimensión vertical de la ventana variable.

En la figura 4.6 también se muestra el diagrama de bloques para generar la ventana vertical, que a diferencia de la ventana horizontal que utiliza un tiempo de inicio y duración, en la ventana vertical se cuenta el número de líneas horizontales. Para generar la ventana vertical la computadora envía la información de inicio v_0 y duración de la ventana vertical Δv , a registros de corrimiento *74LS164* en donde el número digital puede ser de 0 a 255. Se utilizó el software *MATLAB* con el paquete de herramienta de adquisición de datos *DAQ (Data Acquisition Toolbox)*, versión 2.0 (R12) y como interfase la tarjeta de *National Instrument DAQ PCI 6602*.

La información es transmitida de la computadora al registro de corrimiento *DM74LS164* por medio de cuatro líneas digitales. Las primeras dos son el reloj y la entrada serial de 8 bits correspondientes al número de líneas horizontales de inicio, las otras dos líneas digitales corresponden al reloj y la entrada serial de 8 bits correspondientes a la duración del número de líneas horizontales. El número de 8 bits del primer registro de corrimiento se carga al contador de inicio de líneas horizontales, y el número de 8 bits del segundo registro de corrimiento se envía al contador de duración de líneas horizontales (ver figura 4.6 y apéndice D). El pulso de duración vertical, V_{sync} del *LMI881*, sirve para activar el número binario cargado en los contadores de inicio y duración, y habilita la cuenta regresiva de los contadores con cada pulso de la línea horizontal. Una vez que llega a cero el número de líneas de inicio, el contador envía un pulso para activar su latch correspondiente el cual produce dos señales: un pulso para activar la cuenta regresiva de duración de las líneas horizontales y otro para señalar la presencia de la ventana vertical \overline{vw} . Cuando el contador de duración de líneas horizontales termina, se envía un pulso para finalizar el ciclo de la ventana vertical.

4.2.3 Determinación de ecuaciones para la ventana variable.

Las ecuaciones de tiempo horizontal y tiempo vertical se determinaron en función de los valores digitales del potenciómetro y del conteo de líneas horizontales. Para determinar el tiempo de inicio correspondiente a la ventana horizontal, se fijó la duración de dieciséis unidades digitales y se fue variando el tiempo de inicio en incrementos de diez unidades para el siguiente valor. Las mediciones se tomaron con un osciloscopio *Tektronix TDS210 de 60 MHz*, a una velocidad de *1GS/s*. En una línea activa de vídeo, la medición del tiempo de inicio correspondía al intervalo entre el pulso de sincronía y el inicio de la ventana horizontal. Para determinar el tiempo de duración correspondiente a la ventana horizontal, se tomó un tiempo de inicio fijo de un valor digital de dieciséis, el cual corresponde a un tiempo de $4.4\mu s$, a partir del pulso de sincronización, y se varió la duración. La medición se realizó entre los flancos de bajada y subida de la ventana horizontal.

Las mediciones que determinan las ecuaciones de la ventana horizontal se muestran en la figura 4.8. En la figura 4.8a se observa la gráfica correspondiente a la medición del tiempo de inicio horizontal contra el número digital alimentado a la computadora, y se obtiene la aproximación lineal con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9999 y una ecuación resultante de:

$$th_0 (\mu s) = 0.2134h_0 - 2.4028$$

donde: h_0 es el número digital alimentado a la computadora, y th_0 es el tiempo de inicio de la ventana horizontal.

En la figura 4.8b se muestra la gráfica correspondiente a la medición del tiempo de duración horizontal contra el número digital alimentado a la computadora, y se obtiene la aproximación lineal con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9999 y una ecuación resultante de:

$$\Delta th (\mu s) = 0.2128\Delta h + 2.0053$$

donde: Δh es el número digital (alimentado a la computadora) y Δth es el tiempo de inicio de la ventana horizontal.

El procedimiento utilizado para medir el tiempo vertical contra el número digital fue el mismo que el realizado en la ventana horizontal. El valor constante de duración vertical fue de 20 y el valor constante de inicio fue de 10, donde el valor digital corresponde al número de líneas. Los resultados se muestran en la figura 4.9. En la figura 4.9a se muestra la gráfica correspondiente a la medición del tiempo de inicio vertical contra el número digital alimentado a la computadora, en donde la aproximación lineal arroja un coeficiente de determinación R^2 de 0.9999 y la ecuación resultante es:

$$tv_0 (ms) = 0.0635v_0 - 0.1337$$

donde: v_0 es el número digital de inicio vertical alimentado a la computadora y tv_0 es el tiempo de inicio de la ventana vertical. En la figura 4.9b se muestra la gráfica correspondiente a la medición del tiempo de duración vertical contra el número digital alimentado a la computadora, en donde la aproximación lineal arroja un coeficiente de determinación R^2 de 1 y la ecuación es:

$$\Delta tv (ms) = 0.0636\Delta v - 0.092$$

donde: Δv es el número digital de duración alimentado a la computadora y Δtv es el tiempo de duración de la ventana vertical.

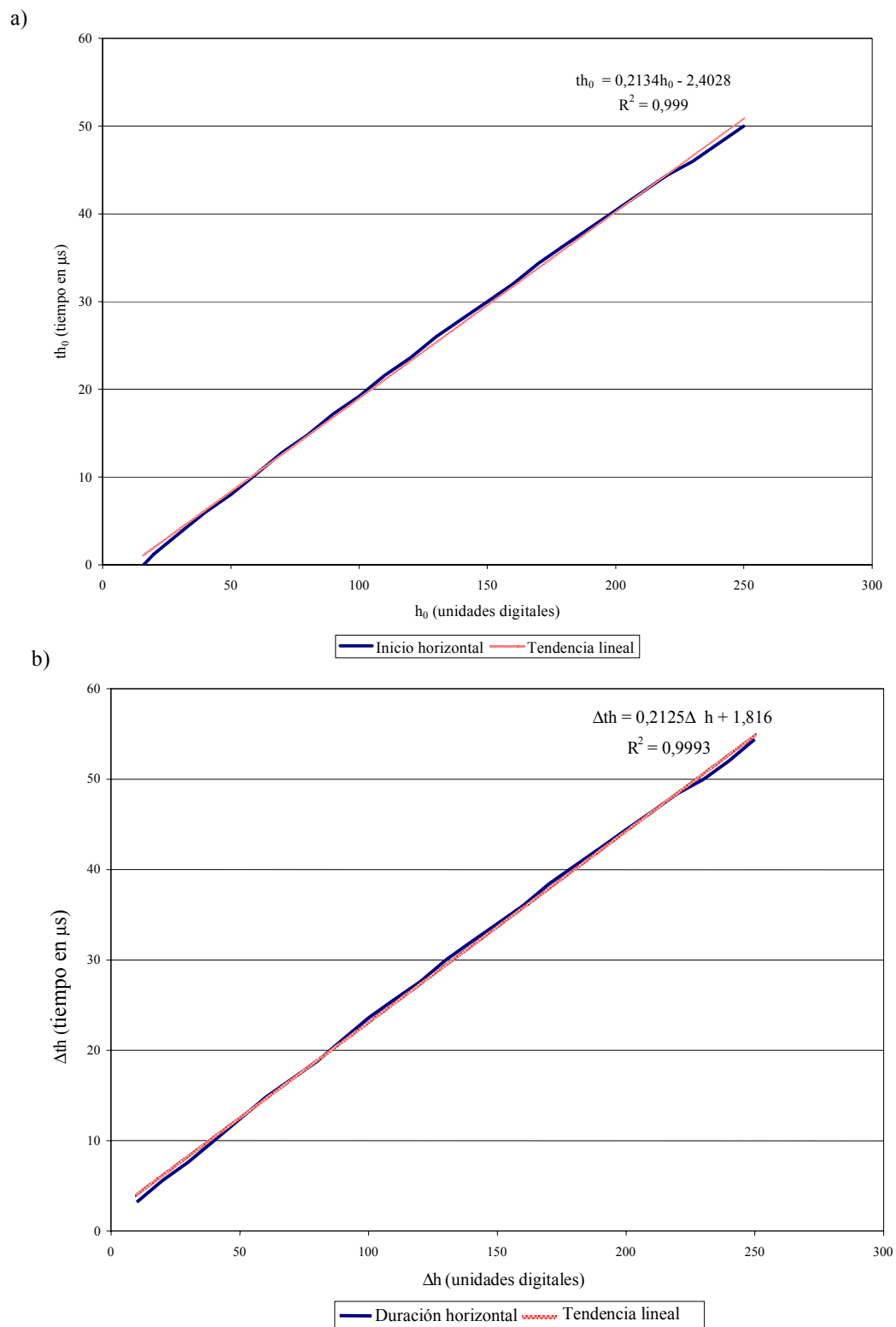


Figura 4.8. Gráficas con el tiempo de inicio y duración horizontal de la ventana. El tiempo se midió con un osciloscopio Tektronix TDS210, de una señal de vídeo RS170 con una duración activa de la línea de 57.3 μs . a) Ajuste de curva para el inicio horizontal. b) Ajuste de curva para la duración horizontal.

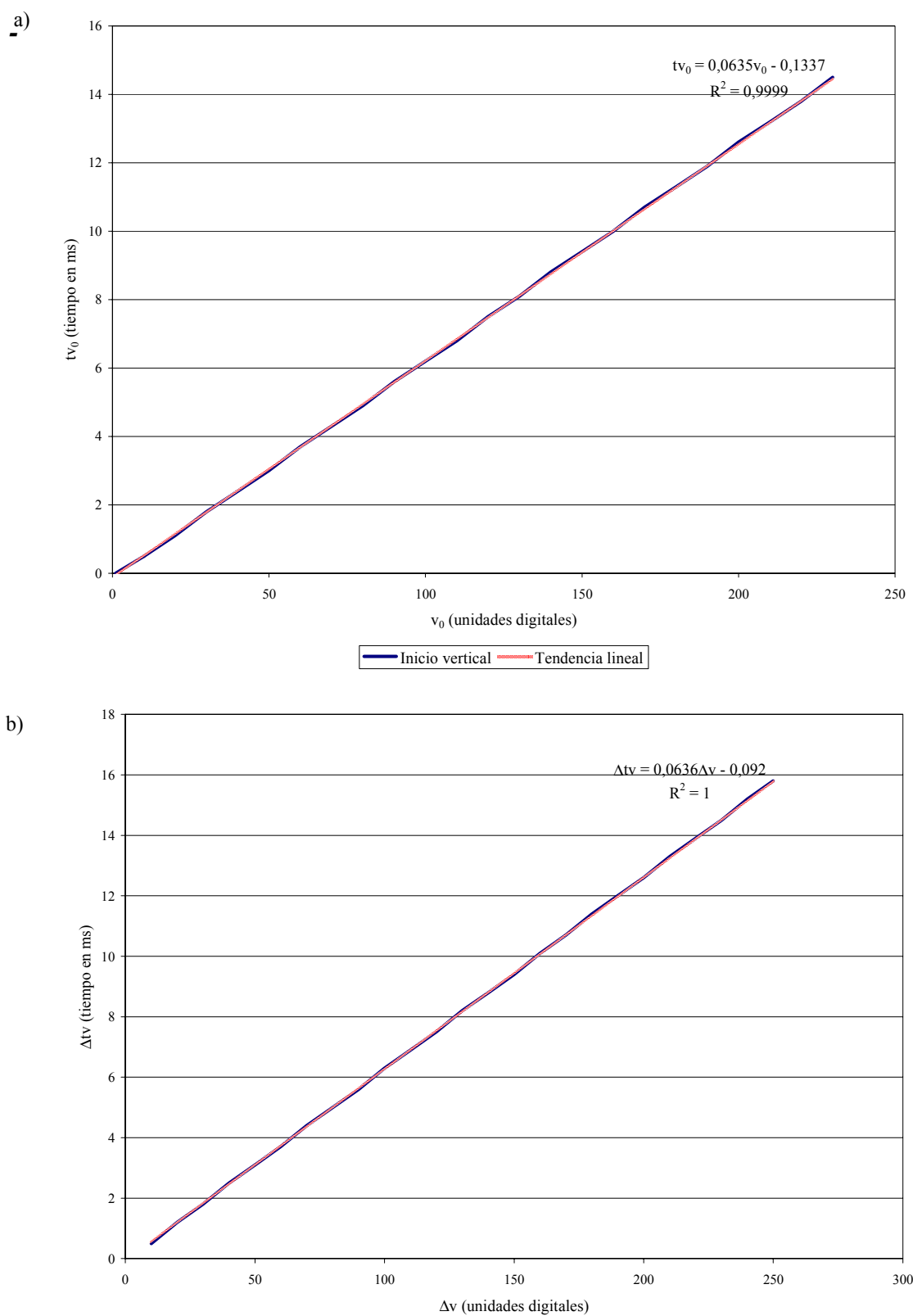


Figura 4.9. Gráficas con el tiempo de inicio y duración vertical. El tiempo se midió con osciloscopio Tektronix TDS210, de una señal de vídeo RS170 con un duración activa de la línea de $57.3\mu s$. a) Ajuste de curva para el inicio vertical. b) Ajuste de curva para la duración vertical.

