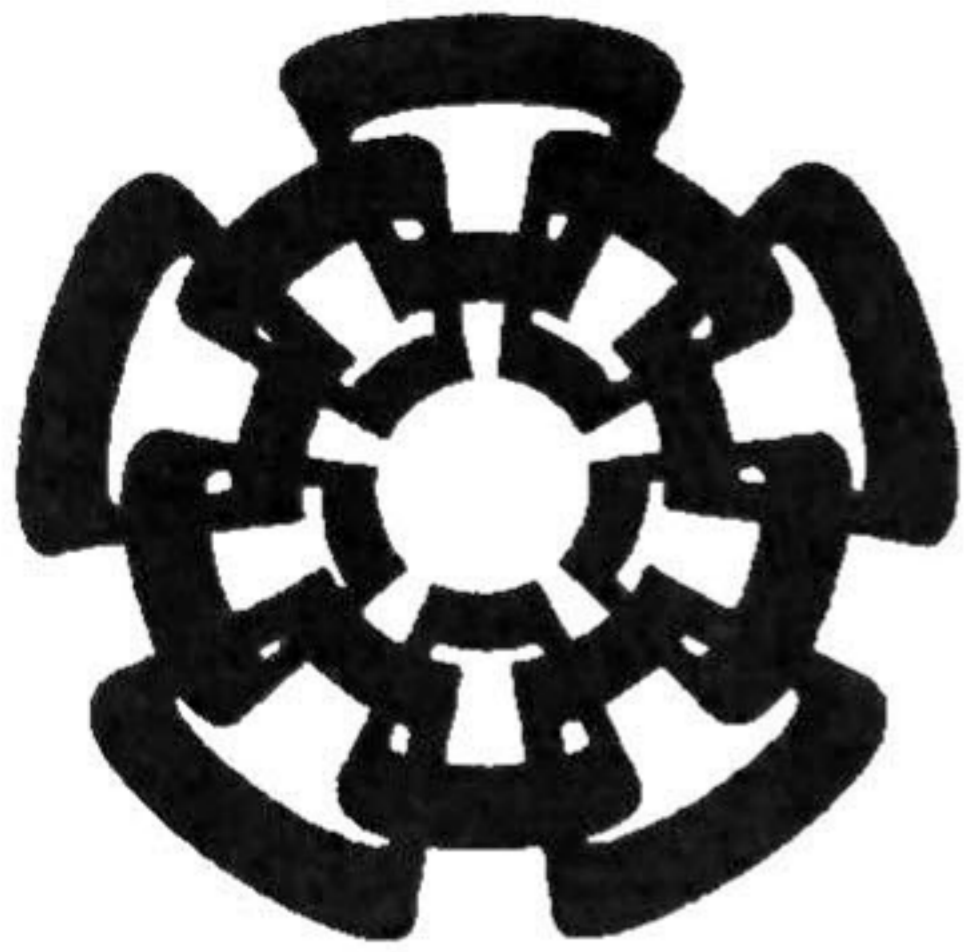


XX (138686.1)



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
Unidad Guadalajara

Diseño de un Proyector de Imágenes en 3D

**CINVESTAV
IPN
ADQUISICION
DE LIBROS**

Tesis que presenta:

Luis Ilich Vladimir Guerrero Linares

para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

en la especialidad de:

Ingeniería Eléctrica

CINVESTAV IPN
USB INFORMACION Y DOCUMENTACION
SERVICIO DOCUMENTAL

Director de Tesis

Dr. José Luis Leyva Montiel

Guadalajara, Jalisco, Octubre de 2007.

CLASIF.:	TR 165.68.584 9007
ADQUIS.:	SSI-471
FECHA:	
PROCED.:	DON-2008
	\$

I.P. 137706-2006

Diseño de un Proyector de Imágenes en 3D

**Tesis de Maestría en Ciencias
Ingeniería Eléctrica**

Por:

Luis Ilich Vladimir Guerrero Linares
Ingeniero en Mecánica Eléctrica
Universidad de Guadalajara 1995-2000

Becario de CONACYT, expediente no. 171991

Director de Tesis
Dr. José Luis Leyva Montiel

CINVESTAV del IPN Unidad Guadalajara, Octubre de 2007.

Resumen

En esta tesis se presenta el diseño de un sistema capaz de proyectar imágenes en 3D así como también las interfaces electrónicas para el despliegue de estas imágenes.

El sistema está basado en el movimiento de vaivén de una matriz de LEDs sobre la cual se presentan secciones de la imagen 3D, consiguiendo de esta forma presentar 100 secciones de la imagen 3D en 100 profundidades uniformemente espaciadas.

El mecanismo capaz de producir dicho movimiento, oscila de forma que se presenten 24 imágenes 3D por segundo para producir la sensación en el ojo humano de una imagen continua.

La matriz de LEDs está conformada por un arreglo de 128x128 LEDs que están mapeadas a un banco de memoria, donde se almacenan las imágenes 3D.

Inicialmente, la imagen 3D se crea en una PC mediante un software creado para este propósito que también secciona en 100 y almacena los datos obtenidos en el banco de memoria.

El banco de memoria almacenan tres imágenes 3D, una para la imagen original y dos más para la proyección, de esta forma las operaciones de traslación, rotación y escalado se realizan con los datos de la imagen original y se almacenan en las de proyección.

Para el desplegado conveniente de la sección de la imagen 3D se emplea una arquitectura electrónica para conocer la posición de la matriz de LEDs a partir de las señales proporcionadas por un Encoder y así desplegar la sección adecuada.

Abstract

This Thesis presents the system design to project 3D images and the electronic interfaces for the projection of these images.

The system are based on the swing of a LED matrix for the projection of section that conform the 3D images and getting present 100 section of the image 3D on 100 spaced uniform depths.

The mechanism for this task, oscillate for present 24 images for second and get the sensation on the human eye of a continuous image.

The LED matrix is conformed by an array of 128x128 LED and they are mapped into a memory bank where are located the 3D images.

Initially, the creation of the 3D image are made on the PC using a software for this propose, the additional task of software divide the image 3D in 100 section and store the data result into the memory bank.

The memory bank has the ability for store three images, one for the original image and two more for the projection, for this way the translation, rotation and scaled operation are preceded with the original data and the results are stored on the projection memory.

For the convenient section projection of the 3D image, it is necessary know the LED matrix position through the Encoder signals and project the correct section.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me apoyaron para la realización de mi tesis, especialmente a mi asesor el Dr. José Luis Leyva Montiel por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.

A CONACYT por el apoyo económico brindado durante 2 años sin el cual no hubiese podido dedicarme a mis estudios de tiempo completo.

También agradezco a todos los doctores que conforman la maestría de diseño electrónico en especial a el Dr. Federico Sandoval y al el Dr. Juan Luis del Valle.

También agradezco al Dr. Juan Manuel Ramírez que gracias a su ayuda puede completar al final este trabajo de tesis aun cuando la carga de trabajo era intensa.

Agradezco a mis padres que gracias a ellos he visto realizar mis objetivos. Agradezco a mi novia que sin su apoyo no podría continuar tan fácilmente.

Índice de Contenido.

1	Capítulo 1: Introducción.....	8
1.1	Trabajo de Tesis.....	9
1.2	Arquitectura del Sistema MIRAGE.....	10
2	Capítulo 2: Especificación Técnica Mecánica.....	13
2.1	Sistema Mecánico.....	13
2.1.1	Ecuaciones de Movimiento.....	14
2.1.2	Interpretación de las Ecuaciones de Movimiento.....	16
2.1.3	Determinación de L_2	17
3	Capítulo 3. Especificación Técnica Electrónica.....	21
3.1	Introducción.....	21
3.2	Procesador digital.....	21
3.2.1	Comunicación.....	22
3.3	Matriz de LEDs.....	23
3.4	Memoria del Sistema.....	25
3.5	Bancos de memoria.....	27
3.6	Direccionamiento de la Memoria del Sistema.....	28
3.7	Generación de las Direcciones de las Memorias.....	28
3.7.1	Generación de DIR_A.....	28
3.7.2	Direcciones DIR_B.....	31
3.7.3	Generación de DIR_X.....	33
3.7.4	Temporización de la Memoria del Sistema.....	33
4	Capitulo 4. Manipulación Geométrica de la Imagen.....	36
4.1.1	Matriz de Escalado.....	37
4.1.2	Matriz de Traslación.....	38
4.1.3	Matriz de Rotación Sobre un Eje.....	38
5	Capítulo 5. Resultados de simulación.....	40
5.1	Simulación del mecanismo.....	40
5.2	Simulación del Sintetizador de reloj.....	43
5.2.1	Detector de Fase.....	44
5.2.2	Filtro.....	46
5.2.3	VCO.....	47
5.2.4	Divisor de Frecuencia.....	49
5.3	Simulación Digital.....	53
6	Capítulo 6. Conclusiones.....	54
7	Apéndice A. Diagramas de flujo.....	55
7.1	Algoritmos para las memorias de conversión (referirse al algoritmo 1).....	55
7.2	Algoritmos para generar la señal ECDP (referirse a la Figura 28).....	56

Documentos de Referencia

- Mirage System Requirements, Centro de Tecnología de Semiconductores, May 26, 2003.
- Motorola HCS08GB60 Reference Manual, Rev 1, 6/2003.
- Cypress Semiconductor Corporation CY7C056V/ CY7C057V Data Sheet, Sep 7, 2001.
- EXAR XR-2206 Monolithic Function Generator Data Sheet June 1997.
- Microchip 28C64A Data Sheet, 1994.
- Altera Corporation Flex10K Embedded Programmable Logic Device Family Data Sheet, May 2001, Version 4.1.

Glosario de Términos

θ	Ángulo del motor impulsor del plano de despliegue.
$\Delta\theta$	Incremento del ángulo del motor impulsor del plano de despliegue.
ω	Velocidad angular del motor impulsor del plano de despliegue.
2D	Dos Dimensiones
3D	Tres dimensiones.
BMS	Bit más significativo de las direcciones de las memorias del sistema.
ECDP	Señal indicadora del cambio y de plano.
CH_A	Canal A del <i>Encoder</i> .
CH_B	Canal B del <i>Encoder</i> .
COMP	Comparación de señales digitales.
D	Duración en periodos de CH_A de un plano.
DIR_A	Bits de 11 al 5 de las direcciones de las memorias del sistema.
DIR_B	Bits de 4 al 0 de las direcciones de las memorias del sistema.
DIR_X	Bits de 14 al 12 de las direcciones de las memorias del sistema.
HBS	Bit más significativo.
\overline{INT}_L	Interrupción generada por las memorias del sistema.
INX	Índice del <i>Encoder</i> .
LBS	Bit menos significativo.
LED	Diodo emisor de luz.
P	Plano de despliegue.
PC	Computadora personal.
n	Número de pulso proporcionado por el <i>Encoder</i> .
N	Número de planos de proyección.
R	Resolución del <i>Encoder</i> .
y	Posición del plano de proyección.
y_{max}	Posición máxima del plano de proyección.
UART	Transmisión-Recepción Asíncrona Universal.
v	Velocidad del plano de proyección.
v_{max}	Velocidad máxima del plano de proyección.
V0	Espacio de memoria que almacena la imagen 0.
V1	Espacio de memoria que almacena a la imagen 1.
V2	Espacio de memoria que almacena la imagen 2.

1 Capítulo 1: Introducción.

Para formar una animación de imágenes, tales como las que se perciben en cine se requieren como mínimo presentar 24 imágenes por segundo para conseguir la sensación de una imagen continua. Esto se logra ya que la retina del ojo humano almacena por un lapso corto la imagen proyectada. Los formatos de televisión existen dos estándares proyectan de 25 imágenes por segundo (PAL) y 30 imágenes por segundo (NTSC) produciendo una sensación más clara del movimiento.

Esta idea es extrapolada para generar objetos tridimensionales. Actualmente la formación de imágenes tridimensionales se ha llevado a cabo hasta ahora mediante la holografía, sin embargo, estas imágenes son fijas o con movimiento restringido a pocos segundos. La idea presentada en este trabajo consiste en presentar un mecanismo capaz de formar imágenes tridimensionales móviles producidas por computadora basándose en la proyección de 24 imágenes por segundo.

Justificación.

En una sociedad que avanza rápidamente tanto en las esferas científicas como tecnológicas surgen nuevas necesidades y nuevos retos, como es el campo de las imágenes 3D en movimiento.

Las necesidades que existen en las áreas de la cirugía, el análisis de elementos mecánicos y la navegación aérea entre otras más hace que sea relevante el desarrollo de un proyector de imágenes 3D, ya que con su ayuda se podrán realizar cirugías con mayor precisión, analizar los esfuerzos críticos en un elemento mecánico en movimiento, en evitar tráfico y accidentes aéreos, etc.

Hasta nuestros días se presentan las imágenes 3D en pantallas planas usando técnicas computacionales para la sensación de 3D sin embargo hereda todos los prejuicios de las imágenes 2D, esto es, sólo existe un punto de vista. Adicionalmente la holografía presenta imágenes 3D con la posibilidad de observar un objeto o imagen desde más de un punto de vista sin embargo, dada su formación a partir de la interferencia de ondas luminosas, aun no es posible obtener imágenes holográficas en movimiento por su gran cantidad de información. Las imágenes estereoscópicas requieren de lentes especiales para percibir con cada ojo una imagen diferente y producir la sensación de imágenes 3D. Sin embargo este método no proporciona la perspectiva de un objeto 3D, esto es sólo tenemos una sensación de profundidad.

Aplicaciones

Las aplicaciones abarcan en diferentes áreas como son el los campos de la mecánica para el desarrollo de nuevos elementos y sistemas mecánicos tales como transmisiones, embragues, turbinas entre otros.

El campo de la medicina para realizar un análisis de la anatomía del cuerpo, sistema u órgano antes, durante y después de una intervención médica.

En las áreas del control de tráfico aéreo de los aeropuertos para comandas cada vez mayor numero de aviones en aire y optimizar recursos en cuanto a despegues y aterrizajes.

El campo del entretenimiento para el desarrollo de videojuegos 3D reales y la transmisión de imágenes 3D como medio de esparcimiento.

1.1 Trabajo de Tesis.

Diseñar un sistema que despliegue objetos tridimensionales basados en la generación de 100 imágenes planas (dos dimensiones) en un volumen determinado.

El documento de referencia “Mirage System Requirements” presenta varias maneras de producir una imagen tridimensional, sin embargo, en todos estos mecanismos la idea original es la misma, es decir, consiste en llenar un volumen dado con imágenes de dos dimensiones a tal velocidad que jugando con la persistencia de la imagen en el ojo puedan dar la sensación de una imagen tridimensional.