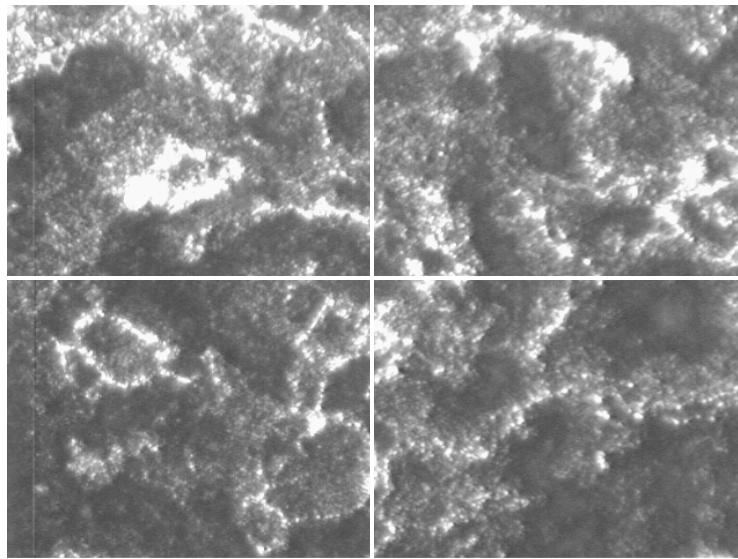
4.3 Medición de foco utilizando la ventana variable

Para comprobar el funcionamiento de la ventana variable se realizaron cuatro experimentos, los cuales fueron la medición de foco a una pieza sin pulir de acero inoxidable, un circuito integrado, un patrón de barras utilizando ventanas contiguas y un patrón de barras utilizando ventanas separadas.

4.3.1 Medición de foco a una pieza sin pulir de acero inoxidable

Para probar el circuito de la ventana variable se midió el índice de foco de una pieza sin pulir de acero inoxidable, utilizando una cámara de vídeo monocromática con el estándar *RS170*, un microscopio con un lente de 10x/0.25, el circuito para medir el índice de foco por medio de las altas frecuencias de la señal de vídeo, y el circuito de la ventana variable. La pieza sin pulir de acero inoxidable se dividió virtualmente en cuatro cuadrantes tal y como se muestra en la figura 4.10. Después se midió el índice de foco para cada uno de los cuadrantes y el de la imagen global, utilizando un osciloscopio marca Tektronix TDS260, para medir la amplitud de voltaje del circuito de medición de foco a diferentes posiciones axiales (z) del microscopio, y se normalizaron estos valores a la unidad para compararlos.

La gráfica de índices de foco para los cuatro cuadrantes y el de la imagen global de la pieza se muestran en la figura 4.11 En donde se observa como los valores de índice de foco máximo por cuadrante se encuentran en diferentes posiciones z , aunque en la figura 4.10 se dificulta encontrar los planos visualmente.



<i>a</i>	<i>b</i>
<i>c</i>	<i>d</i>

Figura 4.10. Imagen capturada de una pieza de acero inoxidable ampliada con una lente de 10x/0.25, dividida en cuadrantes, para medir el índice de foco a cada una de ellas.

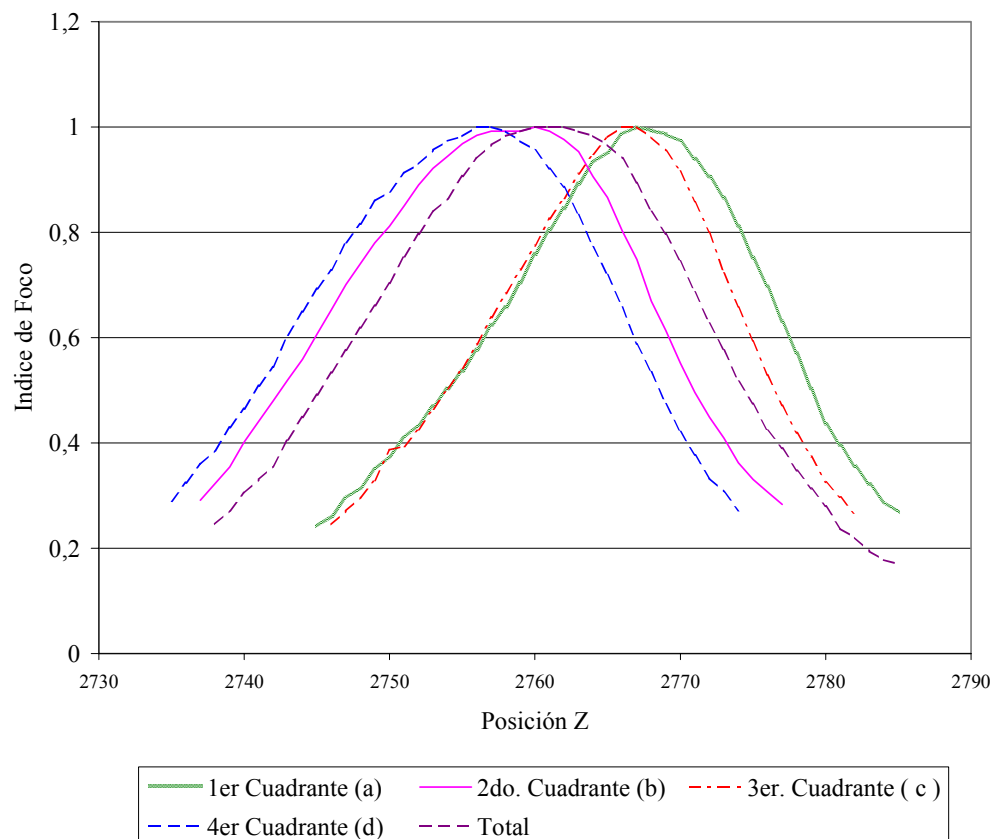


Figura 4.11. Índice de foco obtenido para los cuadrantes que se muestran en el objeto de la figura 4.10. Las funciones de foco fueron normalizadas para su comparación. La última función de foco representa la medición en toda la imagen, integrando la información de todos los cuadrantes.

4.3.2 Medición de foco a un circuito integrado utilizando la ventana variable.

Para medir el índice de foco de un circuito integrado por medio de la ventana variable y el circuito de medición de foco, se utilizó el mismo equipo que para la pieza de acero inoxidable sin pulir. La imagen se dividió en dos ventanas una para la parte superior y otra para la parte inferior, tal y como se muestra en la figura 4.12. Los valores de índice de foco se fueron adquiriendo para diferentes valores de posición axial z del microscopio. El valor máximo de FI corresponde a la posición focal de cada ventana. Los valores fueron normalizados y los resultados se muestran en la gráfica 4.13. En donde se observa cómo el circuito integrado cuenta con dos planos principales y estos se encuentran alejados en aproximadamente 160 pasos verticales, o una distancia aproximada de 0.3 mm .

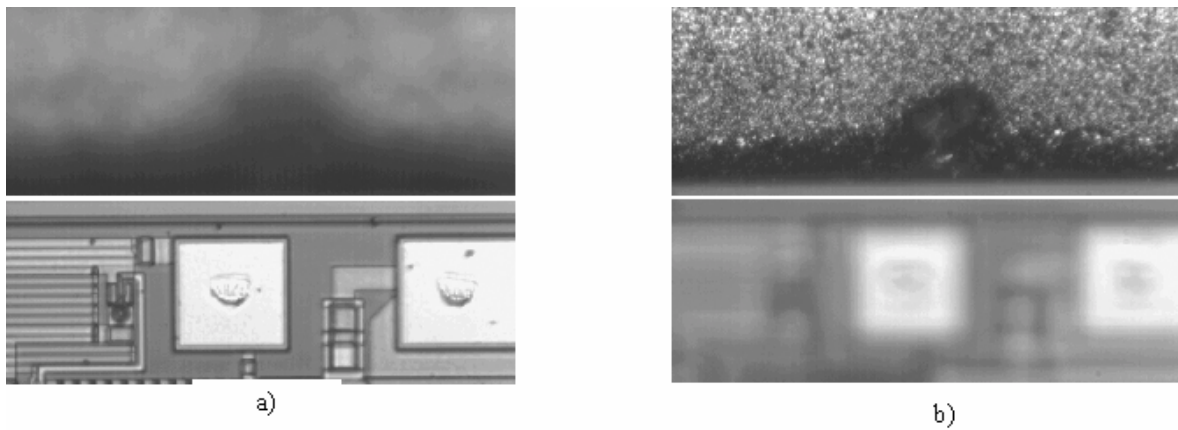


Figura 4.12. Imagen de un circuito integrado, amplificada con una lente de 10x/0.25. La imagen se dividió en dos mitades para la medición de foco independiente. a) Imagen con la ventana inferior en foco. b) Imagen con la ventana superior en foco.

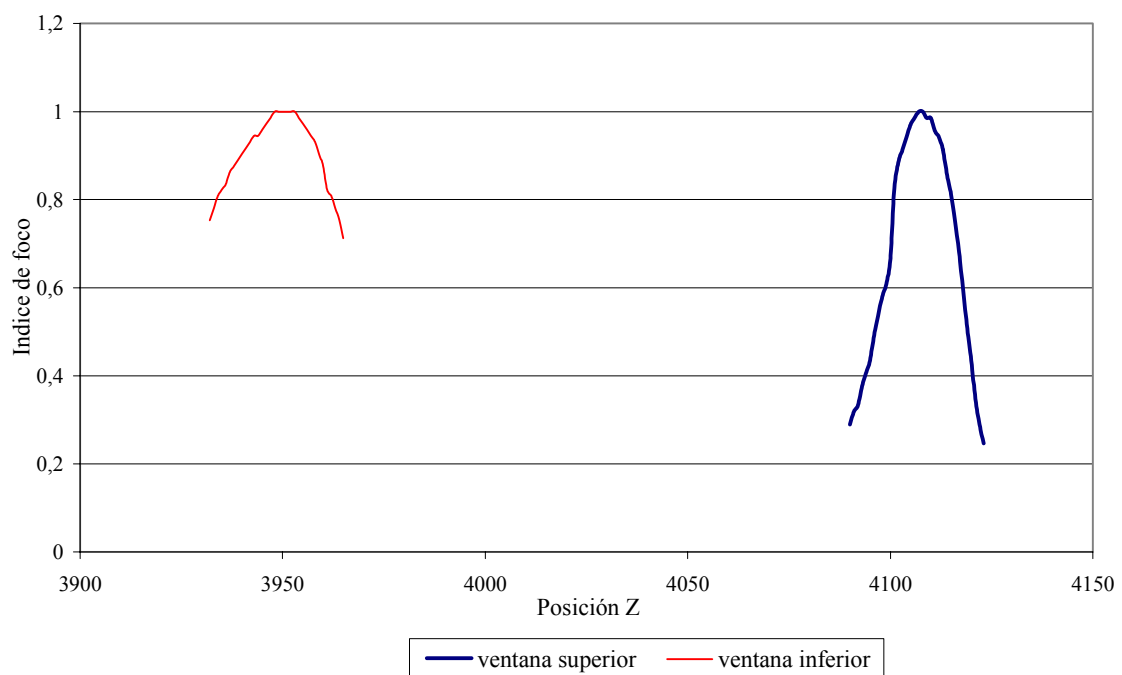


Figura 4.13. Funciones de foco correspondientes a las mitades definidas en la figura 4.12

4.4 Medición de Foco de un patrón de barras inclinado

Para comprobar el funcionamiento de la ventana variable se realizaron dos experimentos utilizando como objeto un patrón de barras (Stage Micrometer) de marca Nikon. En el patrón un milímetro se descompone en cien divisiones, tal y como se muestra en la figura 4.14a. En ambos experimentos se utilizó la configuración anterior de microscopio y cámara, y además se colocó el patrón de barras en forma inclinada (figura 4.14b) con un ángulo 6.89 grados con respecto a la horizontal (se utilizó como idea a [12]). En el primer experimento se realizó la medición de foco a tres ventanas contiguas, así como el foco global que abarca el área que incluye a las tres ventanas, en cada ventana se abarcaron diez barras, haciendo un total de treinta líneas por las tres ventanas. En la figura 4.15a se muestra la señal de vídeo así como las ventanas utilizadas, capturadas con un osciloscopio marca Tektronix TDS 460A de 400 MHz, a una velocidad de 100 MS/s.

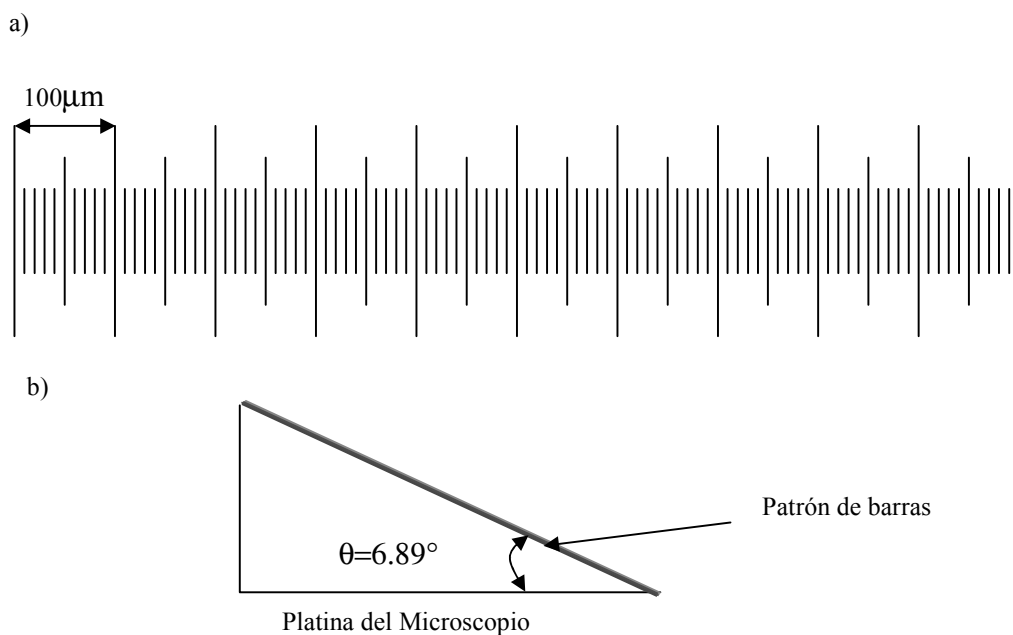


Figura 4.14. Patrón de barras y ángulo de inclinación a) patrón de barras el cual contiene cien divisiones equivalente a un milímetro (figura sin escala). b) Disposición utilizada en ambos experimentos, en la cual el patrón se colocó con una pendiente de 0.1246.

4.4.1 Medición de foco de patrón de barras utilizando ventanas contiguas.

En la figura 4.15 se muestra la señal de vídeo y las ventanas seleccionadas, estas señales se capturaron con un osciloscopio marca Tektronix TDS 460A. En la señal de vídeo se capturó la línea #75, en la que la separación entre los picos corresponde a cinco barras del patrón.

La selección de las ventanas fue de la siguiente forma, las barras en blanco y negro del patrón se dividió en tres ventanas, con la misma duración vertical para cada una de las ventanas, que en forma digital fue de 55 líneas de inicio y 167 líneas de duración, y para la parte horizontal se dividió el patrón en tres con una duración digital de 51 y un inicio de 56, 113 y 172 para la primera, segunda y tercera ventana respectivamente, de tal forma que la ventana fuera abarcando diez barras en forma contigua. Por último se escogió una ventana que abarcara las 30 barras del patrón, con una información digital para la parte horizontal de 60 inicio y 150 de duración, y en forma vertical fue igual que las otras ventanas.

En la figura 4.16 se muestran los índices de foco obtenidos de cada una de las ventanas y del total en donde se muestra que la separación del mejor foco entre la primera ventana y la segunda fue de 4.5 pasos verticales y la separación del segundo con la tercera fue de 5.5 pasos verticales. Cada paso vertical corresponde aproximadamente a $1.9 \mu m$ de distancia vertical o posición z . La separación entre la primera y la tercera ventana fue de 10 pasos que es una distancia vertical de $10 * 1.9 \mu m$ dando una distancia vertical de $19 \mu m$. Si se considera que el mejor foco se obtiene en la mitad de la ventana seleccionada entonces se tiene una separación de 20 barras entre la distancia del mejor foco de la primera ventana y la tercera ventana, y como el patrón de $1 mm$ corresponde a 100 divisiones, entonces 20 divisiones corresponden a $200 \mu m$. Si se tiene un ángulo de 6.89 y una distancia de la hipotenusa del patrón de $200 \mu m$ entonces el valor esperado de la altura es de $24 \mu m$. Y el resultado obtenido con la medición de foco fue de $19 \mu m$. Entonces se tiene un error de 20%, se cree que este error es debido a la baja precisión de la forma de medir la longitud horizontal, la altura y la hipotenusa de la disposición del patrón.

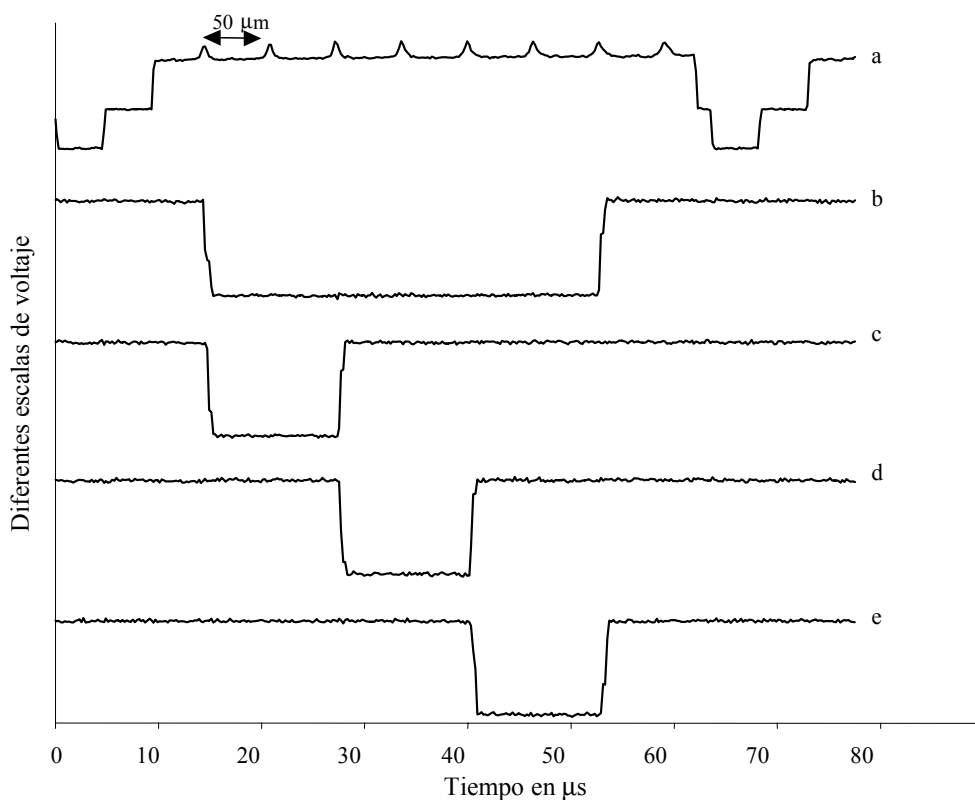


Figura.4.15. Señal de vídeo y ventanas seleccionadas, capturadas con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A. En donde la longitud de la ventana abarca diez barras del patrón. En esta gráfica se muestra como las ventanas son contiguas, teniendo un total de treinta barras del patrón. a) Línea de vídeo b) Ventana horizontal total c) Primer tercio d) Segundo tercio e) Tercer tercio.

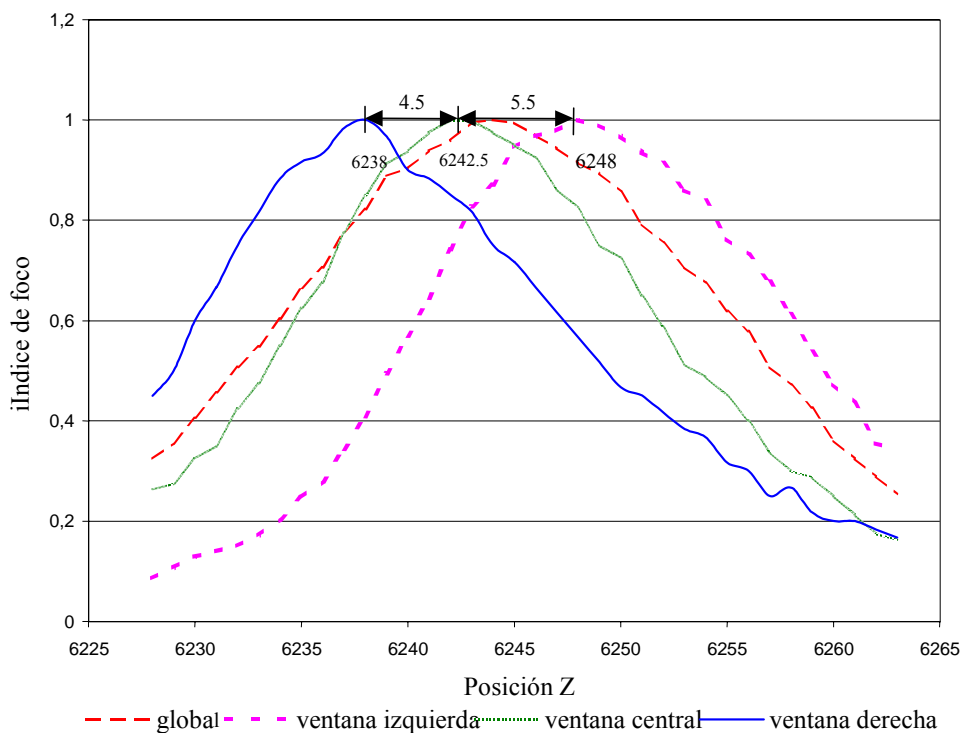


Figura 4.16. Índices de foco obtenidos de las ventanas seleccionadas en la figura 4.15 y la ventana total en la que se seleccionaron treinta barras del patrón.



Figura en foco global



Figura en foco ventana izquierda

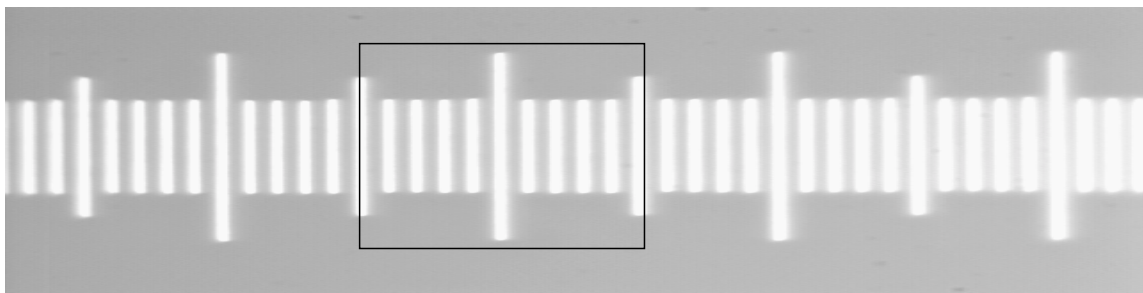


Figura en foco ventana central

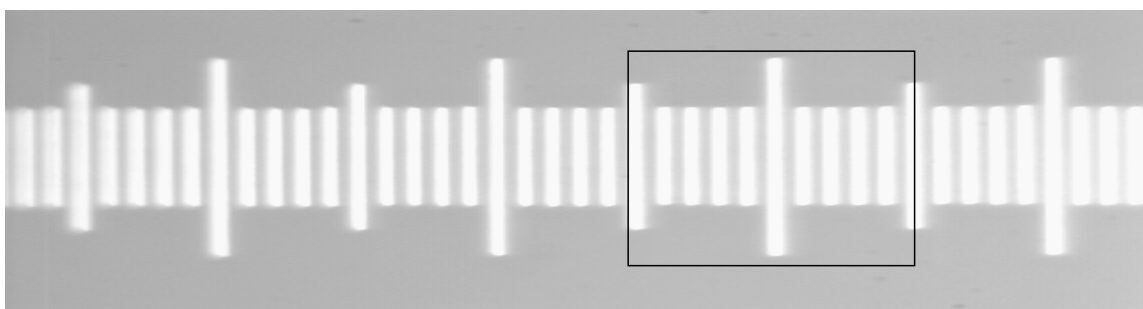


Figura en foco ventana derecha

Figura 4.17. Imágenes capturadas del patrón, en el que se muestran las figuras en foco de cada una de las ventanas y del total. Todas las ventanas tienen la misma coordenada vertical de 55 líneas de inicio y 167 líneas de duración, la duración horizontal para las tres primeras ventanas es de 51, y el inicio horizontal es de 56, 113 y 167. Para la ventana global fue de 60 y 150 de duración horizontal.