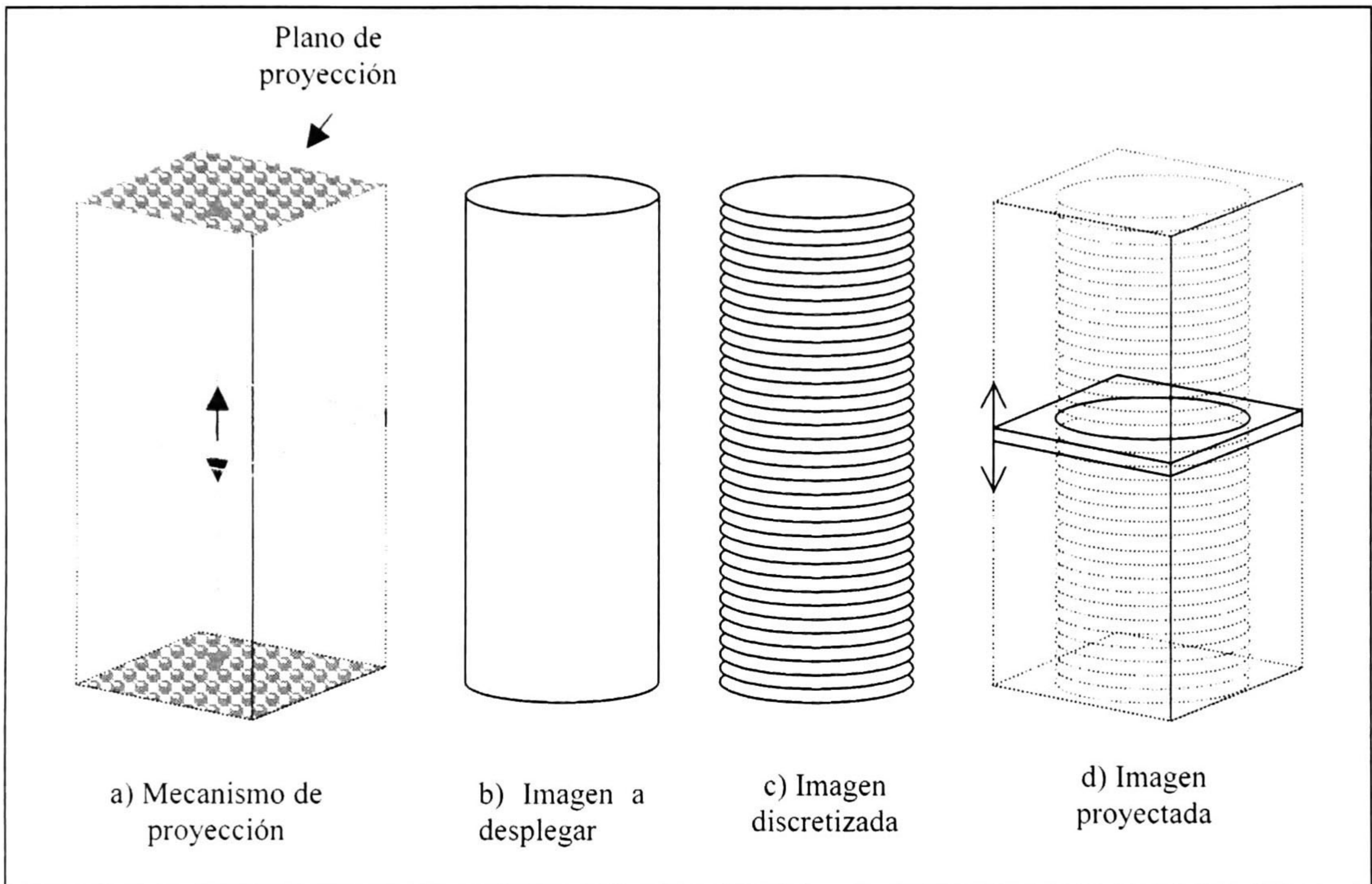


Figura 1. Objeto tridimensional para su visualización.

La idea es simple y esta representada en la **Figura 1**. La **Figura 1(a)** presenta el mecanismo de proyección que recorre periódicamente un volumen de proyección. La **Figura 1(b)** representa la imagen 3D original a desplegar. La **Figura 1(c)** representa la imagen a desplegar que corresponde a la imagen original dividida en 100 secciones. La **Figura 1(c)** representa la imagen generada por el proyector 3D donde se señala el plano de despliegue en un punto específico del volumen de proyección.

Para crear la imagen bidimensional (2D) se cuenta con un plano de proyección (cuadrado) donde se han montado 16,384 LEDs en un arreglo matricial de 128x128.

Para crear la imagen tridimensional (3D) se mueve el plano de proyección verticalmente sobre una trayectoria de longitud l . La trayectoria l se divide en 100 puntos equidistantes y en cada uno de estos puntos se crea una imagen 2D, ver **Figura 2**

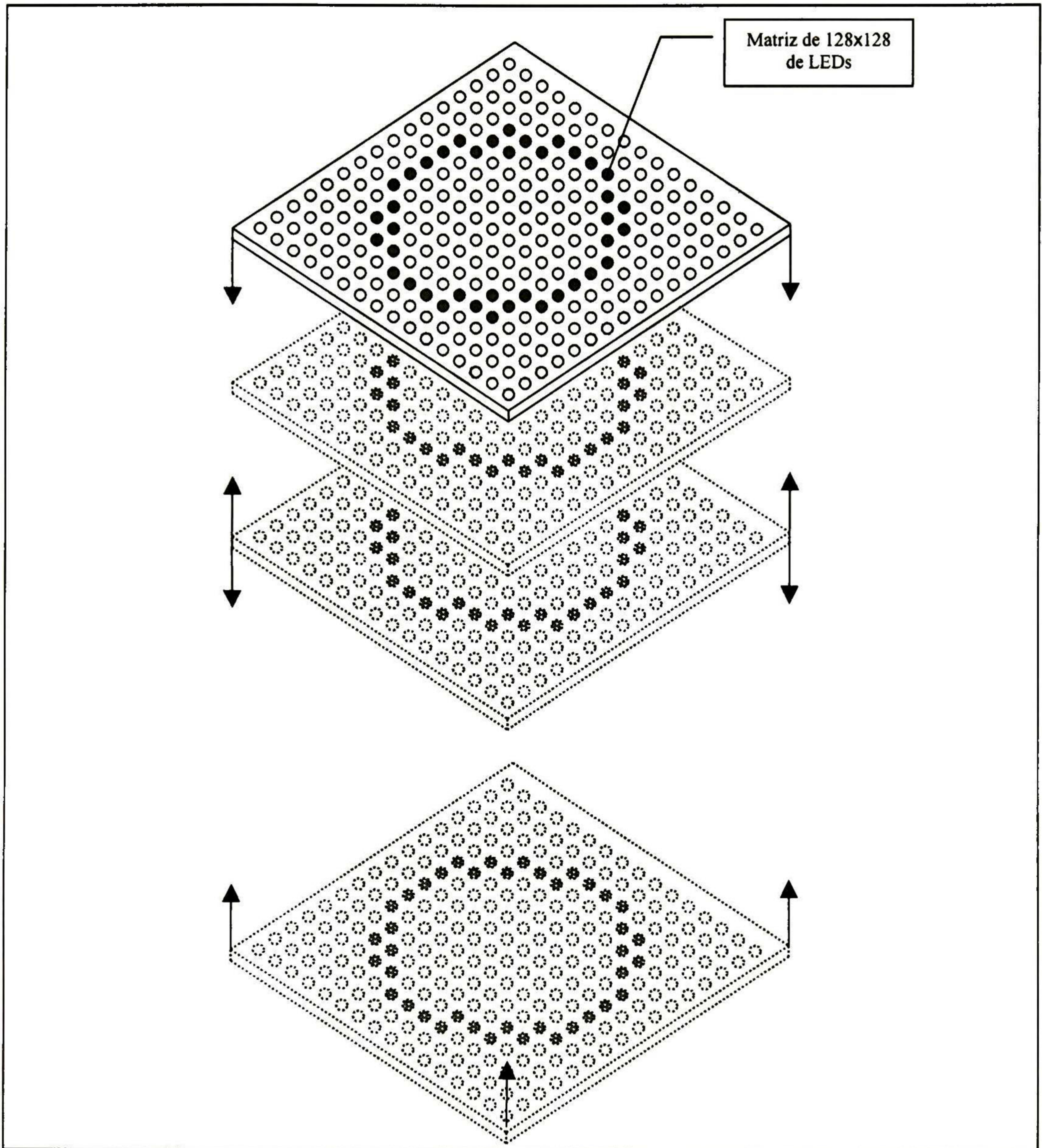


Figura 2. Matriz de LEDs sobre la plataforma en movimiento vertical.

1.2 Arquitectura del Sistema MIRAGE.

La arquitectura del sistema MIRAGE se compone de tres subsistemas básicos ver Figura 3:

- Generador de imágenes digitales
- Tarjeta electrónica para almacenar y procesar las imágenes
- Sistema Mecánico

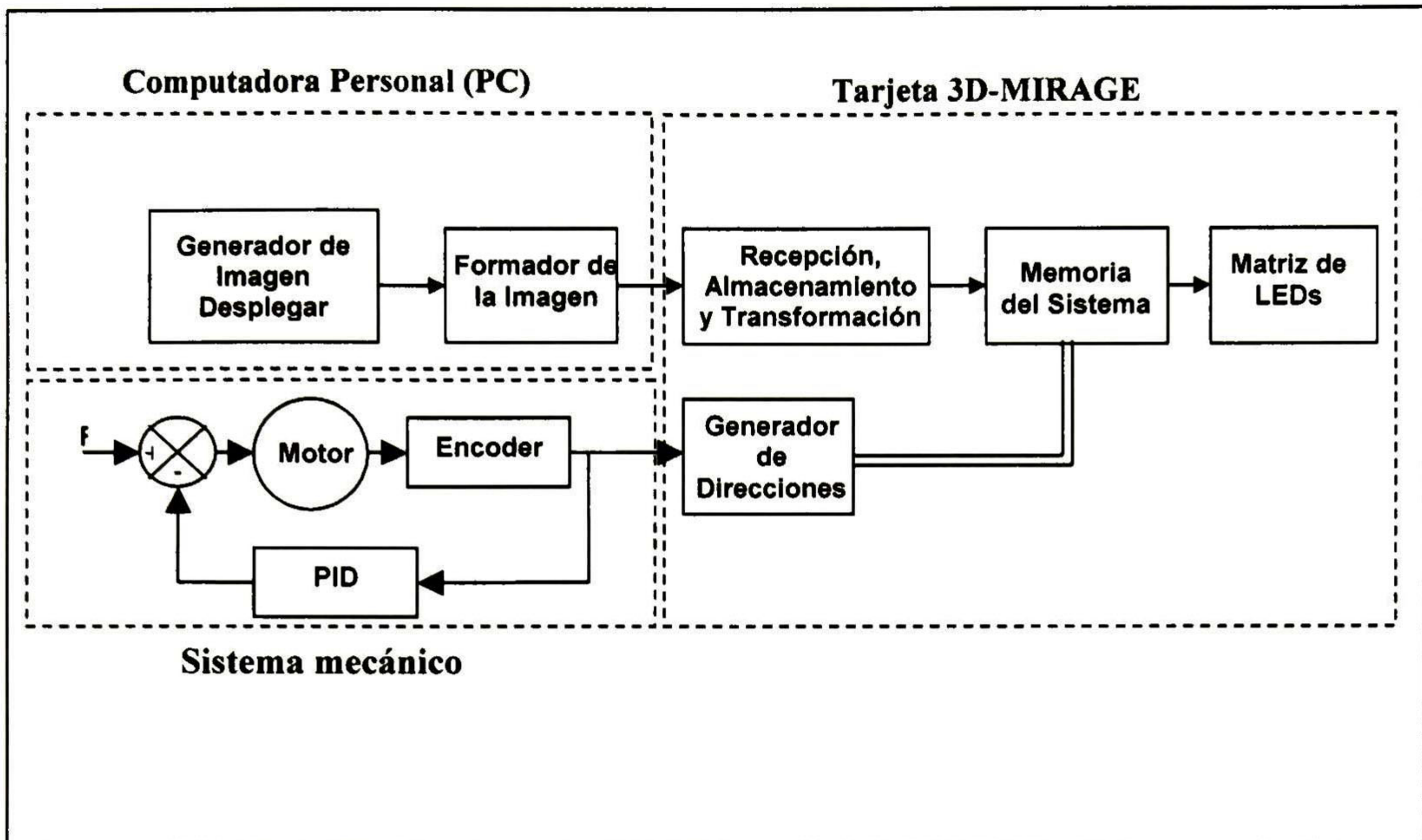


Figura 3. Arquitectura eléctrica y electrónica del sistema MIRAGE.

Generador de imágenes digitales

El usuario genera una imagen inicial a desplegar en el sistema Mirage, la herramienta básica para generar dicha información puede ser una computadora personal (PC), o cualquier otro sistema (video juegos) que tenga esta capacidad.

Las imágenes a desplegar se pueden generar con algún *software* general tal como C++ o especializado como 3D Studio Max, AutoCad, etc.

La imagen así adquirida es procesada por el sistema formador usando el *software* 3D-SW que calcula y divide la imagen en 100 planos. Cada uno de estos planos es formado o aproximado para generar la imagen respectiva con la ayuda de la matriz de LEDs.

Los 100 planos que componen la imagen se transmite usando comunicación serial hacia la sección del almacenamiento de la tarjeta 3D-MIRAGE.

Tarjeta 3D-MIRAGE

La tarjeta 3D-MIRAGE es la interfase entre el generador de imágenes y el mecanismo de despliegue de imágenes 3D, sus funciones son:

- almacenamiento (3 imágenes 3D)
- transformaciones geométricas de la imagen
- despliegue de imágenes en la matriz de LEDs.

Las imágenes son recibidas a través del puerto serial a 9,600bps y son almacenadas en una memoria de puerto dual. Esta etapa es controlada por el microcontrolador HCS08GB60 de Motorola, el cual además, realiza las transformaciones geométricas de rotación, escalado y translación.

Las direcciones donde se almacena la imagen inicial son generadas y sincronizadas en tiempo y espacio a partir de la posición del eje del motor (a través de un encoder).

Sistema mecánico

El sistema mecánico es el encargado de generar los planos de despliegue en un volumen. Desde el punto de vista electromecánico se compone de un servomecanismo que esta compuesto de un motor alimentado por CD y de un encoder que permite calcular la posición angular de la flecha del motor. El motor se encarga de proporcionar el movimiento para la generación de los planos de proyección. La velocidad angular del motor permite generar 24 Volúmenes/s, este requerimiento se basa en el sistema de cine que genera 24 cuadros/s. Para llevar a cabo esta tarea se utiliza de un controlador de velocidad tipo PID ver **Figura 3**.

Este mecanismo consta básicamente de un motor, un volante y 2 brazos eslabonados que en conjunto permiten que el plano de despliegue viaje verticalmente la distancia l .

Como se puede observar en la Figura 4, un giro del motor corresponde a un recorrido completo del plano de proyección sobre el eje vertical. Dado que el movimiento vertical del mecanismo está acoplado al movimiento angular del motor, entonces, el movimiento vertical seguirá un compás de aceleración y desaceleración casi senoidal continuo. Este movimiento con velocidad variable no es un problema ya que la electrónica es muy rápida y sólo se requiere conocer la posición del plano de proyección para desplegar la imagen correspondiente.

La posición del plano de proyección se determina como una función de la posición angular de la flecha del motor y esta a su vez con la ayuda de un *Encoder*.

2.1.1 Ecuaciones de Movimiento.

En esta sección se determina la ecuación de movimiento del plano de proyección en función del ángulo de giro del motor y la geometría del mecanismo. Ver la **Figura 5**.

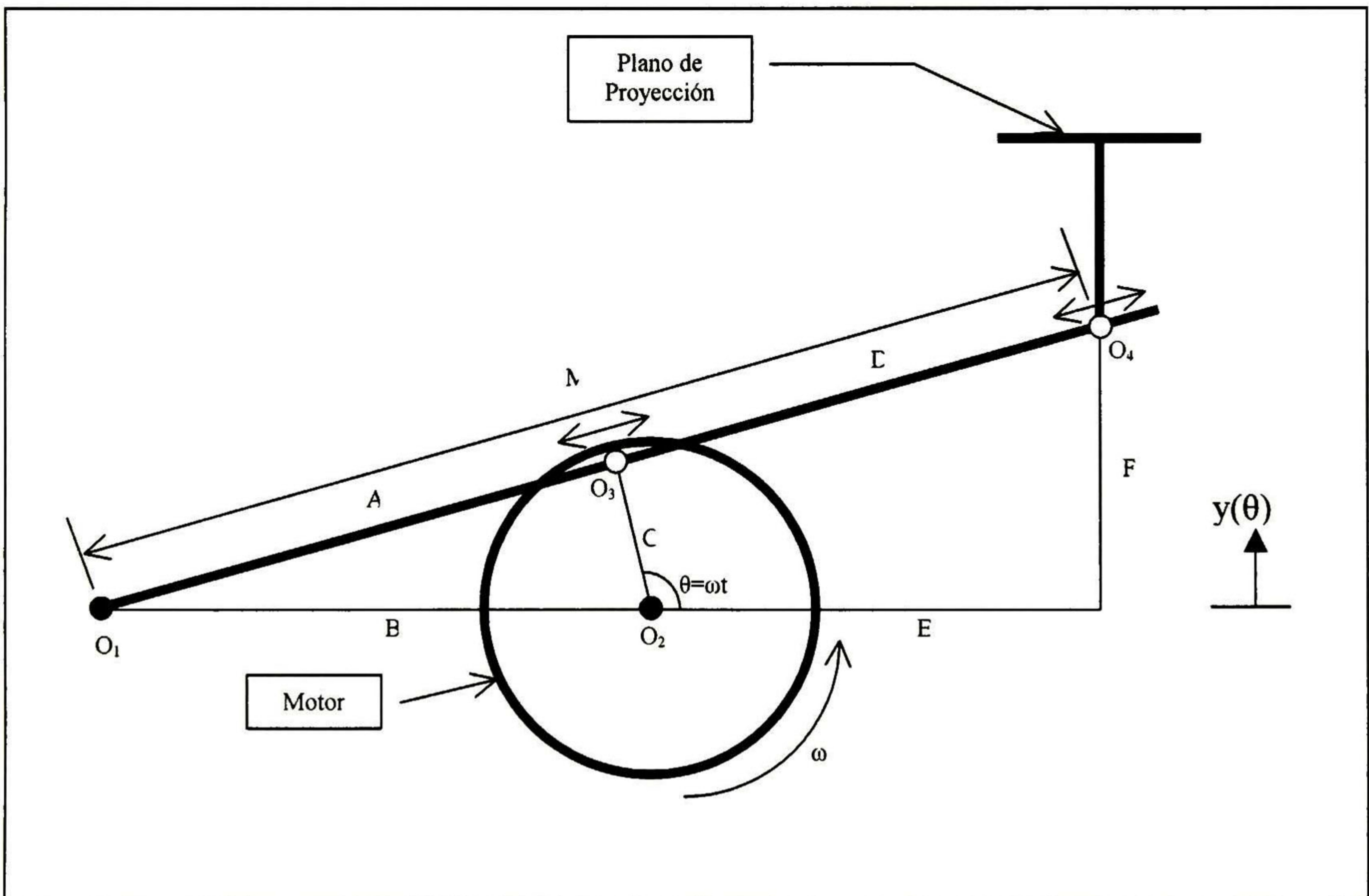


Figura 5. Mecanismo del plano de proyección.