4.4.2 Medición de foco de patrón de barras utilizando ventanas separadas.

En la figura 4.18 se muestra la señal de vídeo y las ventanas seleccionadas, estas señales se capturaron con un osciloscopio marca Tektronix TDS 460A. En la señal de vídeo se capturó la línea #130 en la que la separación entre los picos corresponden a una barra del patrón. La selección de las ventanas fue de la siguiente forma, las barras en blanco y negro del patrón se dividieron en tres ventanas, con la misma duración vertical para cada una de las ventanas, que en forma digital fue de 55 líneas de inicio y 167 líneas de duración, y la parte horizontal se dividió el patrón en tres con una duración digital de 51 y un inicio de 37, 121 y 216 para la primera, segunda y tercera ventana respectivamente, de tal forma que las ventanas fueran separadas con la misma longitud de 10 barras. Por último se escogió una ventana que abarcara la duración horizontal de las tres ventanas con lo que se alcanzó a abarcar 41 barras del patrón, con una información digital de 60 líneas de inicio y 150 líneas de duración, y en forma horizontal de 36 de inicio y de 243 de duración.

En la figura 4.19 se muestran los índices de foco obtenidos de cada una de las ventanas y del total en donde se muestra que la separación del mejor foco entre la ventana izquierda y la ventana central fue de 8 pasos verticales y la separación de la segunda con la tercera fue de 11 pasos verticales. Cada paso vertical corresponde aproximadamente a $1.9 \mu\text{m}$ de distancia vertical o posición z. La separación entre la primera y la tercera ventana fue de 19 pasos que es una distancia vertical de $19 \times 1.9 \mu\text{m}$ dando una distancia vertical de $36.1 \mu\text{m}$. Si se considera que el mejor foco se obtiene en la mitad de la ventana seleccionada entonces se tiene una separación de 31 barras entre la distancia del mejor foco de la ventana izquierda y ventana derecha, y como en el patrón 1 mm corresponde a 100 divisiones, entonces 31 divisiones corresponden a $310 \mu\text{m}$. Si se tiene un ángulo de 6.89° y una distancia de la hipotenusa del patrón de $310 \mu\text{m}$ entonces el valor esperado de la altura es de $37.19 \mu\text{m}$. Y el resultado obtenido con la medición de foco fue de $36.1 \mu\text{m}$. Entonces se tiene un error de 3 %, se cree que la mayor separación entre las ventanas aumenta la precisión de distinguir el centro focal.

En la figura 4.20 se muestran el patrón de barras capturados para el mejor foco para cada una de las ventanas seleccionadas, así como el mejor foco para el total, en donde no

se aprecia grandes diferencias entre ellas. Pero se capturó también la señal de vídeo con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A, en donde se aprecia mejor como se obtiene mayor cantidad de información de la ventana seleccionada en foco.

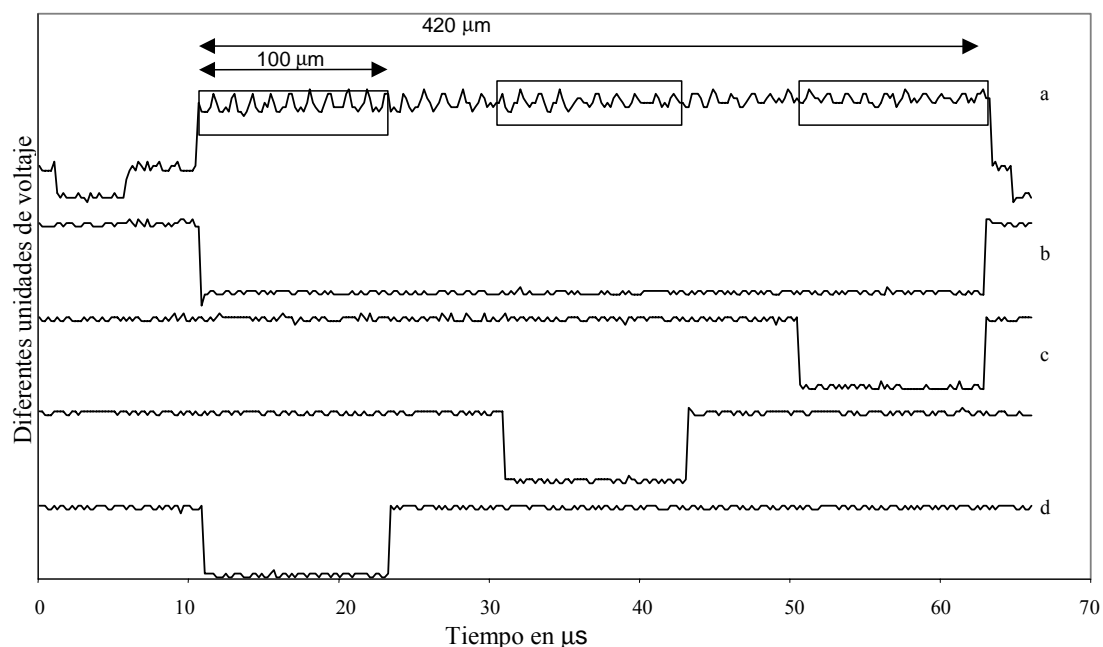


Figura.4.18. Señal de vídeo y ventanas seleccionadas, capturadas con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A. En donde la longitud de la ventana abarca 10 barras del patrón. En esta gráfica se muestra como las ventanas están separadas, teniendo un total de 41 barras del patrón. a) señal de vídeo b) ventana total c) tercera ventana d) segunda ventana e) primera ventana.

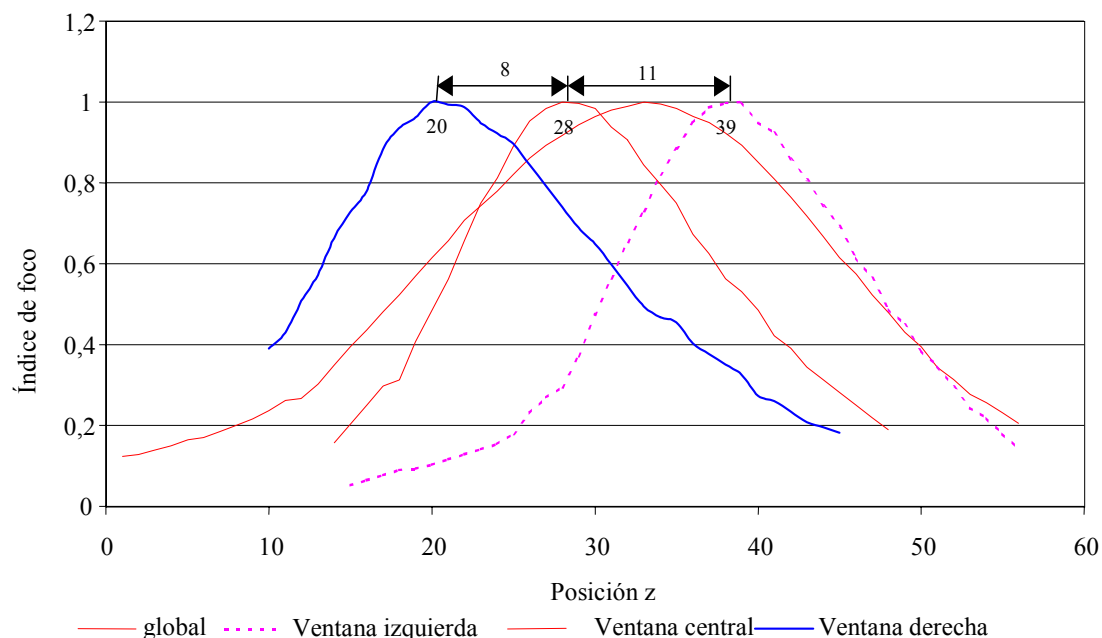


Figura.4.19. Índices de foco obtenidos de las ventanas seleccionadas en la figura 4.18 y del total que se seleccionó con un total de 41 barras del patrón.

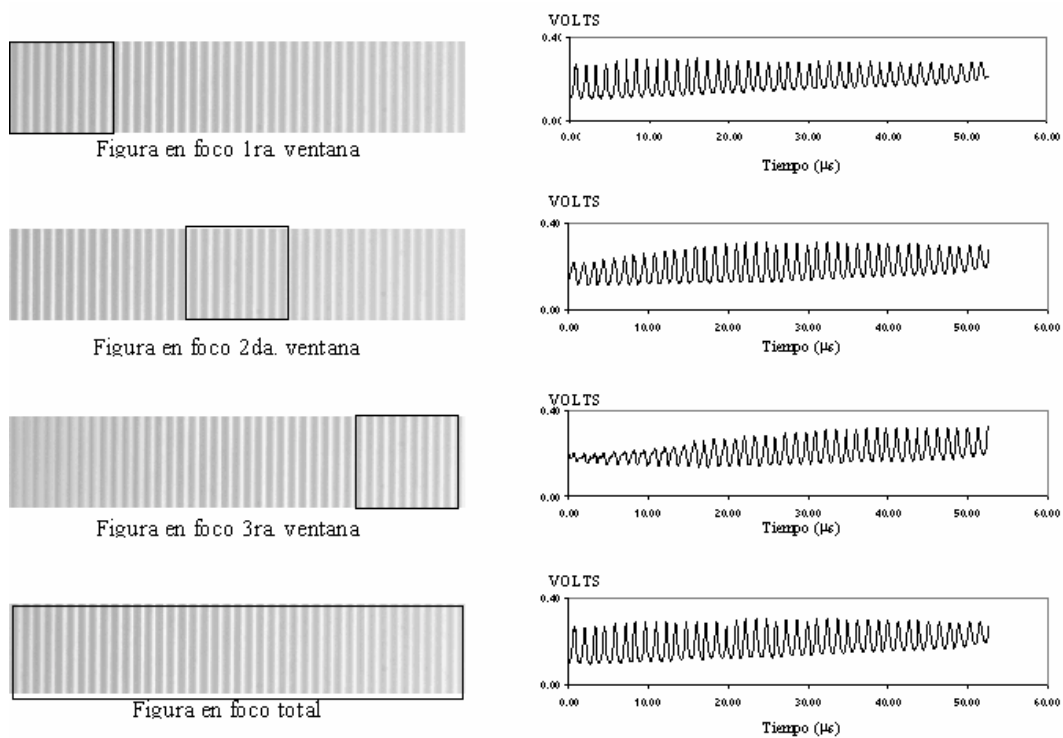


Figura 4.20 Gráfica de la línea horizontal activa bajo diferentes posiciones de foco, en donde en la primera columna se muestran las imágenes capturadas, y en la segunda columna se muestra las señales de voltaje capturadas con el osciloscopio marca Tektronix TDS 460A.

Capítulo 5

Discusiones y conclusiones

En este capítulo se presentan las discusiones y conclusiones del trabajo realizado con el circuito de medición de foco.

En el capítulo dos se dio una explicación de la formación de imagen por medio de un sistema óptico. Para encontrar el mejor foco de una imagen existen varios métodos, pero uno de los más usados es el basado en las altas frecuencias de la señal de vídeo, el cual ha sido empleado en el trabajo de esta tesis.

En el tercer capítulo se simuló el método de medición de foco, obteniendo resultados que son muy parecidos a los obtenidos en forma real con el circuito de medición de foco. En la simulación del circuito de medición de foco se obtienen todos los resultados de las etapas de la medición de foco, por lo que considero que el simulador es muy útil debido que es más sencillo hacer cambios y pruebas que en el circuito real, ahorrando tiempo y esfuerzo. Uno de los inconvenientes de realizar la simulación es que no todos los fabricantes ofrecen el modelo en *Spice* de sus componentes, y otros modelos no responden a las condiciones de la simulación, por lo que se tienen que agregar opciones a la simulación para obtener resultados.

En el cuarto capítulo se exploraron nuevas modificaciones al circuito de medición de foco, tal como el procesamiento de foco utilizando el valor eficaz de la señal de vídeo, el cual sustituye al multiplicador y al integrador utilizado originalmente. Para realizar la simulación utilizando el valor eficaz RMS, se emplearon funciones de *Spice*, ya que no se

tiene un modelo real de los fabricantes. Otra de las modificaciones que se estudiaron fue el cambio del multiplicador por un circuito de valor absoluto; el cambio se logró tanto en forma de función de *Spice* y de modelos de circuitos para encontrar el valor absoluto de cualquier función. Una de las ventajas de utilizar el valor absoluto es la economía en el circuito de medición de foco, ya que sustituye al multiplicador, que es uno de los elementos más costosos. Además con el valor absoluto se obtiene mayor rango dinámico, pero la desventaja es que el offset en la entrada produce salida como si fuera información. En el multiplicador en cambio, al multiplicarse los valores de offset los vuelve más pequeños comparado con la señal. Otra característica del valor absoluto es que tienen curvas de foco más anchas. El circuito original de multiplicación para medir el índice de foco presenta las mejores características, debido a que la función que se obtiene es más precisa para autofocus, ya que la curva es más afilada en el valor máximo de foco que las encontradas con el valor eficaz y el valor absoluto.

Por último se experimentó en la creación de una ventana variable para la medición por subárea de imagen del índice de foco. Esto con la finalidad de hacer autofocus sobre regiones de interés. También, para detectar objetos en planos diferentes. Este circuito se realizó físicamente en un prototipo, el cual se integró al circuito de medición de foco, y se realizaron pruebas utilizando la ventana variable. Primero se realizaron pruebas con una pieza sin pulir de acero inoxidable, el cual se dividió en cuatro cuadrantes, en donde curvas de índice de foco estuvieron muy cercanos en la distancia axial z , que concuerda con la imagen capturada, en donde se aprecia que los cuadrantes de la figura se encuentra en planos muy cercanos entre sí; pero el circuito es suficiente sensible para diferenciar los planos. En el segundo experimento se obtuvo el índice de foco a un circuito integrado que se dividió en dos mitades virtuales. Los resultados obtenidos, concuerdan con la imagen ya que las mitades se encuentra en dos planos diferentes, como se muestra en las gráficas de foco. El tercer experimento realizado fue el de medir un patrón de barras inclinado, en el cual se seleccionaron tres ventanas de igual tamaño pero espaciadas horizontalmente. Primero se seleccionaron ventanas contiguas de diez barras por ventana y se calculó la distancia del mejor foco que se espera que es el centro de las barras seleccionadas, encontrándose un error de 20%, contra la encontrada con el índice de foco. Luego se seleccionaron otras ventanas, pero separadas de tal forma que se pudiera abarcar la mayor

longitud del patrón en la imagen, y el error que se encontró fue del 3%, obteniéndose mayor precisión. Esto podría ser debido a que la mayor separación entre las ventanas aumenta la precisión de distinguir el centro focal.

En la creación de la ventana variable se encontraron resultados muy satisfactorios, ya que los valores digitales que determinan el tiempo de inicio y duración de la ventana se correlacionan altamente con las mediciones del osciloscopio. En general, el método de la ventana para determinar el índice de foco fue muy satisfactorio ya que se obtiene el mejor enfoque sobre una área de interés del objeto, sin mover el ajuste mecánico xy, enviando solamente las coordenadas al circuito. Una de las desventajas de la ventana variable podría ser que cuando se escoge un área muy pequeña, la señal de ruido puede afectar la medición de foco.

APÉNDICE A. USO Y CONFIGURACIÓN DE *SPICE* EN LA SIMULACIÓN

En este apéndice se muestra el uso de *Spice*. La versión del simulador que se utilizó es el *ICAP/4Rx 8.8.6 ISSPICE4*

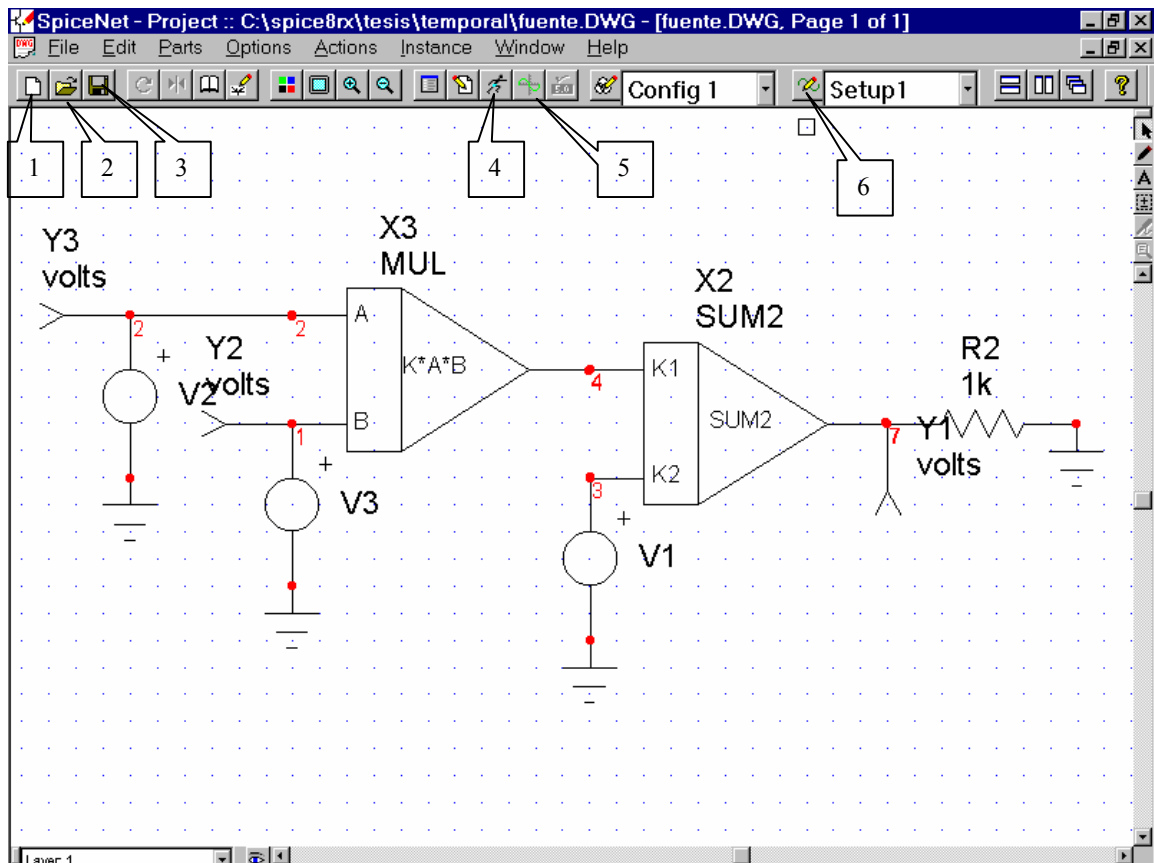


Figura A.1. Circuito de la pantalla de *ISSPICE 4*. En donde se muestra las partes principales del simulador.

Las opciones que se tienen en la figura A.1 son los siguientes:

1. Nuevo archivo
2. Abrir archivo
3. Guardar archivo
4. Correr simulación
5. Mostrar gráficas
6. Configuración

En donde los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 son estándares de windows, en el punto 6 se muestra la configuración que se tiene que llenar tal y como se muestra en la figura A.2 .

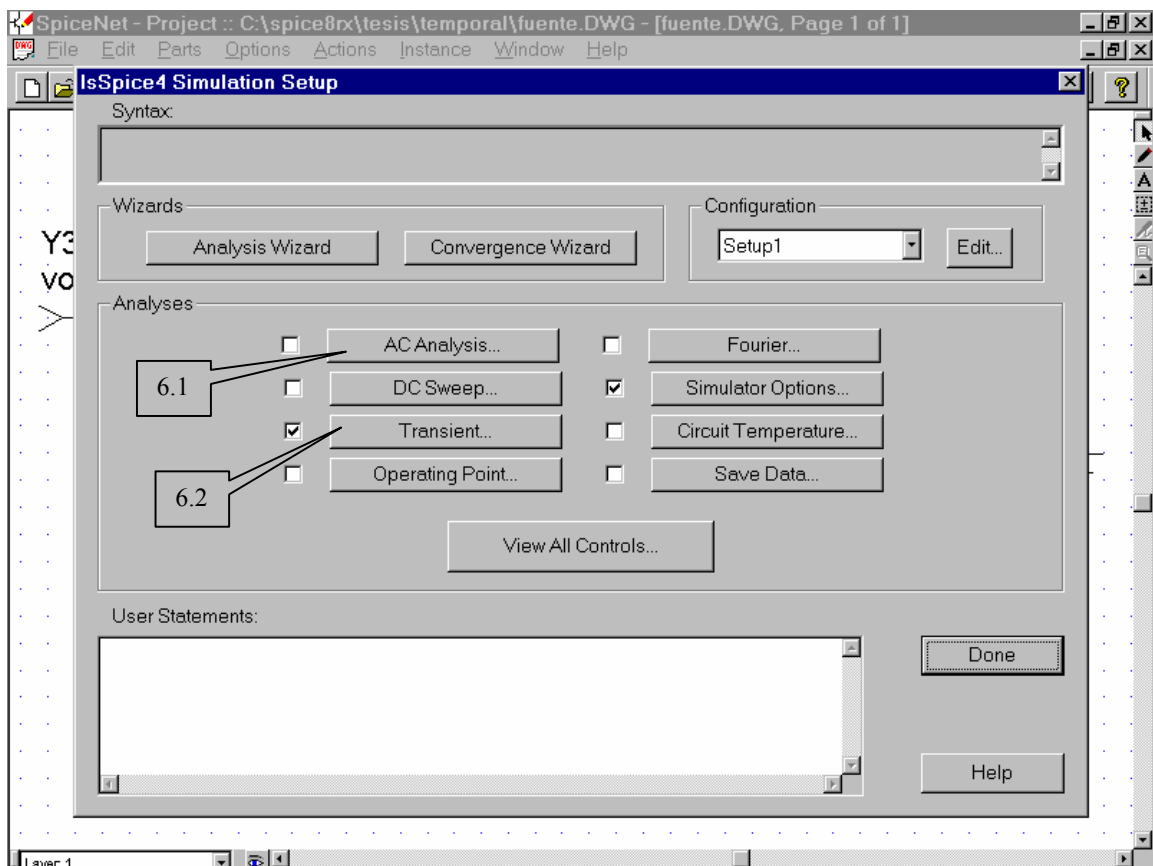


Figura A.2. Pantalla de la configuración del ISSPICE 4.

Los puntos de la configuración que se utilizaron fueron los siguientes:

Análisis en frecuencia

Análisis transitorio.

En el análisis en frecuencia se analizan las gráficas de bode del sistema en el se calcula la magnitud en decibeles a diferentes frecuencias y el ángulo de fase a diferentes frecuencias los parámetros que se capturan son los siguientes:

Numero de puntos a calcular por década, octavas o lineal.