En este sistema, el segmento M es fijo y la longitud del segmento A es variable en el tiempo, es decir;

$$M = A(t) + D$$

Para calcular la posición del plano de proyección con respecto al desplazamiento angular del motor se hace uso del mecanismo reducido que contempla únicamente los eslabones A, C y B, presentado en la **Figura 6**.

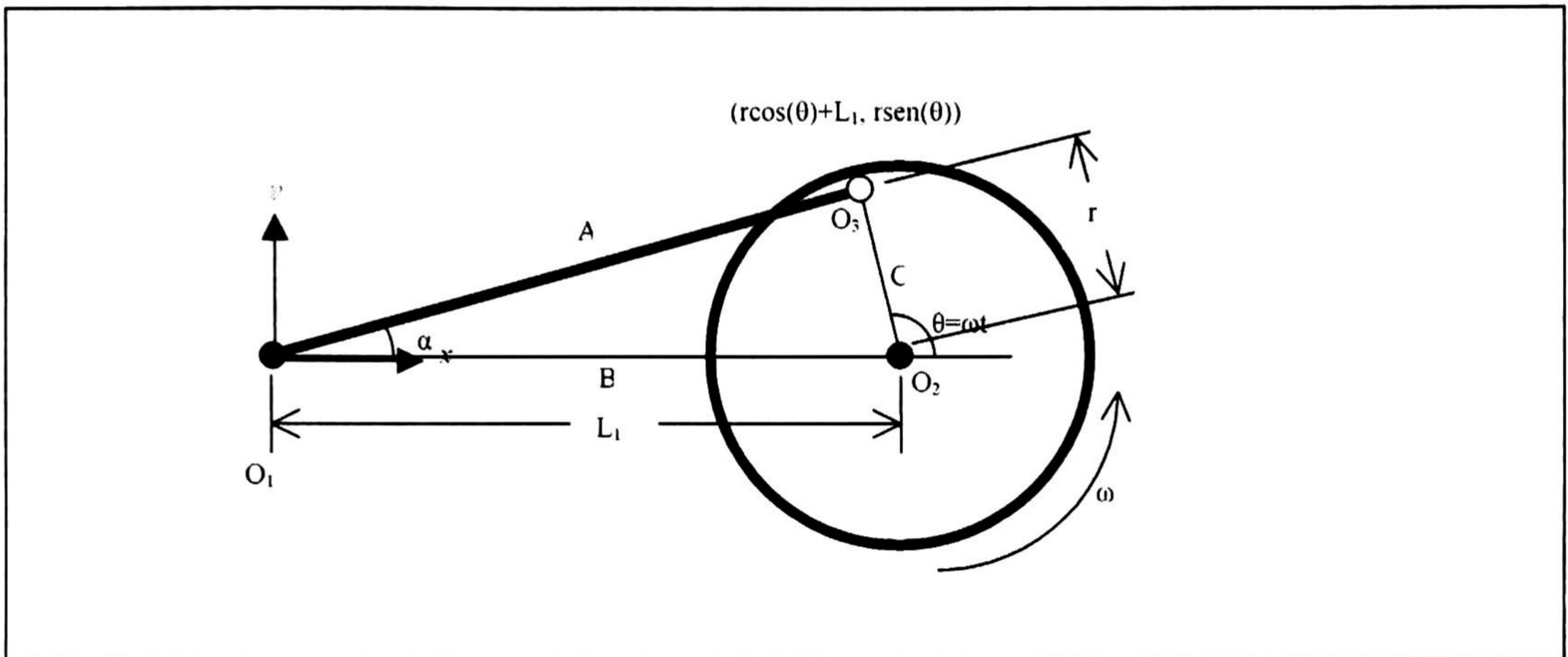


Figura 6. Determinación del ángulo α .

$$\tan \alpha = \frac{r \sin \theta}{r \cos \theta + L_1} \tag{2.1}$$

En virtud a este resultado, se puede determinar la posición del plano, para ello considérese la Figura 7.

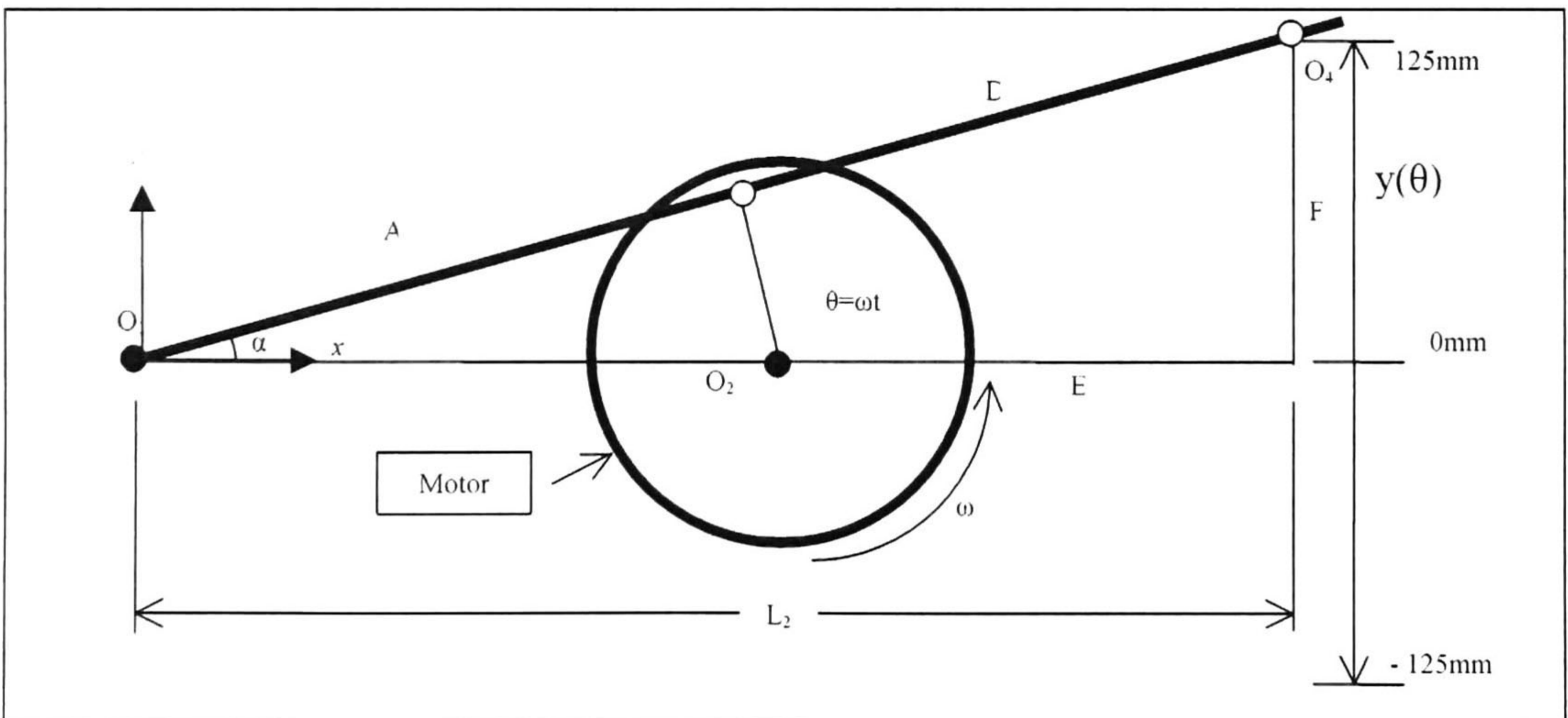


Figura 7. Determinación de la posición del plano de proyección.

Aplicando la trigonometría se puede escribir la posición del plano de proyección como

$$y(\theta) = L_2 \tan \alpha \quad (2.2)$$

Lo que nos define la posición del plano de proyección a partir de ángulo de la flecha.

$$y(\theta) = L_2 \frac{r \operatorname{sen} \theta}{r \cos \theta + L_1} \quad (2.3)$$

Con este resultado es factible encontrar la posición, velocidad y aceleración del plano de proyección en función del ángulo de θ .

Estas magnitudes físicas ayudan a encontrar el resto de los elementos del mecanismo para un óptimo desempeño.

2.1.2 Interpretación de las Ecuaciones de Movimiento.

En la ecuación 2.3 $y(\theta)$ es función de θ mientras que r , L_1 y L_2 los determina el diseñador, lo que nos da una infinidad de soluciones.

Los recorridos máximo y mínimo de $y(\theta)$ se encuentra cuando su velocidad es cero, es decir:

$$\frac{dy(\theta)}{d\theta} = 0 \quad (2.4)$$

Lo que resolviendo nos lleva a las siguientes igualdades:

$$\cos \theta \Big|_{y \max} = -\frac{r}{L_1} \quad (2.5)$$

$$\sin \theta \Big|_{y \max} = \frac{\sqrt{L_1^2 - r^2}}{L_1} \quad (2.6)$$

La ecuación 2.5 tiene dos soluciones para θ dada la forma par del coseno, es decir, para un valor dado del ángulo existen dos valores de θ que satisfacen esta igualdad, de aquí que los valores máximo y mínimo sean entonces:

$$\theta \Big|_{y \max} = \cos^{-1} \left(-\frac{r}{L_1} \right); \quad \theta \Big|_{y \min} = 2\pi - \cos^{-1} \left(-\frac{r}{L_1} \right) \quad (2.7)$$

2.1.3 Determinación de L_2

De acuerdo a los requerimientos iniciales, se pide que el desplazamiento o carrera del plano de proyección sea de 250 mm ($y_{max} = 125\text{ mm}$).

De la ecuación 2.3 se puede escribir:

$$y_{max} = L_2 \frac{r \operatorname{sen} \theta \Big|_{y_{max}}}{r \cos \theta \Big|_{y_{max}} + L_1} = \frac{L_2 r}{\sqrt{L_1^2 - r^2}} = 125\text{ mm} \quad (2.8)$$

de donde podemos determinar a L_1 ,

$$L_1 = \frac{r}{125\text{ mm}} \sqrt{L_2^2 + (125\text{ mm})^2} \quad (2.9)$$

Además el mecanismo impone la siguiente restricción

$$L_2 \geq L_1 + r \quad (2.10)$$

Sustituyendo la ecuación 2.9 en 2.10 se tiene

$$r \leq \frac{L_2}{\frac{1}{125\text{ mm}} \sqrt{L_2^2 + (125\text{ mm})^2} + 1} \quad (2.11)$$

Las selecciones de L_2 y r son muy importantes ya que definen el tamaño del mecanismo. Como se puede ver, el mecanismo aun restringido, tiene una infinidad de soluciones que se obtienen al variar r que satisfaga la restricción 2.11, ver Figura 8, sin embargo, una vez seleccionada una L_2 , cualquier selección de r dará las mismas curvas de velocidad independientemente de L_1

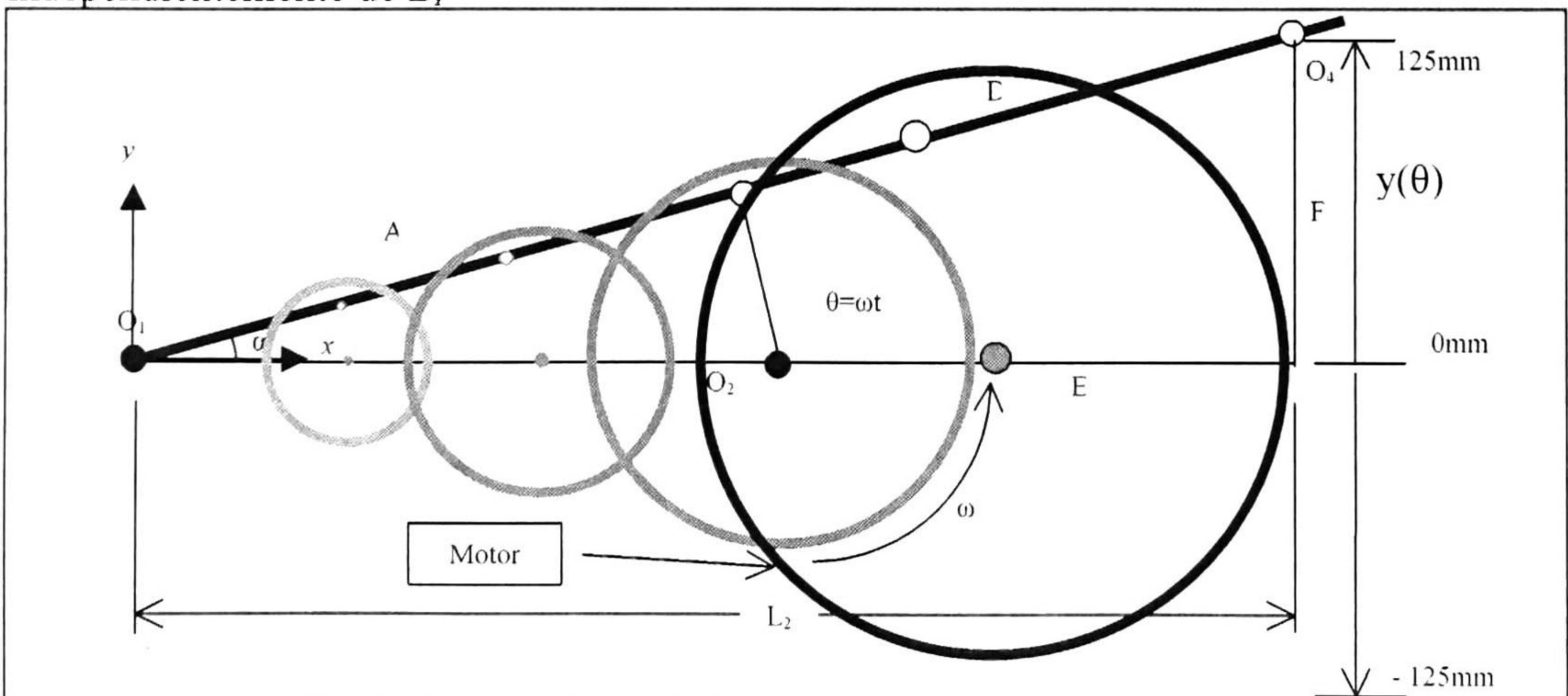


Figura 8. Representación del mecanismo con diferentes valores de r .

Las características mecánicas de los eslabones la velocidad con la que sube el plano de proyección es siempre mayor que la velocidad con la que baja.

La velocidad v del plano de desplazamiento queda determinada por

$$v = \frac{dy(\theta)}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = L_2 \frac{\cos \theta \left(\frac{1}{125} \sqrt{L_2^2 + 125^2} + 1 \right) + 1}{\left(\cos \theta + \frac{1}{125} \sqrt{L_2^2 + 125^2} + 1 \right)^2} \frac{d\theta}{dt} \quad (2.12)$$

Para determinar $d\theta/dt$ se sigue

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{24Vol}{1s} * \frac{2\pi rad}{2Vol} = 24\pi rad/s \quad (2.13)$$

La Figura 9 muestra las simulaciones de la ecuación 2.13 para diferentes valores de r , y L_2 .

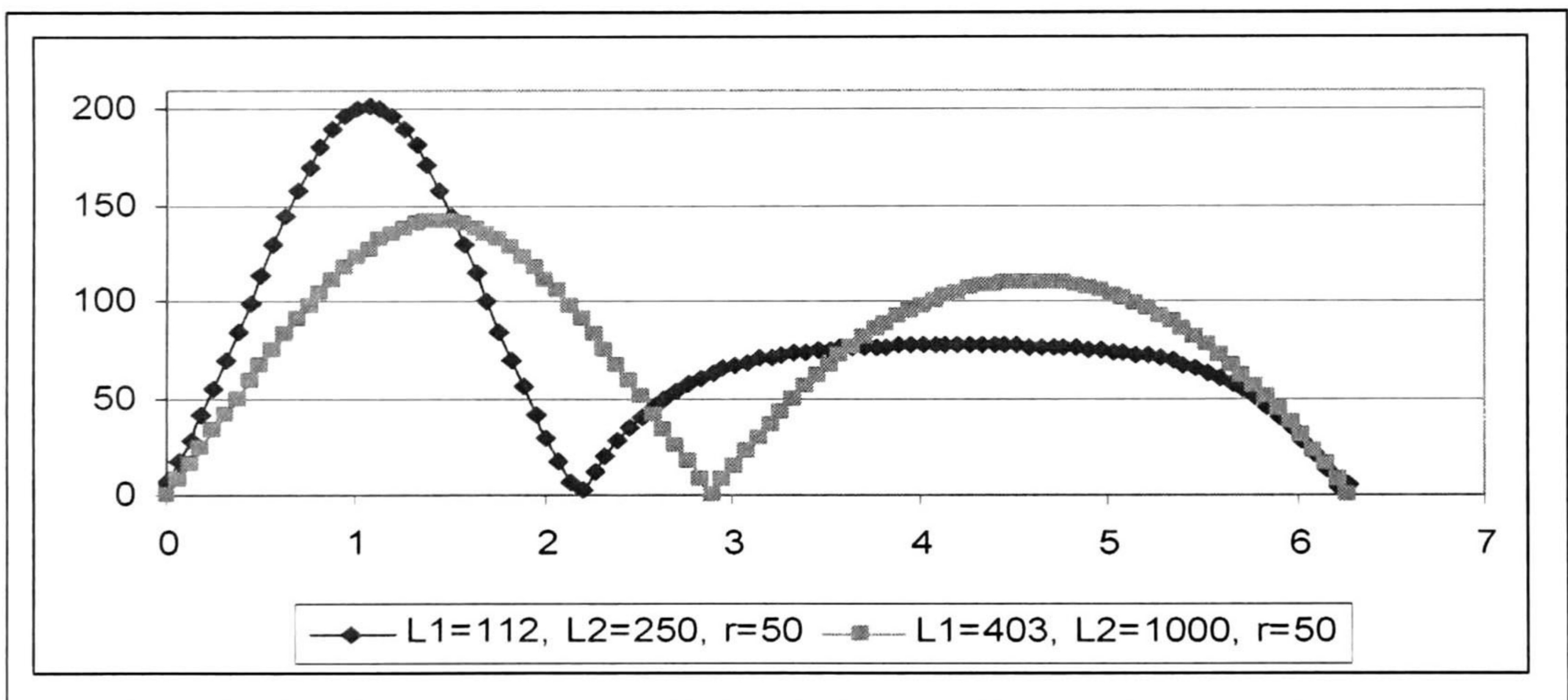


Figura 9. Velocidad del plano de proyección.

Nota: cuando el segmento L_2 es corto, la velocidad de subida de $y(\theta)$ tiene una pendiente suave y la velocidad de bajada es abrupta. Asimismo cuando L_2 aumenta, la velocidad de subida de $y(\theta)$ es semejante a la velocidad de bajada.

De las figuras anteriores podemos obtener el siguiente procedimiento de diseño:

- Proponer los valores de r y L_2 de acuerdo a las restricciones mecánicas y la velocidad máxima.
- Calcular el valor de L_1 en base a la ecuación (2.10)

La **Tabla 1** muestra algunos valores para las L_1 , L_2 y r .

L_2 (mm)	R (mm)	L_1 (mm)	v_{max} (m/s)
250	50	112	15.2496111
500	50	206	12.0710332
750	50	304	11.1255774
1000	50	403	10.6762209

Tabla 1. Representación de v_{max} en función de L_2 .

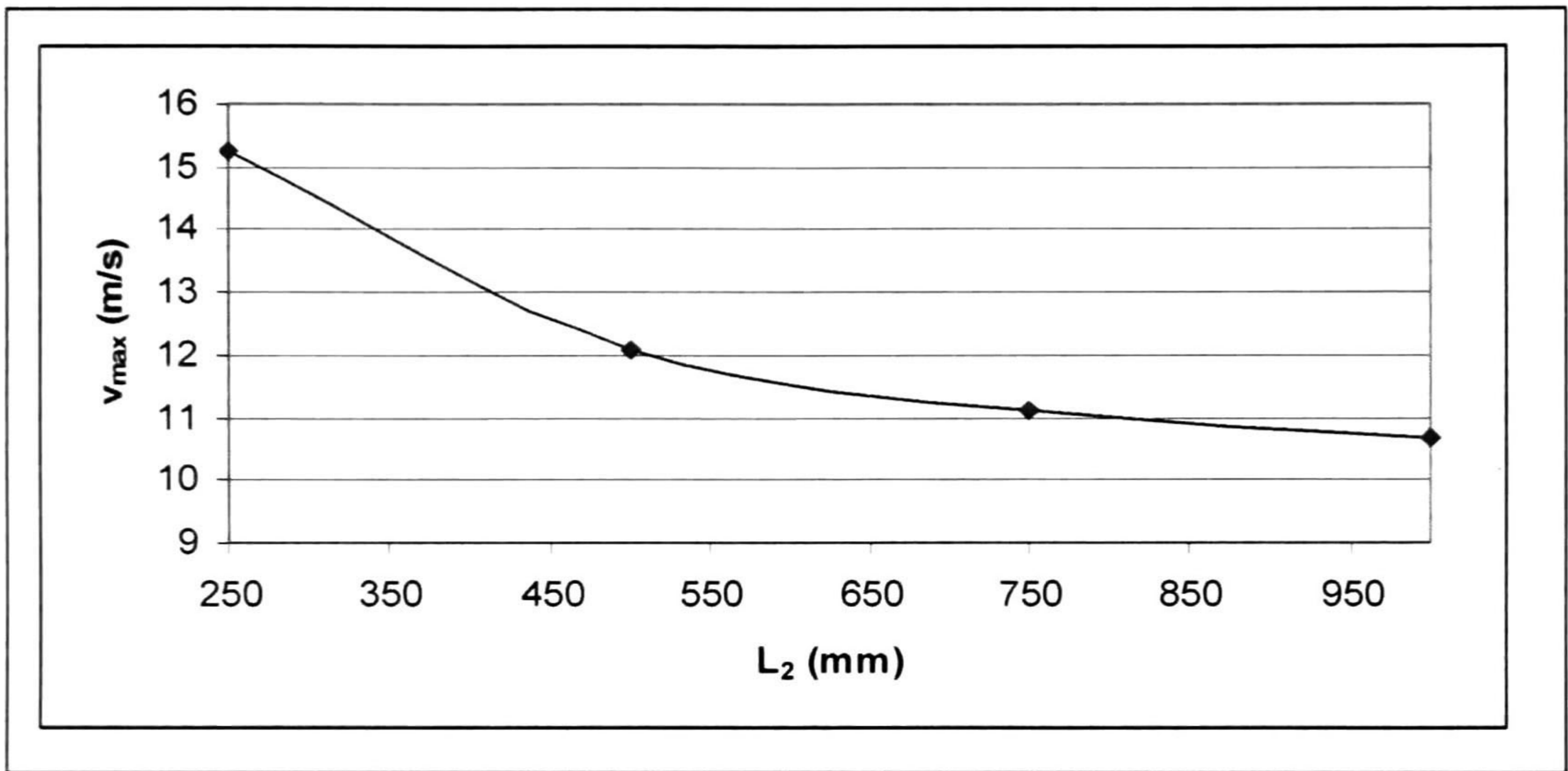


Figura 10. Gráfica de v_{max} contra L_2 .

De la Figura 10 se observa que L_2 tiene una forma casi exponencial, es decir, que para valores grandes de L_2 , la velocidad máxima en la bajada disminuye muy poco. Por esta razón, se considera que el mejor compromiso entre el comportamiento de la velocidad y el tamaño de la máquina lo dan $r=50 \text{ mm}$ y $L_1=403.1128874 \text{ mm}$, ver Figura 11 y Figura 12.

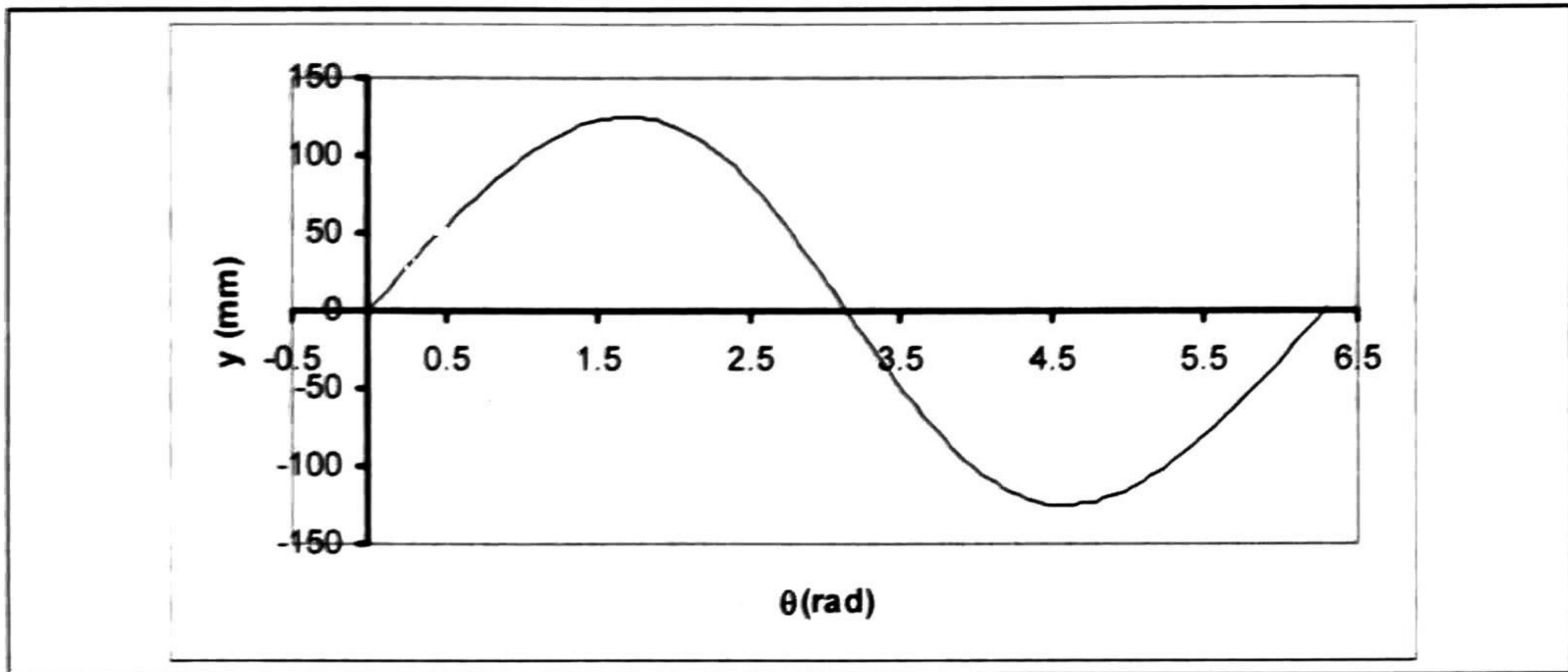


Figura 11. Posición del plano de proyección. $r = 50$ mm, $L_1 = 403$ mm, $L_2 = 1000$ mm.

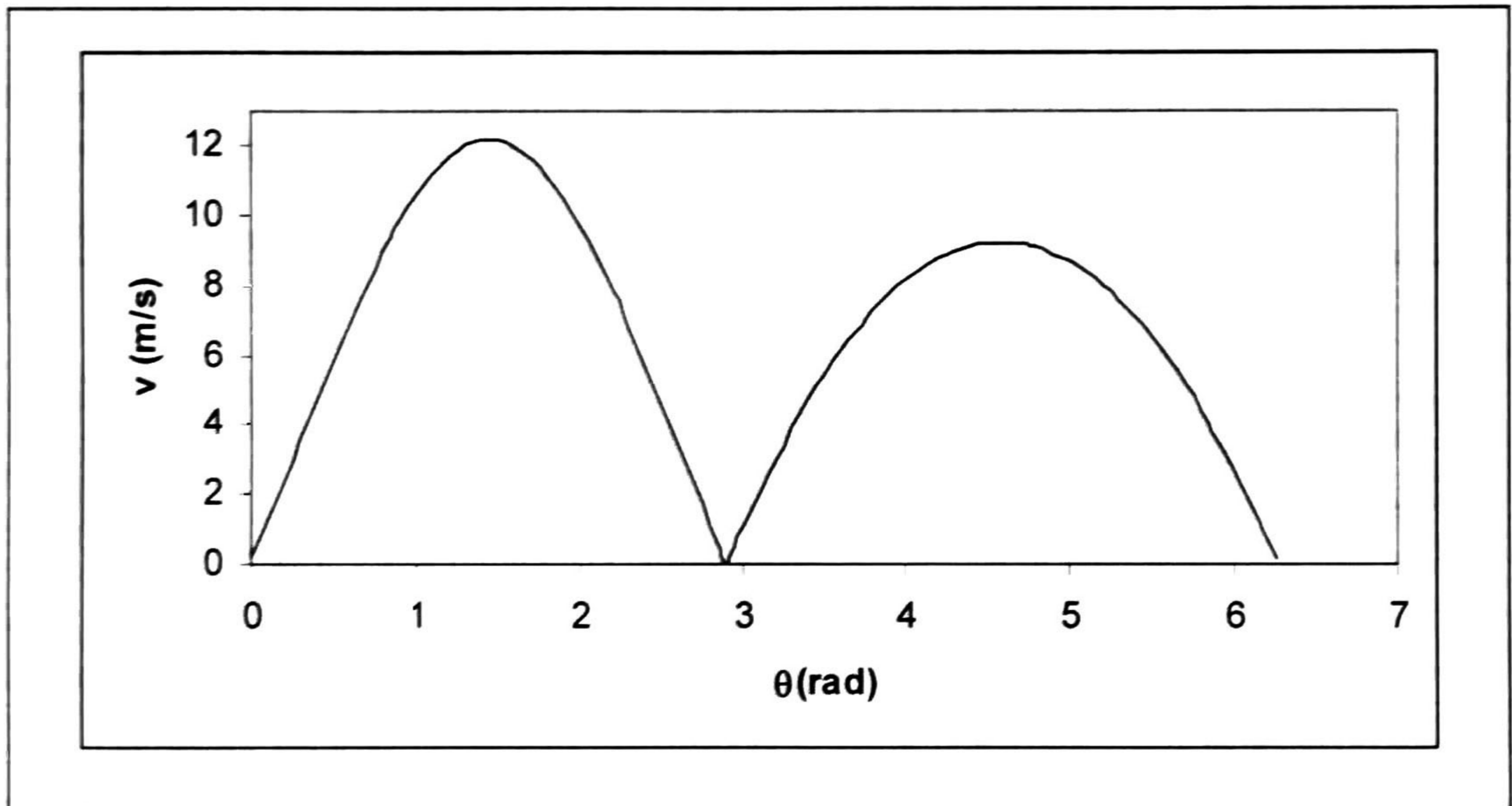


Figura 12. Velocidad del plano de proyección. $r = 50$ mm, $L_1 = 403$ mm, $L_2 = 1000$ mm, $d\theta/dt = 24\pi$ (rad/s).

3 Capítulo 3. Especificación Técnica Electrónica.

3.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar la arquitectura del sistema 3D-MIRAGE. Este sistema se encarga de formatear la información recibida desde el generador de imágenes para su despliegue en la matriz de LED's. Las imágenes 3D procesadas son almacenadas en la memoria del sistema.