Frecuencia de inicio

Frecuencia final

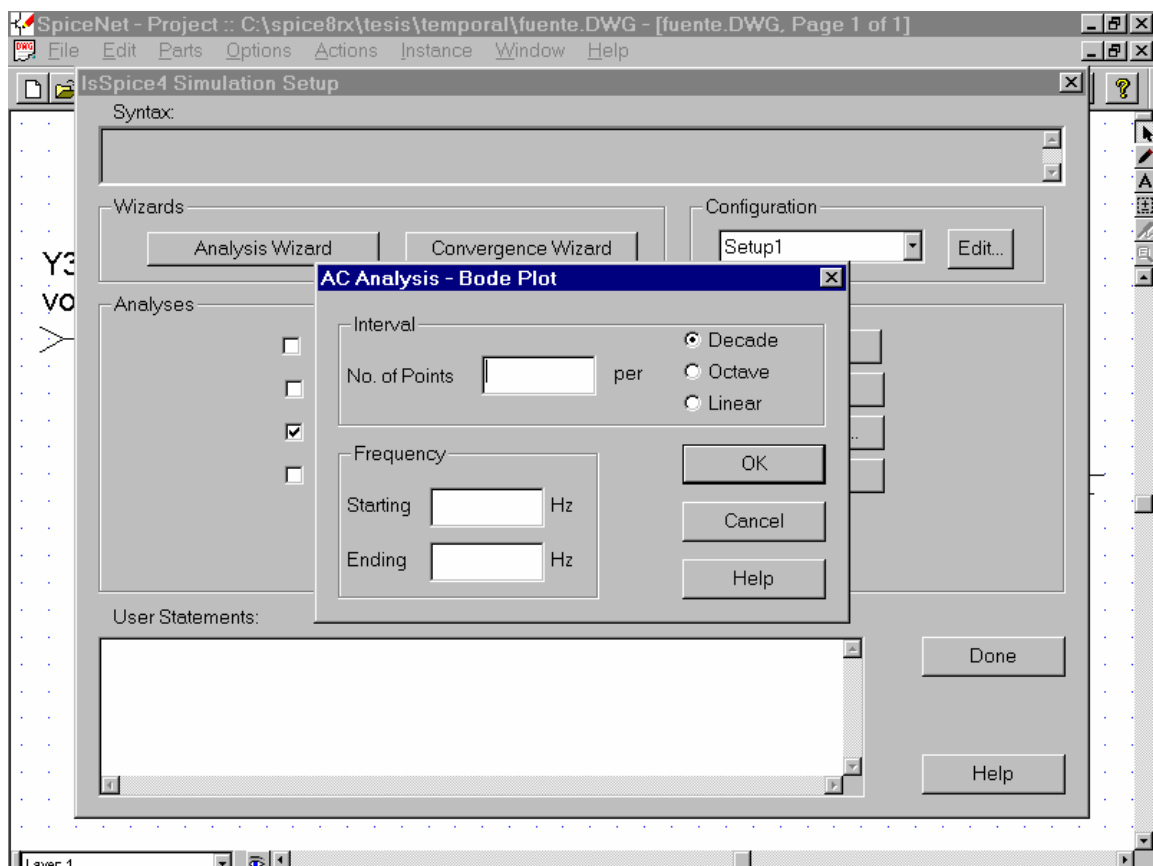


Figura A.3. Parámetros que se deben de capturar para el análisis en frecuencia

En el análisis transitorio se muestran los valores en función del tiempo. En donde los parámetros que se capturan son los siguientes:

Intervalo de tiempo de la simulación.

Tiempo total de análisis.

Tiempo para empezar a grabar los datos (Opcional).

Máximo intervalo de tiempo interno de simulación (Opcional).

Usar condiciones iniciales.

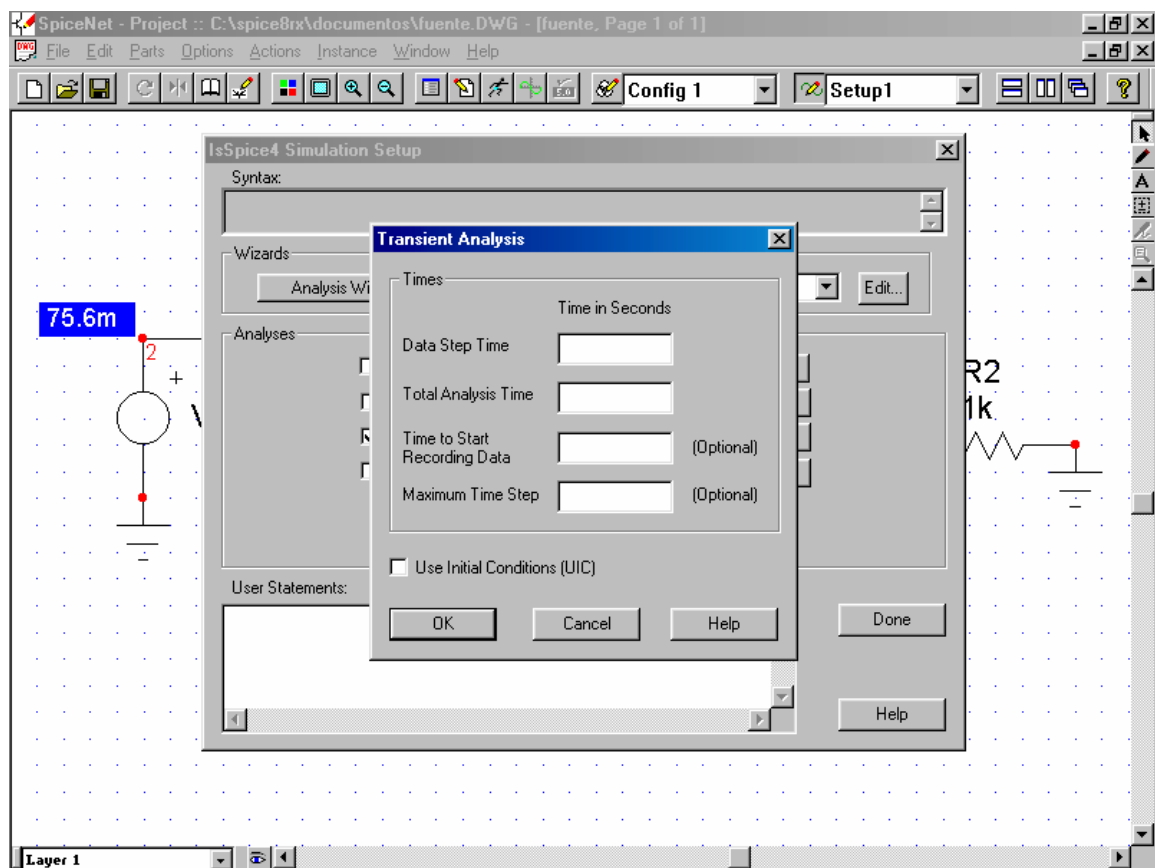


Figura A.4. Parámetros que se deben de capturar para el análisis en tiempo.

Para obtener la respuesta en frecuencia del filtro se capturaron los siguientes datos:

Frecuencia de inicio = 1 MHz

Frecuencia final = 10 MHz

Numero de puntos = 100 puntos por década.

Para obtener la respuesta en tiempo del circuito de medición de foco se cargaron los siguientes datos:

Intervalo de tiempo de la simulación 1 ps

Tiempo total de análisis = $80\text{ }\mu\text{s}$

Junto con los siguientes parámetros de simulación que se muestran en la figura A.5

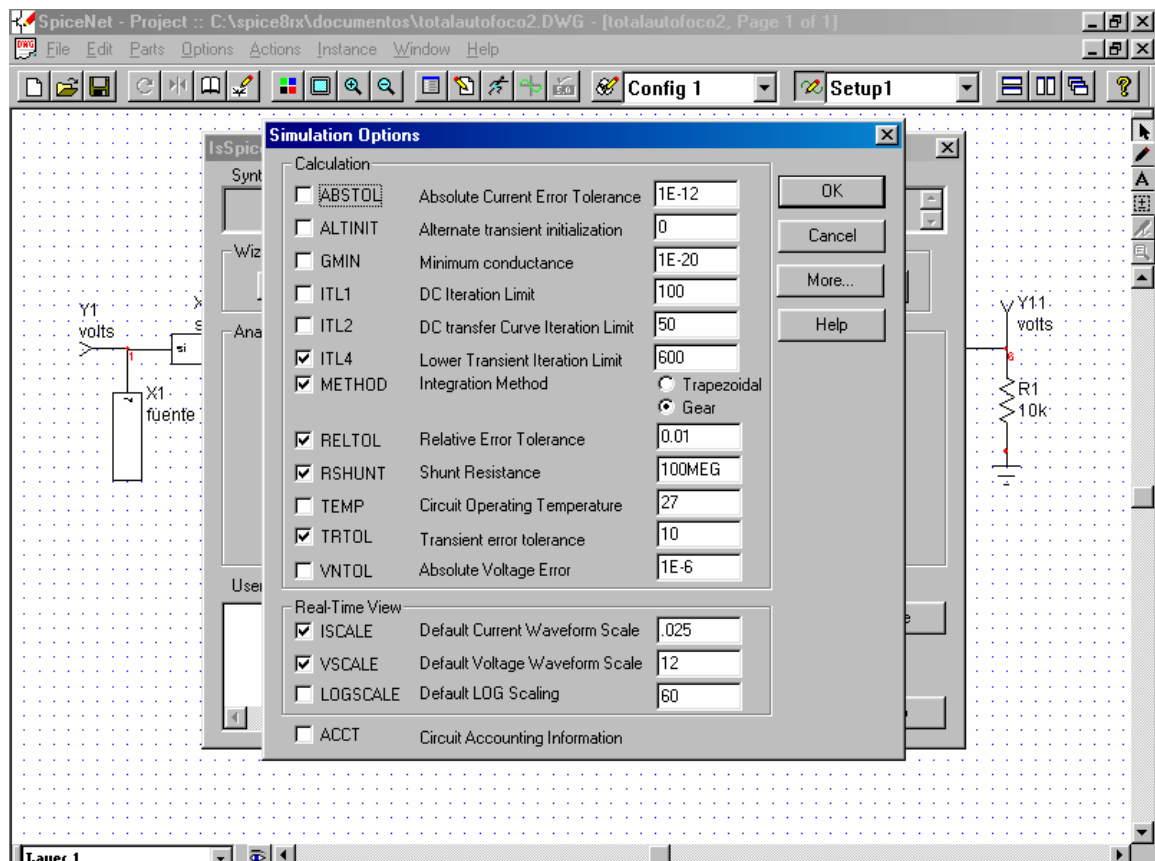


Figura A.5. Parámetros que se capturan en las opciones de simulación.

Donde los datos usados fueron los siguientes:

Mínimo límite transitorio de simulación igual a 600 esta opción fija el número de pasos para cada punto de tiempo.

Método de integración tipo GEAR

Tolerancia del error relativo igual a 0.01 es decir el 1% de error relativo.

Resistencia en paralelo $100\text{ M}\Omega$.

Error transitorio de tolerancia igual a 10

APÉNDICE B. PROGRAMAS UTILIZADOS CON MATLAB

Programa realizados con *MATLAB*

MATLAB Version 6.0.0.88 (R12) on *PCWIN*

MATLAB es un entorno integrado de técnicas de computación, que combina computación numérica, gráficas avanzadas, visualización, y lenguaje de alta nivel.

B.1 Programa Realizado para obtener el desenfoque de una señal cuadrada

La señal cuadrada representa unas barras en blanco y negro que se utilizan como patrones para la medición de foco esta señal cuadrada tiene una amplitud mínima de cero y máxima de 0.6 con una frecuencia de 100 *KHz*, y un tiempo de 63 μ s, (Duración de una línea de vídeo).

Para obtener la señales desenfoadas se convolucionó la señal cuadrada con la función Gaussiana $y = \exp^{-t^2/a}$

```
% Miguel Angel Paz Gonzalez
% Maestría en Electrónica
% Programa en para obtener el desenfoque de una señal cuadrada
clear all
t=0:.2e-6:63e-6; % tiempo de inicio, incremento de tiempo y tiempo final
y=square(2*pi*100e3*t); % señal cuadrada con una frecuencia de 100Kz.
m=length(y);
%yc1=(y(1:m)+1)*0.3;
yc=0.3.*(y+1); % convierte la amplitud de la señal a un valor de 0 minimo y de 0.6 maximo.
plot(t,yc) % figura con la señal cuadrada
figure(1)
t=-50:50; %valores para el tiempo de la señal Gaussiana.
k=length(t);
lt=m+k-1;
tt=linspace(0,63e-6,lt); % tiempo ajustado al número de puntos del resultado de la convolución
a=linspace(1/100,10/100,10); %constante para el ensanchamiento de la Gaussiana, entre mas grande a mas angosta la Gaussiana
for h=1:10; % variacion para las 10 señales de desenfoque.
    yg(h,:)=exp(-t.*t*a(h)); % función Gaussiana.
    figure(2)
    plot(yg(h,:)) % figura con las funciones Gaussianas.
    hold on
    yt(h,:)=conv(yg(h,:),yc); % convolución de la señal cuadrada con la función Gaussiana.
    l=max(yt(h,:));
    yt(h,:)=0.6/l*yt(h,:); % ajuste de tamaño de la señal convolucionada para tener el mismo tamaño
end
figure(3)
yaj=0.3.*(1+square(2*pi*100e3*tt)); % señal cuadrada con una frecuencia de 100Kz.
plot(tt,yaj,'k-')
hold on
plot(tt,yt(1,:),tt,yt(2,:),tt,yt(3,:),tt,yt(4,:),tt,yt(5,:),...
tt,yt(6,:),tt,yt(7,:),tt,yt(8,:),tt,yt(9,:),tt,yt(10,:)) % figura con las señales convolucionadas (desenfocadas)
hold off
yc1=yt(1,:)*100;
yc2=yt(4,:)*100;
yc3=yt(7,:)*100;
```

```

yc4=yt(10,:)*100;
figure(4)
subplot(2,2,1)
image(yc1)
colormap('gray')
title('foco 1 mas desenfocada')
subplot(2,2,2)
image(yc2)
title('foco 2')
colormap('gray')
subplot(2,2,3)
image(yc3)
title('foco 3')
colormap('gray')
subplot(2,2,4)
title('foco 4 mas en foco')
image(yc3)
colormap('gray')

```

B.2 Programa realizado para obtener las coordenadas de una ventana variable.

Funciones realizadas para escribir las coordenadas de la ventana variable.

```

% Miguel Angel Paz Gonzalez
% Maestría en Electrónica
% Función para entrar las coordenadas para la ventana horizontal
% Utilizando Potenciometros Digitales
%
function b=venhor(dn1,dn2)
pd=digitalio('nidaq',1) % Comunicación con la tarjeta 6602 de National Instruments
addline(pd,0:2,'out') % activa tres salidas digitales 0, 1, 2
r1=fliplr(dec2binvec(dn1,8)); % Convierte el numero decimal de Inicio a numero binario de ocho BITS
r2=fliplr(dec2binvec(dn2,8)); % Convierte el numero decimal de duración a numero binario de ocho bits
p0=1;
p1=0;
b=[0 0 0 1 0 0 p1 p0 r1] % Modo en que se escribirán los datos en el Potenciometro Digital
for q=1:2
    a=1;
    k=1;
    c=0;
    t=0.00001;
    putvalue(pd,[0 0 1]); % Salida de los puertos Digitales
    pause(t)
    putvalue(pd,[0 0 0]); % Salida de los puertos Digitales
    for i=1:32;
        if a==1
            putvalue(pd,[0 b(k) 0]); % Salida de los puertos Digitales
            pause(t/2)
            putvalue(pd,[a b(k) 0]); % Salida de los puertos Digitales
            pause(t*2)
            putvalue(pd,[0 b(k) 0]); % Salida de los puertos Digitales
            pause(t/2)
            a=0;
            k=k+1;
            %c=[c a];
        else
            putvalue(pd,[0 0 0]); % Salida de los puertos Digitales
            a=1;
            pause(t)
            %c=[c a];
        end
    end
    putvalue(pd,[0 0 1]) % Salida de los puertos Digitales
    p0=0;
    p1=1;
    b=[0 0 0 1 0 0 p1 p0 r2]

```

end

```

% Miguel Angel Paz Gonzalez
% Maestría en Electrónica
% Función para entrar las coordenadas para la ventana vertical
% En el que se utilizan Registros de corrimiento y contadores
%
function [n1,n2]=registro(numero1,numero2)
pd=digitalio('nidaq',1) % Comunicacion con la tarjeta 6602 de National Instruments
addline(pd,3:7,'out') % activa las salidas digitales 3, 4, 5, 6, y 7
n1=flipr(dec2binvec(numero1,8)) % Convierte el numero decimal de inicio a número binario de ocho BITS
n2=flipr(dec2binvec(numero2,8)) % Convierte el numero decimal de duración a numero binario de ocho BITS
a=1;
k=1;
c=0;
t=0.01;
putvalue(pd,[0 0 1 0 0]); % Salida de los puertos Digitales
pause(t/2)
putvalue(pd,[0 0 1 0 0]); % Salida de los puertos Digitales
pause(t/2)
for i=1:16;
    if a==1
        putvalue(pd,[0 n1(k) 1 0 n2(k)]); % Salida de los puertos Digitales
        pause(t/2)
        putvalue(pd,[a n1(k) 1 a n2(k)]); % Salida de los puertos Digitales
        pause(t*2)
        putvalue(pd,[0 n1(k) 1 a n2(k)]); % Salida de los puertos Digitales
        pause(t/2)
        a=0;
        k=k+1;
    else
        a=1;
        pause(t)
    end
end
end

```

APÉNDICE C. TABLAS QUE SE UTILIZARON PARA GRAFICAR

Tablas de C.1. a C.4 con los valores obtenidos para la conversión del número digital a tiempos en la ventana variable.

Tabla C.1. Valores digitales contra valores de tiempo de duración horizontal tomando un inicio con una duración digital de 16

# DIGITAL	T duración en μs
10	3,2
20	5,6
30	7,6
40	10
50	12,4
60	14,8
70	16,8
80	18,8
90	21,2
100	23,6
110	25,6
120	27,6
130	30
140	32
150	34
160	36
170	38,4
180	40,4
190	42,4
200	44,4
210	46,4
220	48,4
230	50
240	52
250	54,4

Tabla C.2. Valores digitales contra valores de tiempo de inicio tomando una duración digital de 16.

# DIGITAL	T inicial en μs
16	0
20	1,2
30	3,6
40	6
50	8
60	10,4
70	12,8
80	14,8
90	17,2
100	19,2
110	21,6
120	23,6
130	26
140	28
150	30
160	32
170	34,4
180	36,4
190	38,4
200	40,4
210	42,4
220	44,4
230	46
240	48
250	50

Tabla C.3. Valores digitales contra valores de tiempo de inicio de líneas horizontales.

Líneas de inicio	T inicial <i>ms</i>
1	0
10	0,5
20	1,1
30	1,8
40	2,4
50	3
60	3,7
70	4,3
80	4,9
90	5,6
100	6,2
110	6,8
120	7,5
130	8,1
140	8,8
150	9,4
160	10
170	10,7
180	11,3
190	11,9
200	12,6
210	13,2
220	13,8
230	14,5

Tabla C4. Valores digitales contra valores de tiempo de duración de líneas horizontales

Líneas de duración	T duración <i>ms</i>
10	0,5
20	1,2
30	1,8
40	2,5
50	3,1
60	3,7
70	4,4
80	5
90	5,6
100	6,3
110	6,9
120	7,5
130	8,2
140	8,8
150	9,4
160	10,1
170	10,7
180	11,4
190	12
200	12,6
210	13,3
220	13,9
230	14,5
240	15,2
250	15,8

Tablas de C.5. Valores obtenidos de la medición de foco de una pieza de aluminio

posicion z	valores medidos Volt					valores normalizados				
	1er Cuadrante	2do. Cuadrante	3er Cuadrante	4er Cuadrante	Total	1er Cuadrante	2do. Cuadrante	3er Cuadrante	4er Cuadrante	Total
2735				1,32					0,29	
2736				1,48					0,32	
2737		1,48		1,64			0,29		0,36	
2738		1,64		1,76	2,32		0,32		0,39	0,25
2739		1,8		1,96	2,56		0,35		0,43	0,27
2740		2,04		2,12	2,88		0,40		0,46	0,31
2741		2,24		2,32	3,12		0,44		0,51	0,33
2742		2,44		2,48	3,36		0,48		0,54	0,36
2743		2,64		2,76	3,84		0,52		0,61	0,41
2744		2,84		2,96	4,24		0,56		0,65	0,45
2745	0,72	3,08		3,16	4,64	0,24	0,61		0,69	0,49
2746	0,78	3,32	0,76	3,32	5,04	0,26	0,65	0,25	0,73	0,53
2747	0,88	3,56	0,84	3,56	5,44	0,30	0,70	0,27	0,78	0,58
2748	0,94	3,76	0,92	3,72	5,84	0,32	0,74	0,30	0,82	0,62
2749	1,04	3,96	1,02	3,92	6,24	0,35	0,78	0,33	0,86	0,66
2750	1,12	4,12	1,2	4	6,64	0,38	0,81	0,39	0,88	0,70
2751	1,22	4,32	1,22	4,16	7,12	0,41	0,85	0,39	0,91	0,75
2752	1,3	4,52	1,32	4,24	7,52	0,44	0,89	0,43	0,93	0,80
2753	1,4	4,68	1,44	4,36	7,92	0,47	0,92	0,46	0,96	0,84
2754	1,5	4,8	1,56	4,44	8,16	0,50	0,94	0,50	0,97	0,86
2755	1,6	4,92	1,68	4,48	8,56	0,54	0,97	0,54	0,98	0,91
2756	1,72	5	1,82	4,56	8,88	0,58	0,98	0,59	1,00	0,94
2757	1,86	5,04	1,98	4,56	9,12	0,62	0,99	0,64	1,00	0,97
2758	1,96	5,04	2,12	4,52	9,28	0,66	0,99	0,68	0,99	0,98
2759	2,1	5,04	2,26	4,44	9,36	0,70	0,99	0,73	0,97	0,99
2760	2,26	5,08	2,4	4,36	9,44	0,76	1,00	0,77	0,96	1,00
2761	2,4	5,04	2,56	4,2	9,44	0,81	0,99	0,83	0,92	1,00
2762	2,52	4,96	2,68	4,04	9,44	0,85	0,98	0,86	0,89	1,00
2763	2,66	4,84	2,825	3,8	9,36	0,89	0,95	0,91	0,83	0,99
2764	2,78	4,6	2,94	3,52	9,28	0,93	0,91	0,95	0,77	0,98
2765	2,84	4,4	3,04	3,28	9,12	0,95	0,87	0,98	0,72	0,97
2766	2,94	4,08	3,1	3	8,88	0,99	0,80	1,00	0,66	0,94
2767	2,98	3,8	3,1	2,68	8,44	1,00	0,75	1,00	0,59	0,89
2768	2,96	3,4	3,04	2,44	7,92	0,99	0,67	0,98	0,54	0,84
2769	2,94	3,12	2,96	2,16	7,52	0,99	0,61	0,95	0,47	0,80
2770	2,9	2,8	2,84	1,92	7,04	0,97	0,55	0,92	0,42	0,75
2771	2,8	2,52	2,66	1,72	6,48	0,94	0,50	0,86	0,38	0,69
2772	2,7	2,28	2,48	1,52	5,92	0,91	0,45	0,80	0,33	0,63
2773	2,58	2,08	2,24	1,4	5,44	0,87	0,41	0,72	0,31	0,58
2774	2,42	1,84	2,04	1,24	4,88	0,81	0,36	0,66	0,27	0,52
2775	2,24	1,68	1,84		4,48	0,75	0,33	0,59		0,47
2776	2,08	1,56	1,64		4	0,70	0,31	0,53		0,42
2777	1,88	1,44	1,46		3,68	0,63	0,28	0,47		0,39
2778	1,7		1,3		3,28	0,57		0,42		0,35
2779	1,5		1,16		2,96	0,50		0,37		0,31
2780	1,3		1,01		2,64	0,44		0,33		0,28
2781	1,18		0,92		2,24	0,40		0,30		0,24
2782	1,06		0,82		2,08	0,36		0,26		0,22
2783	0,96				1,84	0,32				0,19
2784	0,86				1,68	0,29				0,18
2785	0,8				1,6	0,27				0,17

Tabla C.6. Datos con los valores obtenidos de la medición de foco de un circuito integrado

Primera mitad			Segunda mitad		
posición z	Medido (volt)	normalizado	posición z	medido	normalizado
4090	1,60	0,29	3932	4,40	0,75
4091	1,76	0,32	3933	4,56	0,78
4092	1,84	0,33	3934	4,72	0,81
4093	2,08	0,38	3935	4,80	0,82
4094	2,24	0,41	3936	4,88	0,84
4095	2,40	0,43	3937	5,04	0,86
4096	2,72	0,49	3938	5,12	0,88
4097	2,96	0,54	3939	5,20	0,89
4098	3,20	0,58	3940	5,28	0,90
4099	3,36	0,61	3941	5,36	0,92
4100	3,68	0,67	3942	5,44	0,93
4101	4,56	0,83	3943	5,52	0,95
4102	4,88	0,88	3944	5,52	0,95
4103	5,04	0,91	3945	5,60	0,96
4104	5,20	0,94	3946	5,68	0,97
4105	5,36	0,97	3947	5,76	0,99
4106	5,44	0,99	3948	5,84	1,00
4107	5,52	1,00	3949	5,84	1,00
4108	5,52	1,00	3950	5,84	1,00
4109	5,44	0,99	3951	5,84	1,00
4110	5,44	0,99	3952	5,84	1,00
4111	5,28	0,96	3953	5,84	1,00
4112	5,20	0,94	3954	5,76	0,99
4113	5,04	0,91	3955	5,68	0,97
4114	4,72	0,86	3956	5,60	0,96
4115	4,48	0,81	3957	5,52	0,95
4116	4,16	0,75	3958	5,44	0,93
4117	3,76	0,68	3959	5,28	0,90
4118	3,28	0,59	3960	5,12	0,88
4119	2,80	0,51	3961	4,80	0,82
4120	2,40	0,43	3962	4,72	0,81
4121	1,92	0,35	3963	4,56	0,78
4122	1,60	0,29	3964	4,40	0,75
4123	1,36	0,25	3965	4,16	0,71

APÉNDICE D. DIAGRAMA DEL CIRCUITO QUE OBTIENE LA VENTANA VARIABLE PARTE VERTICAL.