El sistema 3D-MIRAGE recibe del generador de imágenes (computadora) los datos correspondientes a la imagen 3D a desplegar. La información se recibe seccionada en 100 imágenes 2D a través del puerto serial a 9,600 bps. La tarjeta tiene las siguientes funciones:

- Almacenar 3 imágenes 3D.
- Calcular las operaciones geométricas, translación, rotación y escaldo.
- Sincronizar el despliegue de las imágenes 2D con la posición del mecanismo.
- Manejar la matriz de LEDs.

La Figura 13 muestra la tarjeta 3D-MIRAGE y sus interfaces.

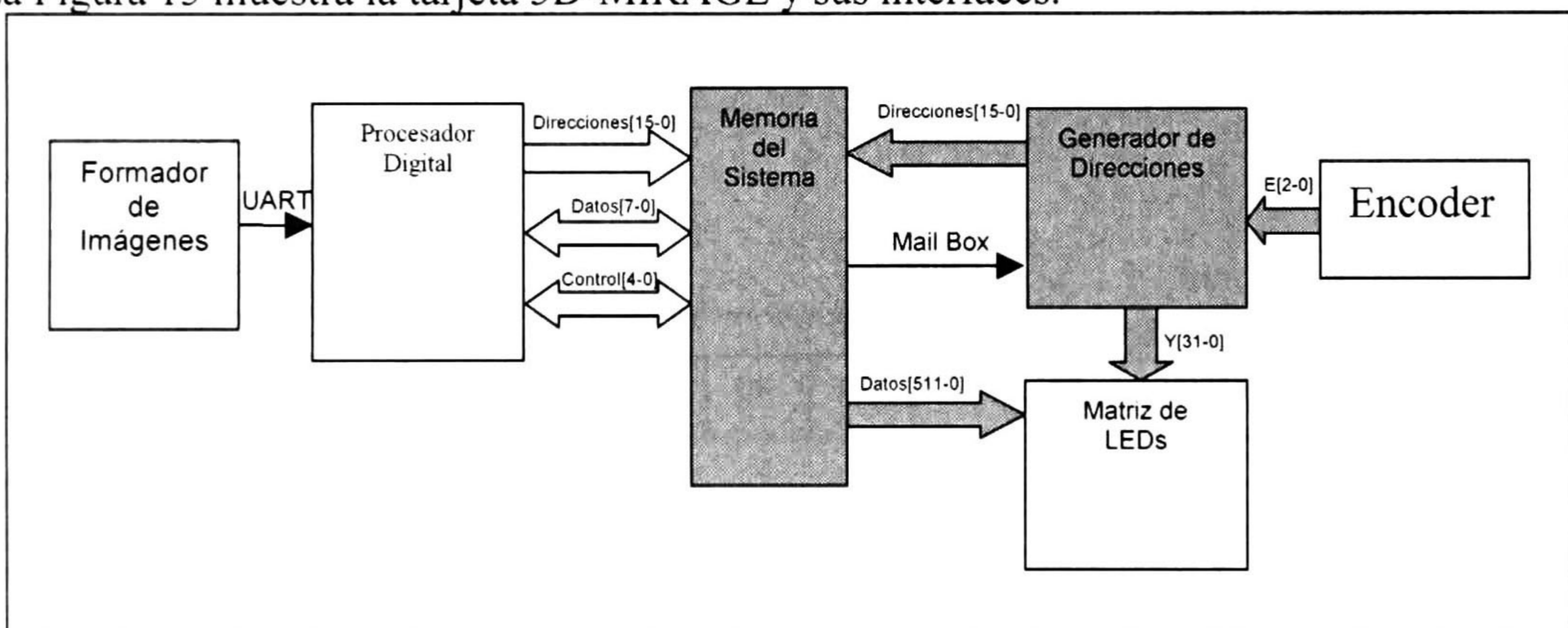


Figura 13. Tarjeta 3D-MIRAGE.

Este trabajo de tesis aborda solamente los bloques sombreados de la Figura 13, que es el Generador de direcciones con su interfaz hacia la Memoria del sistema, el *Encoder* y la Matriz de LEDs.

3.2 Procesador digital

Para el procesamiento se utiliza el Microcontrolador HCS08GB60. Este microcontrolador cuenta con 60KB de memoria interna flash y 4KB de memoria interna RAM, 7 puertos de propósito general (nombrados con las letras A, B,..., G), que son utilizados para administrar la comunicación, el almacenamiento de las imágenes y las transformaciones geométricas de ellas, las características de este microcontrolador son:

- Reloj de 40-MHz.
- Soporte de 32 fuentes de interrupción.
- 2 modos de ahorro de energía.
- 8 canales de convertidores A/D de 10 bit.
- 2 puertos de comunicación serial.
- Frecuencia de operación del bus de hasta 100 kbps.
- 1 temporizador de 5 canales de 16 bit.
- Módulo de ininterrupción del teclado para 64 teclas.
- Selección programable de *pullups* en los puertos de salidas.
- 56 pins de entrada/salida de propósito general.

3.2.1 Comunicación.

La transmisión es serial usando comunicación UART entre la PC y el micro controlador HCS08GB60 que se encuentra en la tarjeta 3D-MIRAGE empleando como medio de comunicación señales infrarrojas. La velocidad de comunicación es de 9,600 bits/s, enviando/recibiendo 8 bits de datos, con un bit de parada, ver **Figura 14**.

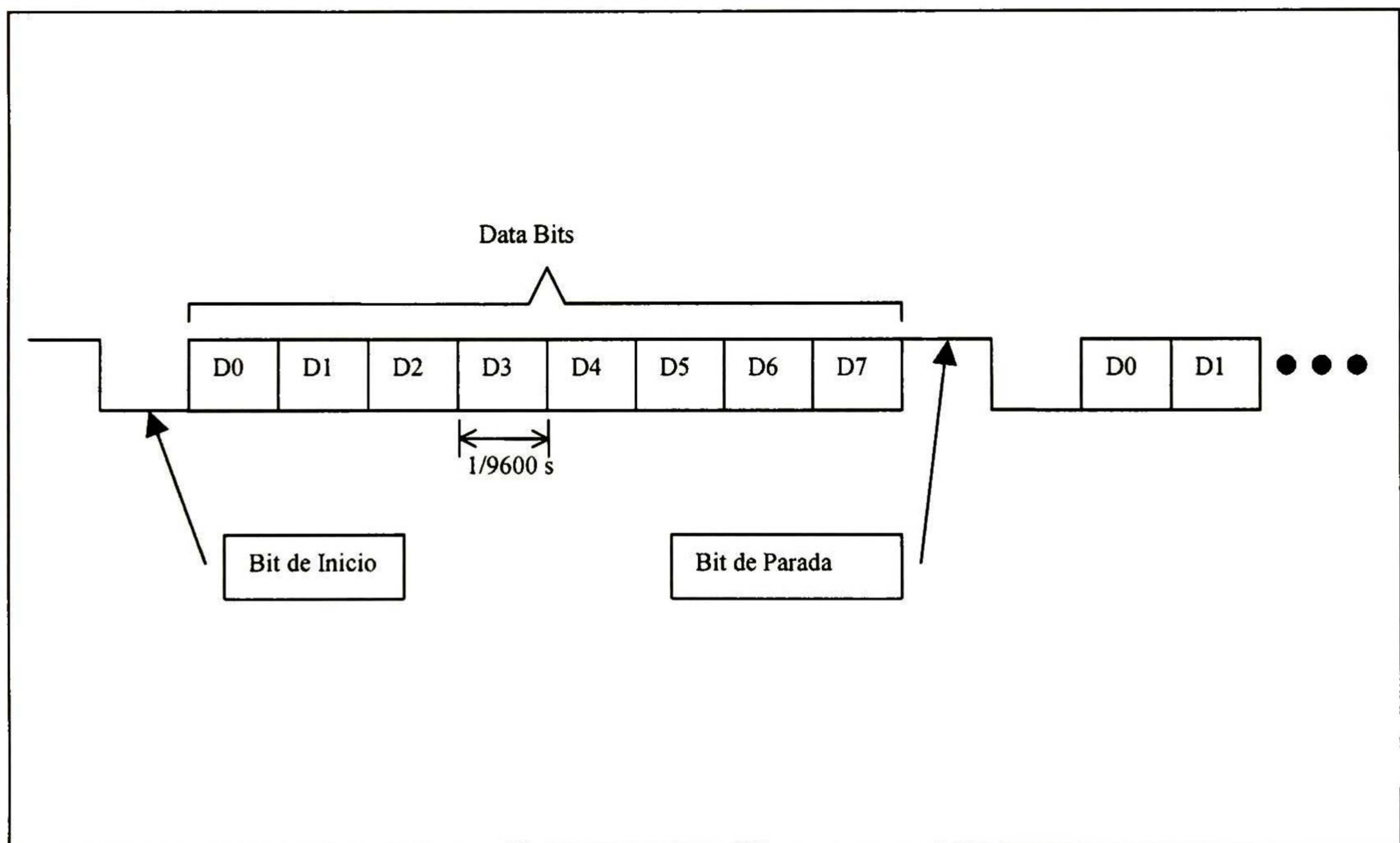


Figura 14. Protocolo de comunicación UART.

3.3 Matriz de LEDs

La matriz de LEDs está diseñada en 16 regiones de 32 filas por 32 columnas, formando un arreglo de 128 columnas por 128 filas siguiendo el orden establecido en la Figura 15.

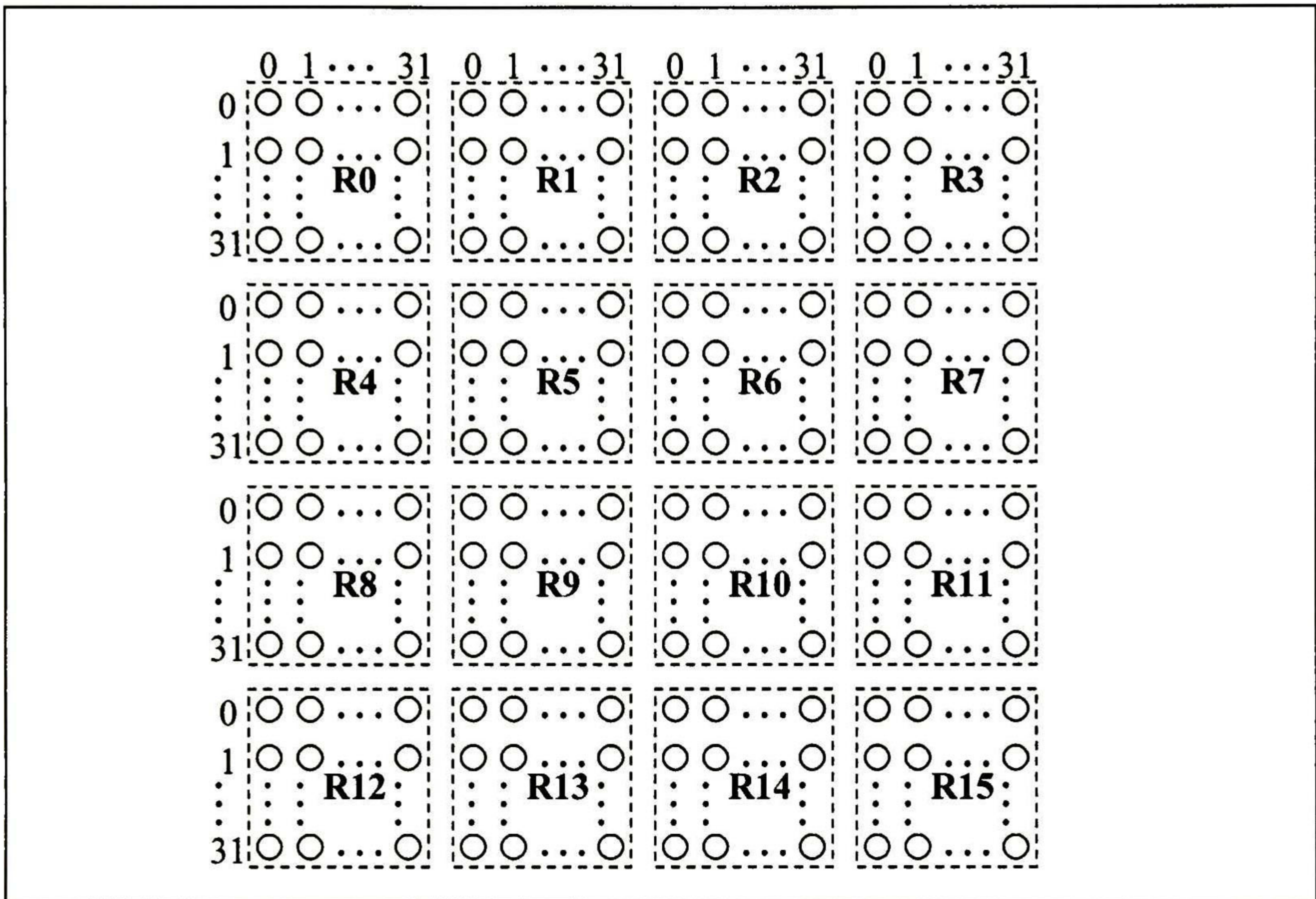


Figura 15. Matriz de LEDs.

Cada una de estas regiones corresponde a uno de los 16 espacios de memoria físico dentro de la memoria de doble puerto, ver Figura 16.

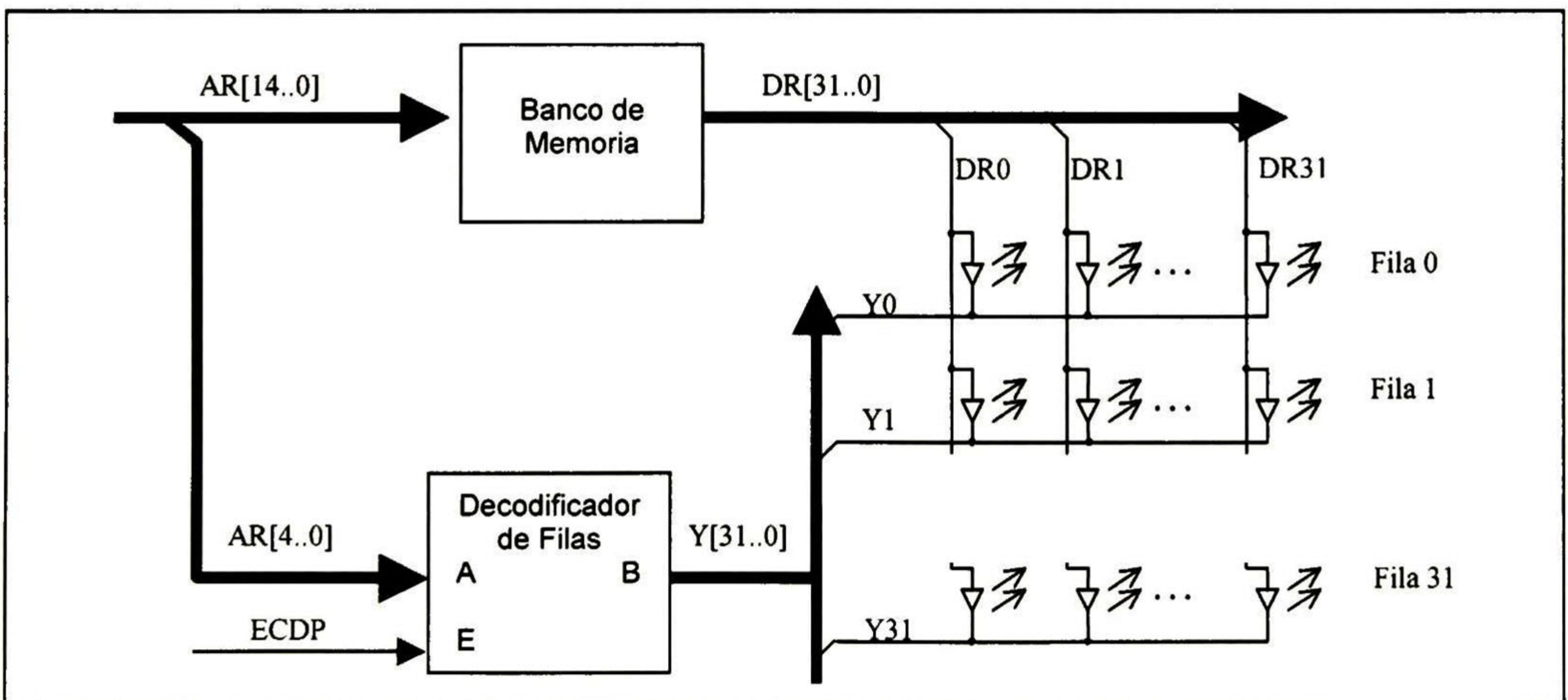


Figura 16. Banco de memoria y manejo de LEDs

El decodificador de filas es un decodificador de 5 a 32 cuya salida Y se obtiene a partir de las señales de entrada AR[4..0] y ECDP, de acuerdo a la **Tabla 2**.