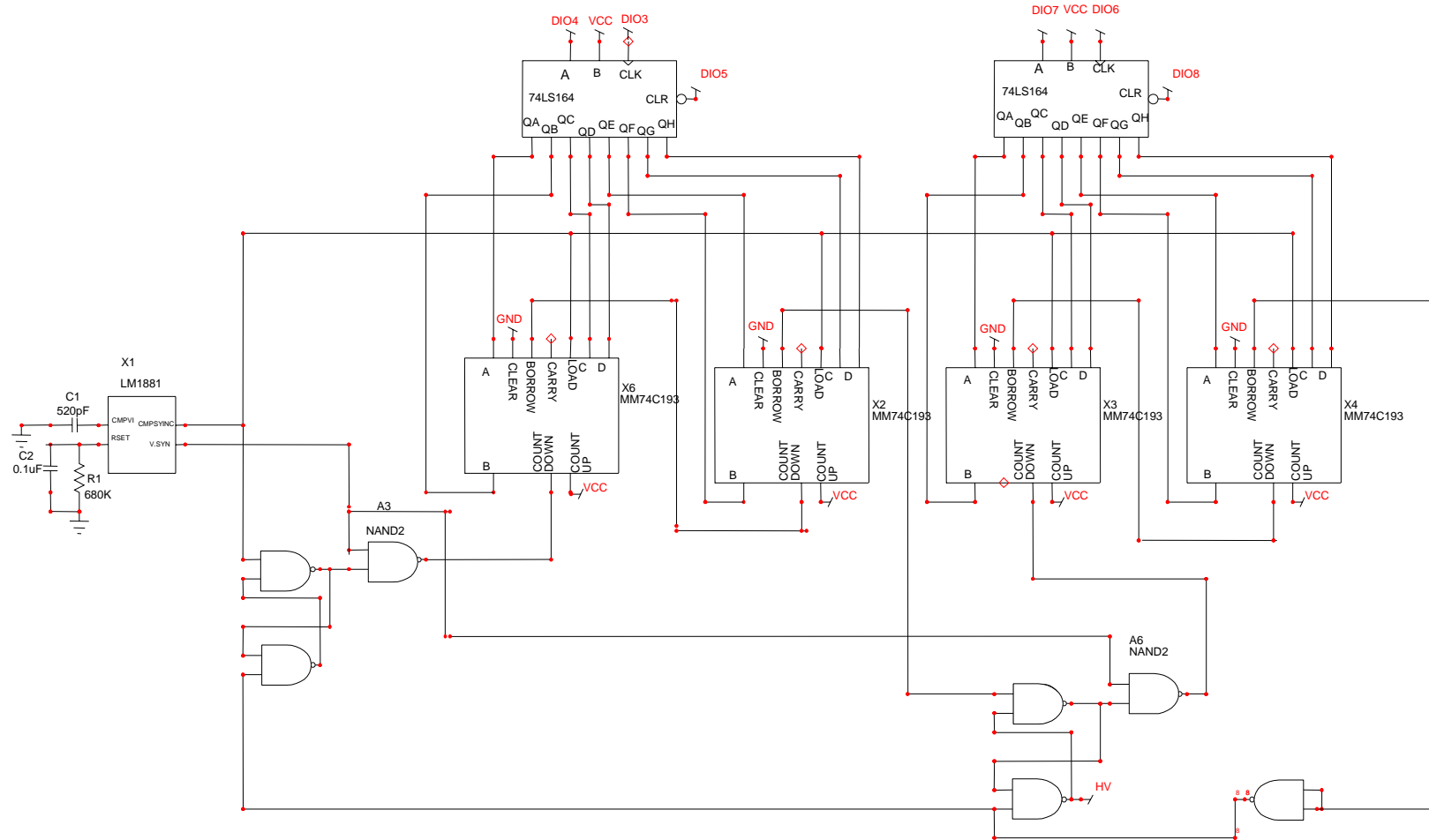


Figura D.1. Circuito para contar el número de líneas vertical, el cual utiliza cuatro contadores *MM74C193* 4 bit Up/Down Binary Counter. Dos registros de corrimiento.

APÉNDICE E. FUNCIONAMIENTO DEL POTENCIÓMETRO DIGITAL.

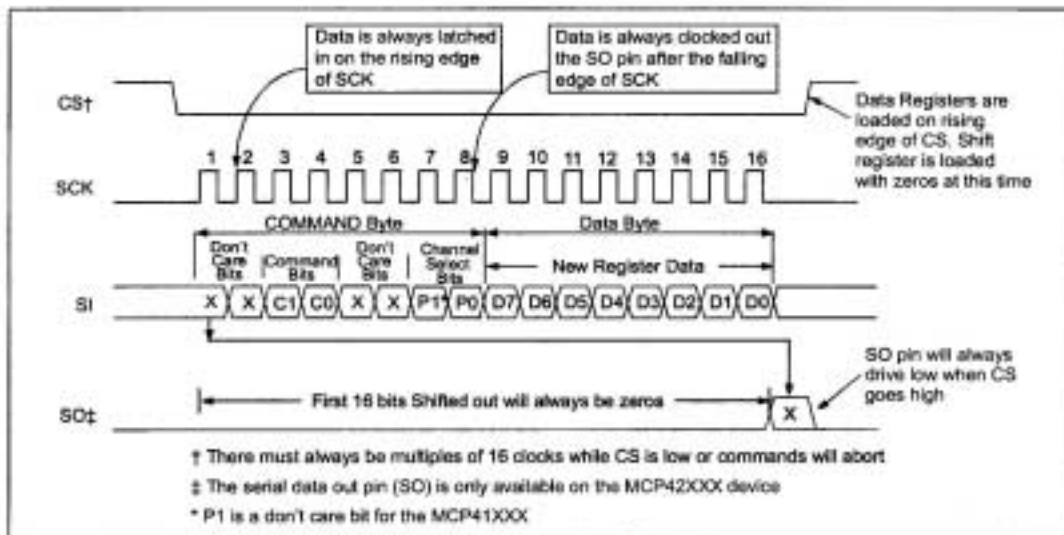


Figure 5-1: Timing Diagram for Writing Instructions or Data to a Digital Potentiometer

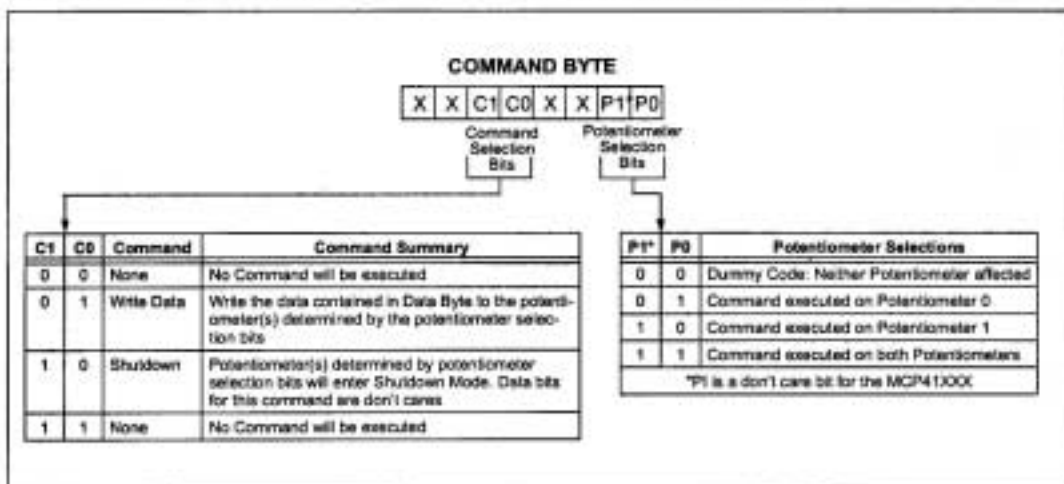


Figura F.1. En el siguiente diagrama tomado de Microchip. Muestra el funcionamiento del potenciómetro digital MCP42050, en donde los primeros 8 bits sirven para configurar los comandos a realizar (Command byte) y los últimos 8 bits son los datos a escribir.

Referencias Bibliográficas

- [1] High performance autofocus circuit for biological microscopy. Miguel Bravo Zanoguera, Benedikt V. Massenbach, Albert L. Kellner, and Jeffrey H. Price. Review of scientific instruments volume 69, number 11 November 1998.
- [2] Investigations about Autofocus- Algorithms for Fluorescence Microscopy. W. Bocker, W. Rolf, W. U. Muller, C. Streffer. Universitatsklinikum Essen, Institut fur Medizinische Strahlenbiologie. Spie Vol. 2847 0-8194-2235-5/96
- [3] Autofocusing in microscopy based on OTF an sampling. Frank R. Boddeket, Lucas J van Vliet, Hans Netten and Lan T. Young. Bioimaging 2 (1994) 193-203. IOP Publishing LTD
- [4] Focus Assist Device for a Flying Spot Microscope. M. Ali Kujjoory, Brian H. Mayall, and Mortimer L. Medelsohn. Ieee transactions on biomedical Engineering, vol. Bme-20, No. 2, March 1973.
- [5] Autofocus vs Voxel Projection for vertical Tracking in Scanning Cytometry. Jeffrey H. Price. Department of Bioengineering and Institute for Biomedical engineering. University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0412, Feb. 1997.
- [6] Óptica. Tercera edicion. Eugene Hecht. Adelphi University. Addison Wesley Iberoamericana, Madrid 2000.
- [7] Depth from Defocus: A Spatial Domain Approach. Subbarao and Gopal Surya. International Journal of computer Vision 13,3,271-294 (1994)
- [8] Comparison of Autofocus Methods for Automated Microscopy. Lawrence Firestone, Ktty Cook, Kevin Culp, Neil Talsania, and Kendall Preston, Jr².

Department of Electric and Computer Engineering, Carnegie Mellon University,
Pittsburgh, Pennsylvania 15213. Cytometry 12:195-206 (1991)

- [9] Microscopic Shape from Focus Using Active Illumination. Minori Noguchi and Shree K. Nayar. Department of Computer Science. Columbia University, New York, NY 10027, october 1994.

- [10] Video Microscopy The Fundamentals. Second Edition. Shinya Inoue and Kenneth R. Spring Plenum Press New York, 1997.

- [11] *Spice* simulations use controlled sources to model NTSC signals. Anthony M. Radice, General Instrument Corp, Edn March 1, 1991

- [12] Calibration of the automated z-axis of a microscope using focus functions. F. R. Boddeke. L.J. Van Vliet & I. T. Young. Journal of Microscopy, Vol. 186, Pt 3, June 1997, pp. 270-274

- [13] National Semiconductor Sync separator LM1881 (Typical Applications)