AR[4..0]	ECDP	Y[31..0]
\$XX	0	\$FFFFFFFF
\$00	1	\$FFFFFFFFE
\$01	1	\$FFFFFFFFD
\$02	1	\$FFFFFFFFB
\$03	1	\$FFFFFFFF7
\$04	1	\$FFFFFFFFF
\$05	1	\$FFFFFFFFD
\$06	1	\$FFFFFFFFB
\$07	1	\$FFFFFFFF7
\$08	1	\$FFFFFFFF.
\$09	1	\$FFFFFFFFD
\$0A	1	\$FFFFFFFFB
\$0B	1	\$FFFFFFFF7
\$0C	1	\$FFFFFFFFE
\$0D	1	\$FFFFFFFFD
\$0E	1	\$FFFFFFFFB
\$0F	1	\$FFFFFFFF7
\$10	1	\$FFFFFFFFE
\$11	1	\$FFFFFFFFD
\$12	1	\$FFFFFFFFB
\$13	1	\$FFFFFFFF7
\$14	1	\$FFFFFFFFE
\$15	1	\$FFFFFFFFD
\$16	1	\$FFFFFFFFB
\$17	1	\$FFFFFFFF7
\$18	1	\$FFFFFFFFE
\$19	1	\$FFFFFFFFD
\$1A	1	\$FFFFFFFFB
\$1B	1	\$FFFFFFFF7
\$1C	1	\$FFFFFFFFE
\$1D	1	\$FFFFFFFFD
\$1E	1	\$FFFFFFFFB
\$1F	1	\$FFFFFFFF7

Tabla 2. Tabla de verdad del decodificador de filas.

3.4 Memoria del Sistema

El sistema tiene capacidad para guardar 3 imágenes 3D; V0, V1 y V2. V0 guarda la imagen original generada por el formador de imágenes. V1 y V2 almacenan las imágenes que han sido procesadas geoméricamente y localmente por el usuario.

La memoria del sistema es de 16Mb ordenada en 16 bancos de memoria de 32 bits por 32k.

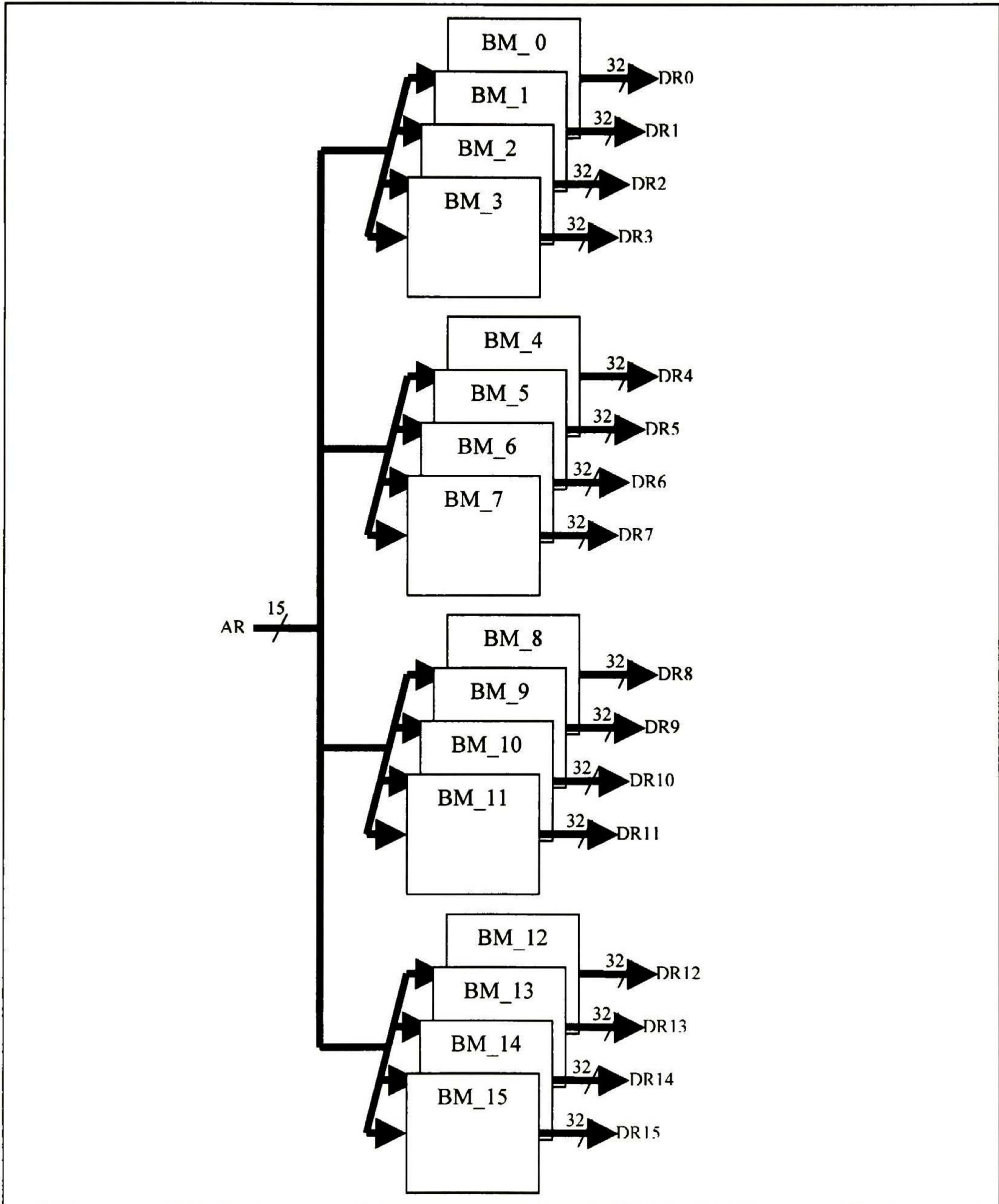


Figura 17. Memoria del sistema.

Los 16 bancos comparten las mismas direcciones, tal como se muestra en la Figura 17. Cada banco contiene la información correspondiente a una región de la matriz de LEDs. La Figura 18 muestra el diagrama lógico del despegue y manipulación de las imágenes 3D.

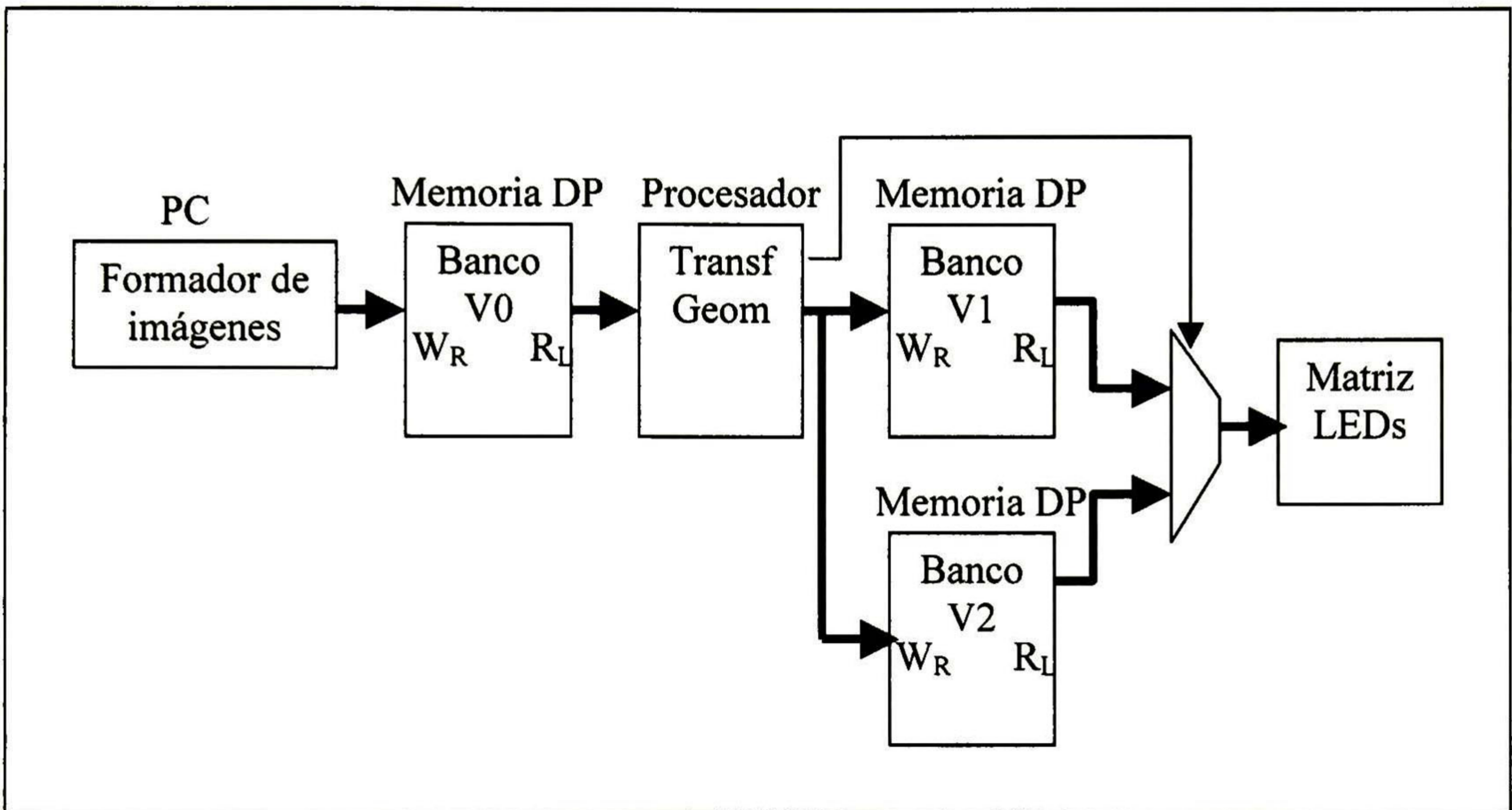


Figura 18. Diagrama lógico de la memoria de Doble Puerto

El sistema almacena tres imágenes 3D completas, es decir, 300 imágenes 2D.

Imagen V0

Contiene la imagen original que sirve de base para llevar a cabo las diferentes transformaciones geométricas. La imagen V0 se compone de 100 imágenes 2D y es almacenada en la memoria por el dispositivo generador de imágenes y permanecerá intacta hasta que el generador la cambie.

Imagen V1 y V2

Son las imágenes que han sido procesadas geoméricamente y que sirven de forma multiplexada para alimentar la matriz de LEDs de despliegue.

3.5 Bancos de memoria

Cada banco de memoria (BM_i) contiene la información correspondiente a la Región (R_i) de la matriz de LEDs. De esta manera, cada banco contiene una parte de las 3 imágenes almacenadas de acuerdo a la distribución mostrada en la Figura 19.

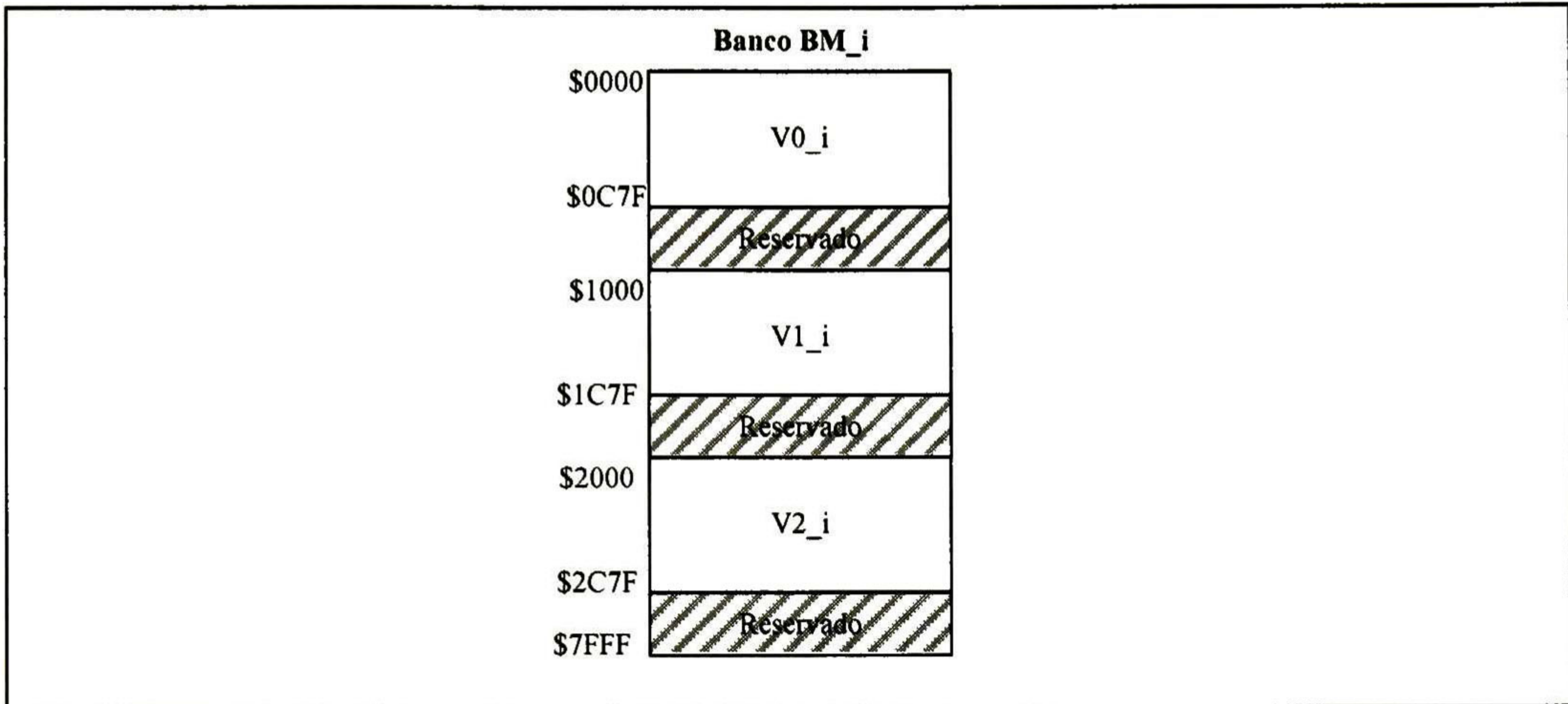


Figura 19. Mapa de memoria de un banco de la memoria del sistema.

En cada volumen VX_i se almacenan los 100 planos de la imagen 3D, ver Figura 20.

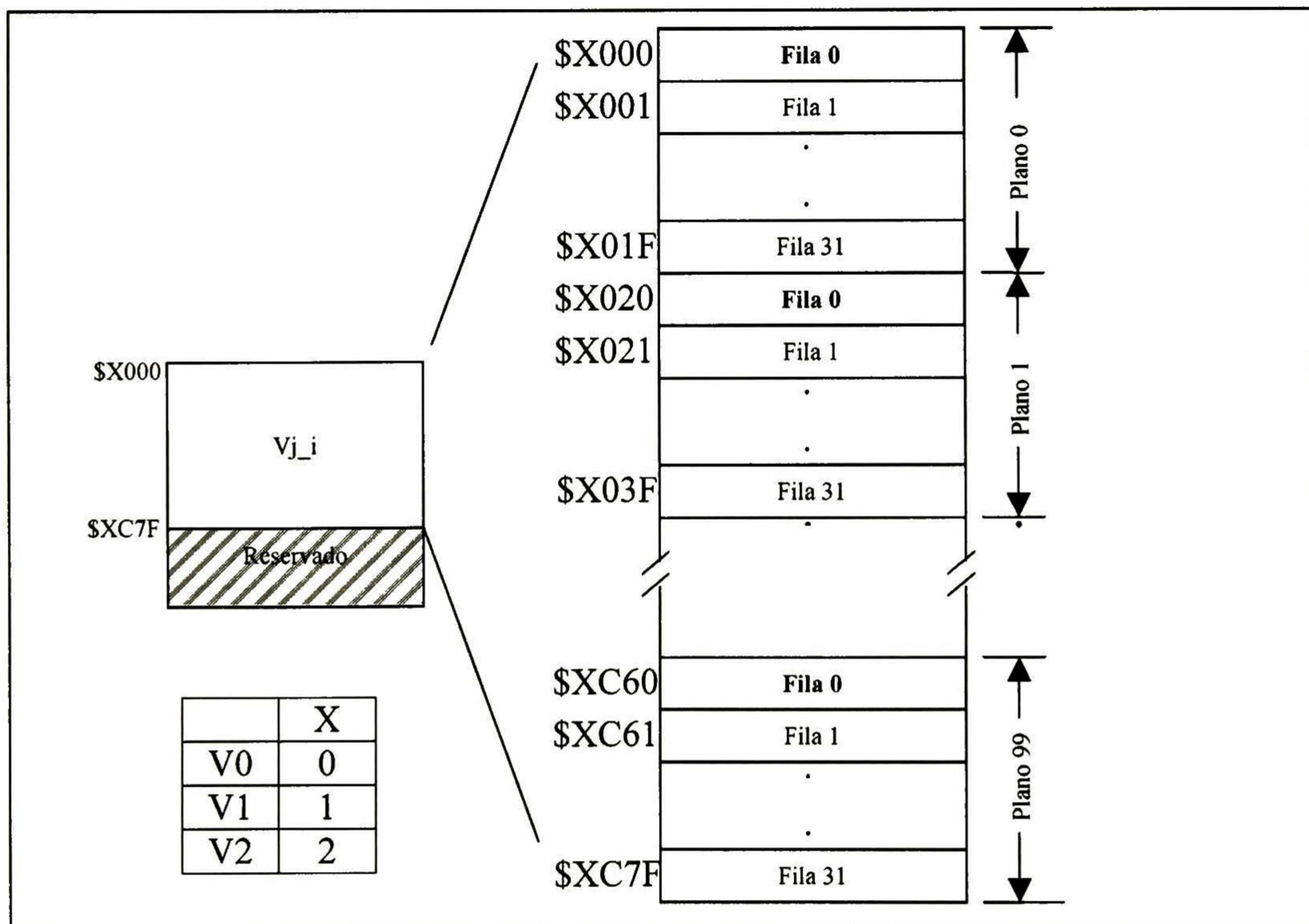


Figura 20. Configuración de V0, V1 y V2

3.6 Direccionamiento de la Memoria del Sistema.

Las direcciones de memoria del sistema están compuestas de 15 bits; AR[14-0] que se usan de la siguiente manera:

- DIR_X => AR[14-12] Selecciona los volúmenes, V0, V1 o V2
- DIR_A => AR[11-5] Selecciona los planos alguno de los 100 planos dentro del volumen seleccionado
- DIR_B => AR[4-0] Selecciona las filas alguna de las 32 dentro del plano seleccionado

Ver Figura 21.

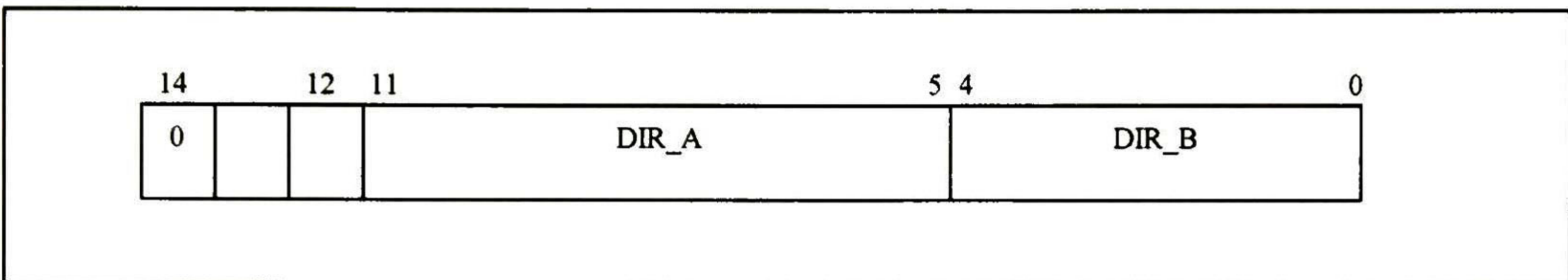


Figura 21. Direcciones de la memoria del sistema.

3.7 Generación de las Direcciones de las Memorias

Para desplegar una imagen 3D en el mecanismo presentado en el capítulo 2 se requiere sincronizar la generación las direcciones de la memoria, DIR_A, DIR_B y DIR_X con la posición del plano de proyección.

3.7.1 Generación de DIR_A.

Para generar DIR_A se calcula la posición del plano de proyección a partir del ángulo que proporciona el *Encoder*, ver Figura 22.

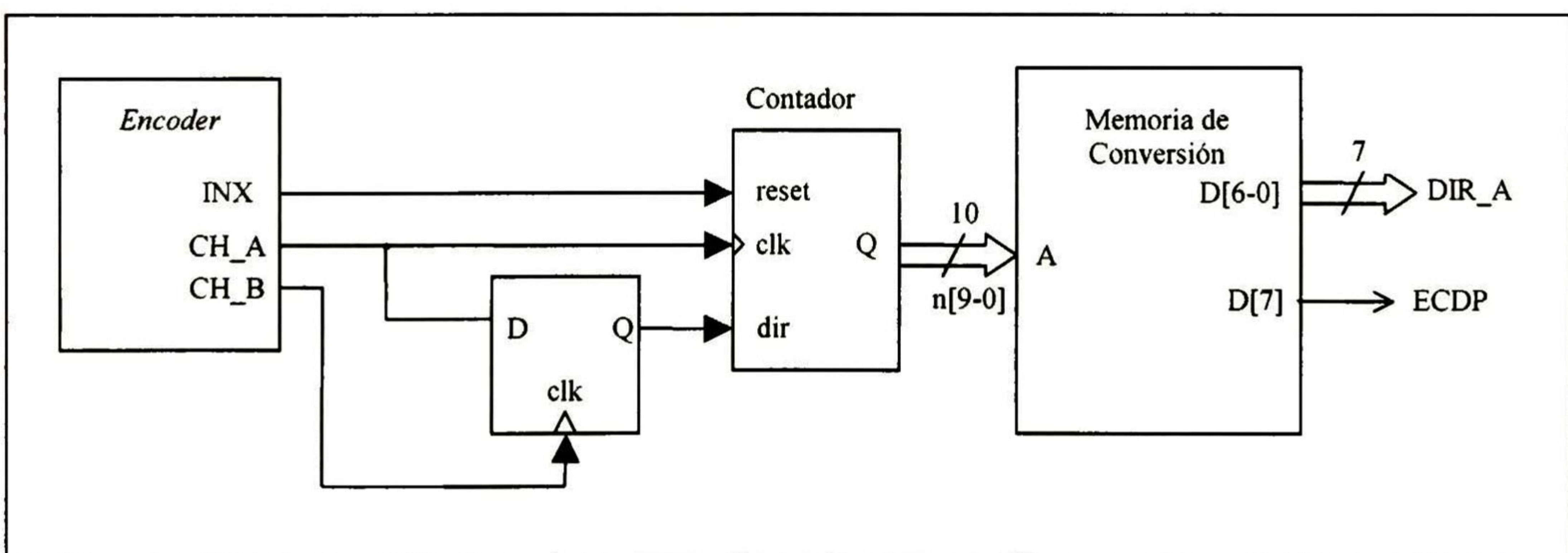


Figura 22. Arquitectura para obtener las direcciones DIR_A de las memorias del sistema

Encoder

El *Encoder* genera 3 señales que permiten calcular la posición por pasos de la fecha del motor y por ende su ángulo con respecto al origen. También permiten calcular el sentido de giro de la flecha del motor (no usada en este trabajo).

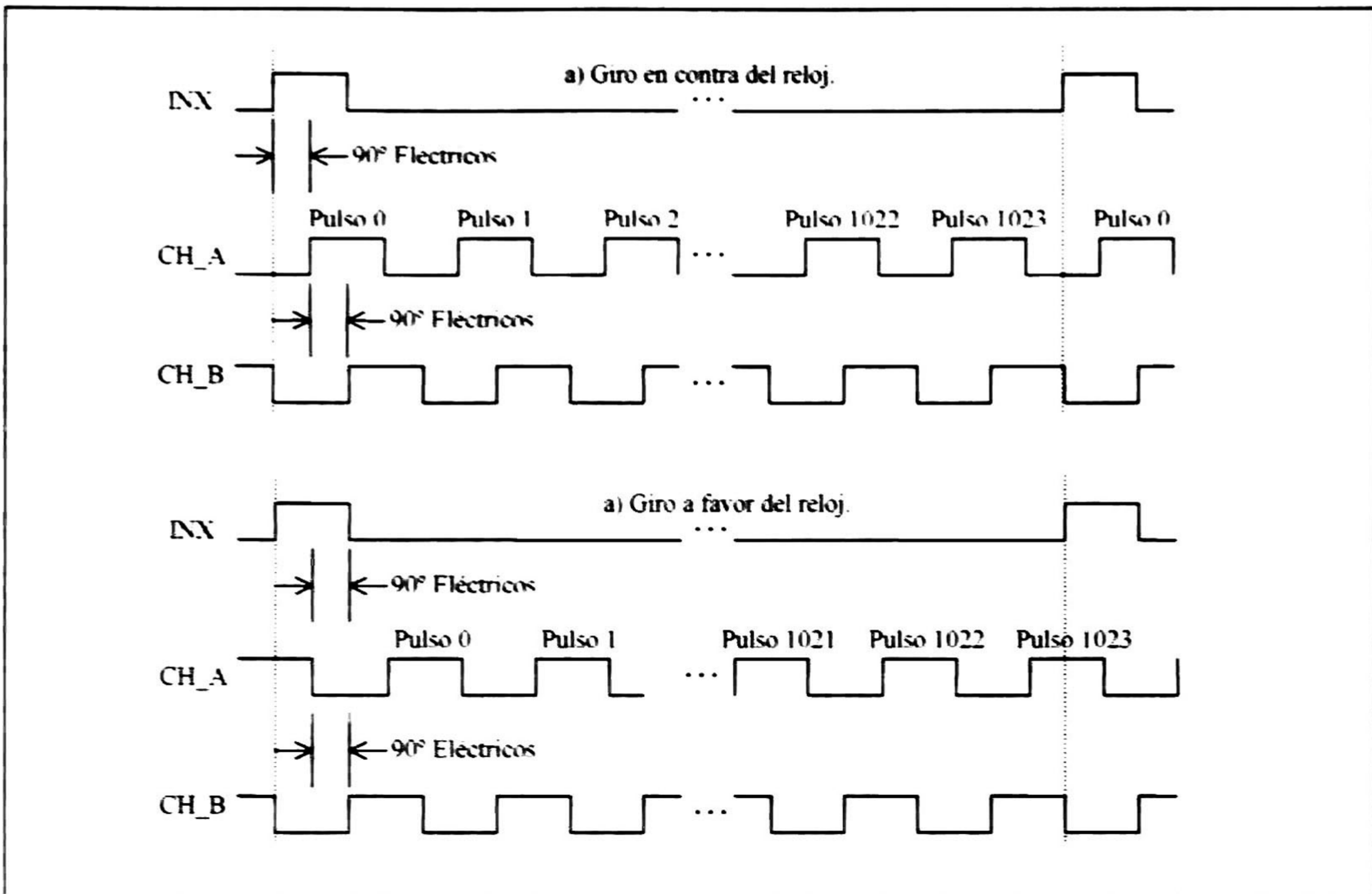


Figura 23. Señales generadas por el *Encoder*.

La señal *INX* se genera cada vez que la flecha pasa por el origen (360°). Las señales *CH_A* y *CH_B* son las señales digitales desfasadas 90° y en un giro completo generan 1024 pulsos con el 50% del ciclo de trabajo. El desfase entre *CH_A* y *CH_B* establece la dirección de giro, ver Figura 23.

De estas señales, se hace evidente la necesidad de la memoria de conversión que permita calcular a partir de los 1024 pulsos la posición del plano de proyección (0 a 99).

La Memoria de Conversión, recibe n como dirección y devuelve como dato las direcciones *DIR_A*. Dado que el rango para las direcciones altas es del 0 a 99 con incrementos de 1, se requiere de 7 bits de datos. Y dado que el rango de n es de 0 a 1023 se requieren 10 bits de direcciones para la Memoria de Conversión.

Contador

El contador genera $n[9-0]$ a través de una cuenta progresiva de 0 a 1023 a partir de *CH_A* y se reinicia la cuenta cada vez que aparece *INX*. Para generar *DIR_A* hacemos uso de una memoria de conversión cuyos espacios de memoria serán accesados en forma secuencial por el contador. Los datos que contiene la memoria de conversión han sido calculados previamente y dan el plano de proyección a desplegar.

Calculo del contenido de la memoria de conversión

Los espacios de la memoria de conversión son llenados con los valores precalculados de la posición del plano en función de $\theta(t)$. El proceso para determinar la posición del plano se explica en el algoritmo siguiente:

1. Muestreo

Se convierte la función $y(\theta)$ de ángulo continuo a una función de ángulo discreto ($y(k)$) obtenida tomando muestras de la función $y(\theta)$ a una tasa de $\Delta\theta=2\pi/1024$.

$$y(k) = L_2 \frac{r \text{sen}(k\Delta\theta)}{r \cos(k\Delta\theta) + L_1} \tag{3.1}$$

2. Cuantificación

Para este trabajo se emplean 100 niveles de cuantificación con aproximación por truncamiento.

$$yq(k) = \frac{2y_{\max}}{100} T \left[\frac{y(k)}{2y_{\max} / 100} \right] \tag{3.2}$$

Siendo T la operación de truncamiento definida como $T[M.N]=M$

3. Codificación

Es la conversión de cada valor discreto $yq(k)$ al plano correspondiente $P(k)$

$$P(k) = \frac{100}{2y_{\max}} yq(k) \tag{3.3}$$

$$\forall k=0,1,2,\dots,1023.$$

La Figura 24 muestra a $P(k)$.

P(k)	
000	50
001	50
002	51
003	51
//	
3FE	49
3FF	50

Figura 24. Valores de P(k)

3.7.2 Generación de DIR_B.

La generación de las direcciones DIR_B permite que las 32 líneas de LEDs de las 16 regiones sean barridas en un periodo de reloj T_{CH_A} y de esta manera se genere la imagen 2D correspondiente al plano de proyección. La Figura 25 muestra el periodo que se requiere para generar las direcciones DIR_B.

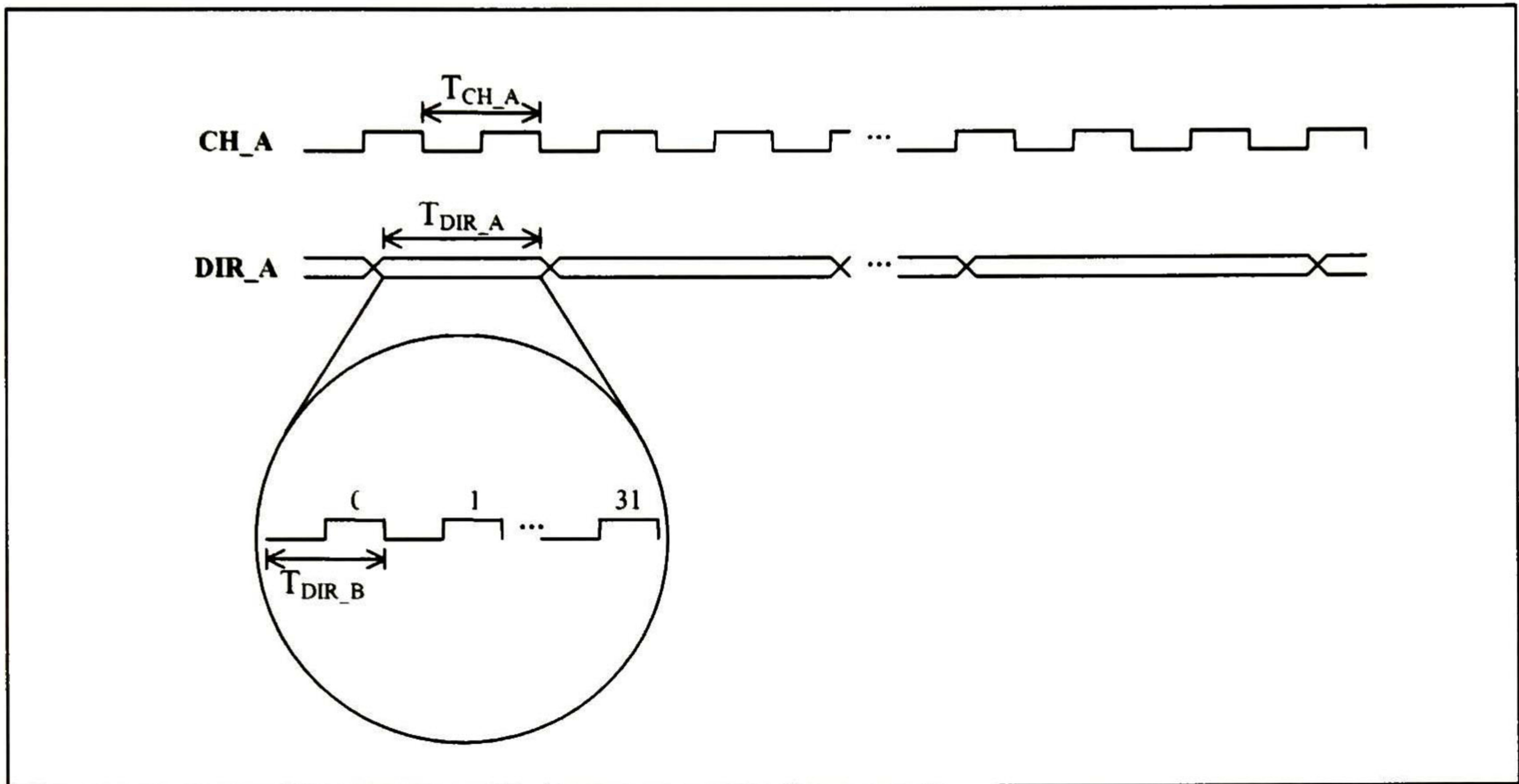


Figura 25. Periodo para generar las direcciones DIR_B.

El valor de T_{DIR_A} es variable para cada plano y lo determina el contenido de la memoria de conversión. El valor mínimo corresponde a dos veces el valor de T_{CH_A} y el valor más grande corresponde a 64 veces el T_{CH_A} , así se obtiene la expresión

$$T_{DIR_B} = \frac{T_{DIR_A}}{32} = \frac{(D)(T_{CH_A})}{32} \quad D = 2,3,4,\dots,64, \quad T_{CH_A} = 81.38 \mu s$$

donde D son los ciclos de CH_A que hay por plano.

Considerando el valor mínimo de D ($= 2$), entonces el valor mínimo que se tiene para hacer el barrido completo de la matriz de LEDs es $5.09 \mu s$. Dado que el tiempo de acceso a la memoria es de $12 ns$, se determina factible su realización.

Sintetizador de Reloj

CLK_DIR_B es un reloj sintetizado que genera 16 pulsos de reloj por cada periodo CH_A , de manera que podamos generar la imagen 2D completa en cada plano, ver Figura 26.

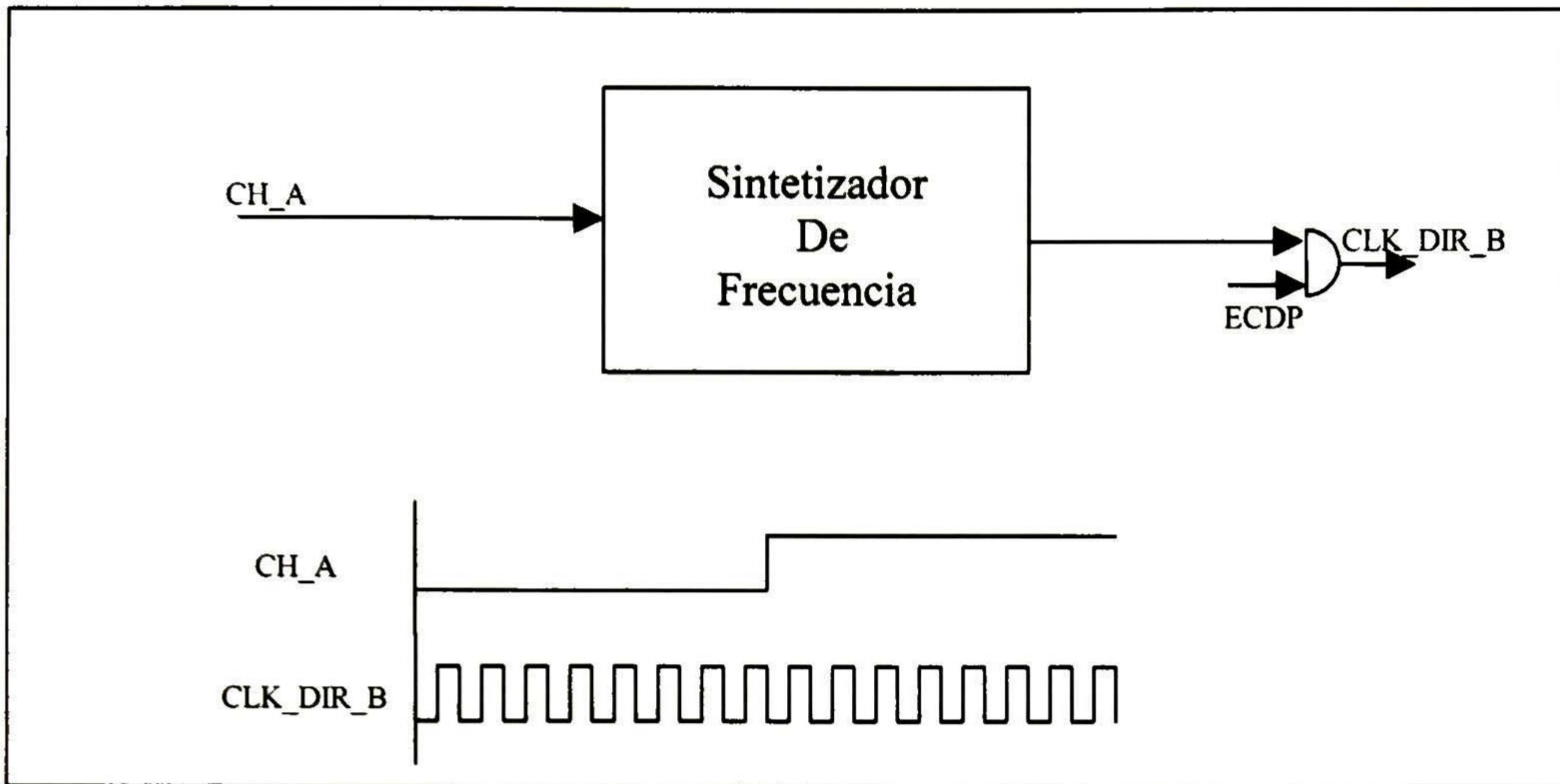


Figura 26. Síntetizador de Frecuencia de multiplicidad 16.

Con la señal CLK_DIR_B se obtiene DIR_B a través de un contador de 4 bits, ver **Figura 27**.

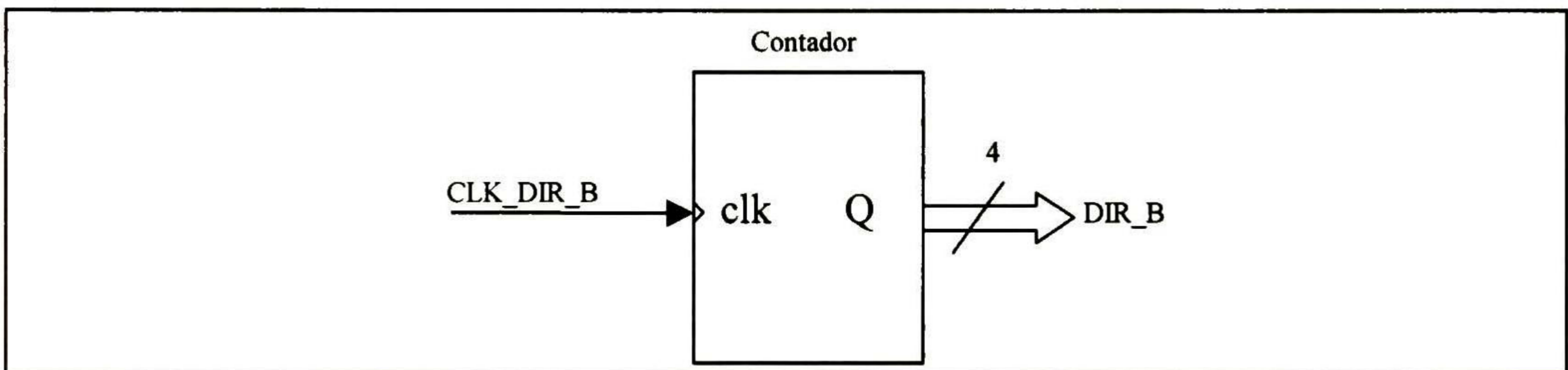


Figura 27. Contador para obtener DIR_B

Señal ECDP

La señal *ECDP* se usa para limitar el barrido de la matriz de LEDs a uno sólo por cada dos periodos de *CH_A*. Esta señal se prealmacena en el bit 7 de los datos de la memoria de conversión. La Figura 28 muestra la señal *ECDP* para cada dirección *DIR_A* diferente.

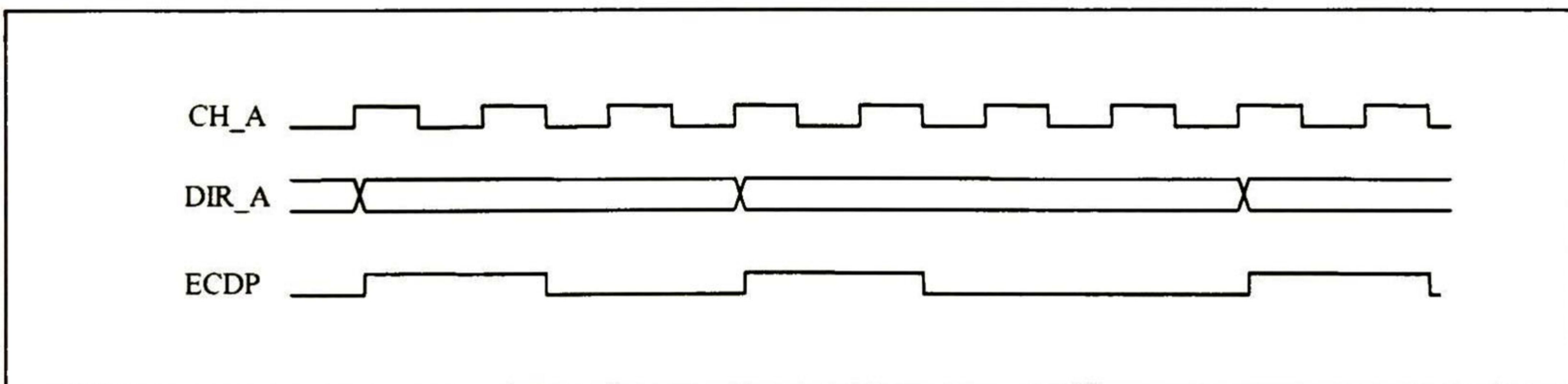


Figura 28. Diagrama de tiempos para *ECDP*

3.7.3 Generación de DIR_X.

Tres imágenes 3D se almacenan en la memoria del sistema en los espacios V0, V1 y V2. La imagen original se mantiene intacta en V0. Las manipulaciones geométricas se procesan siempre a partir de V0 por el microprocesador y los resultados se almacenan en V1 o V2. La imagen 3D que se despliega en el proyector proviene de alguna de las fuentes V1 o V2.

Las direcciones DIR_X están formadas por AR[14-12] tal como se muestra en la Figura 21. El multiplexado de los espacios de memoria para acceder los volúmenes V1 o V2 se lleva a cabo mediante el manejo de los bits AR[13-12] que es generado por el puerto PA.1 y PA.2 del microprocesador. Cuando AR[13-12]= [0 1], en lectura se accede a la imagen almacenada en V1. Cuando AR[13-12]= [1 0], en lectura se accede a la imagen almacenada en V2. Siempre el bit AR[14] debe estar en 0.

3.7.4 Temporización de la Memoria del Sistema.

La Figura 29 muestra diagrama de tiempo de lectura de la memoria CY7C056V-12.

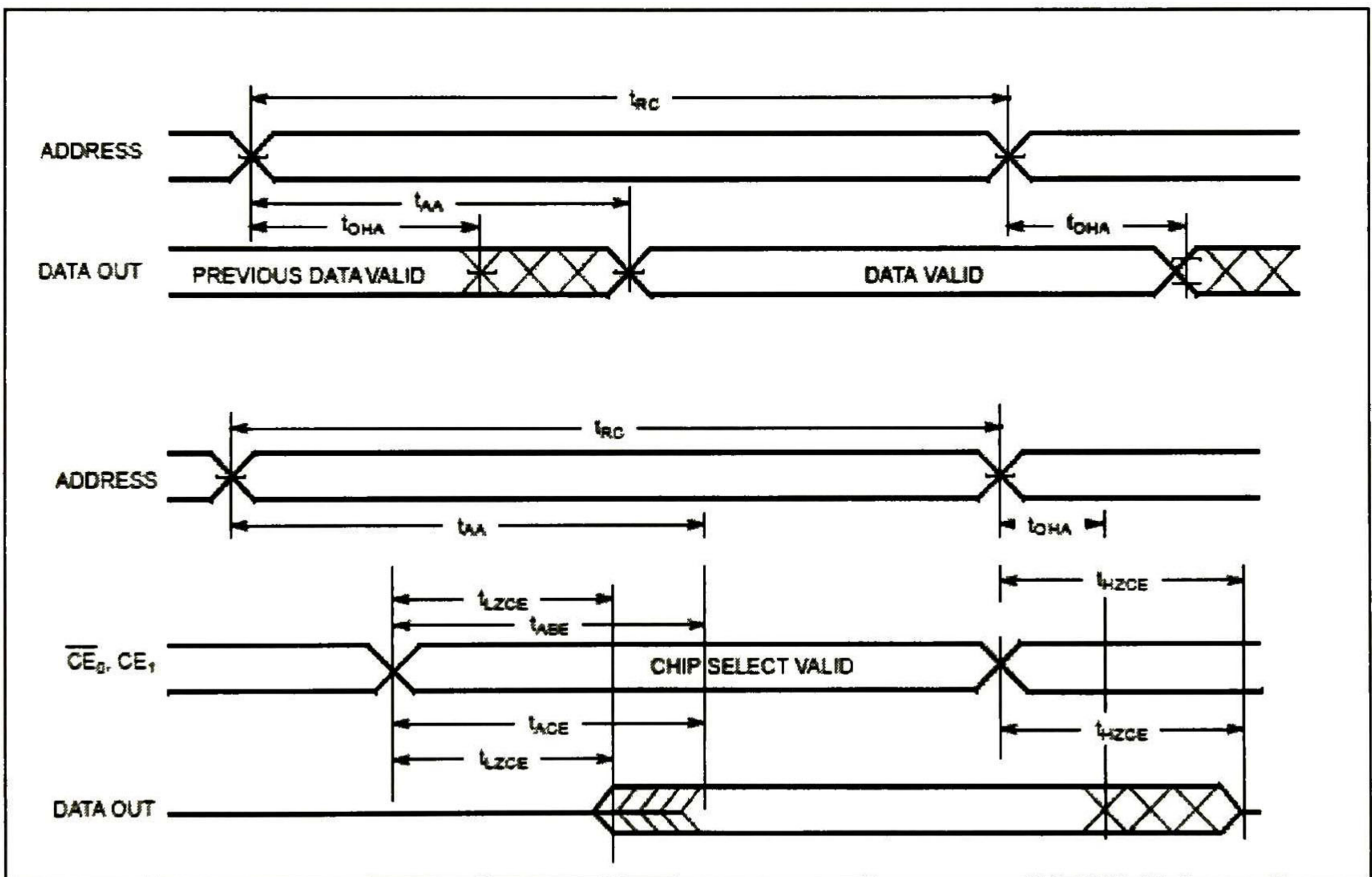


Figura 29. Diagrama de tiempo de lectura de la memoria del sistema.

La **Tabla 3** muestra los tiempos máximos y mínimos correspondientes a los mostrados en la Figura 29.

Tiempos	Min	Max
t_{RC}	12ns	-
t_{AA}	-	12ns
t_{OHA}	3ns	-
t_{ABE}	-	12ns
t_{HZCE}	-	10ns
t_{LZCE}	3ns	-
t_{ACE}	-	12ns

Tabla 3. Valores de tiempos para lectura de la memoria del sistema.

La Figura 30 muestra diagrama de tiempo de escritura de la memoria CY7C056V-12.

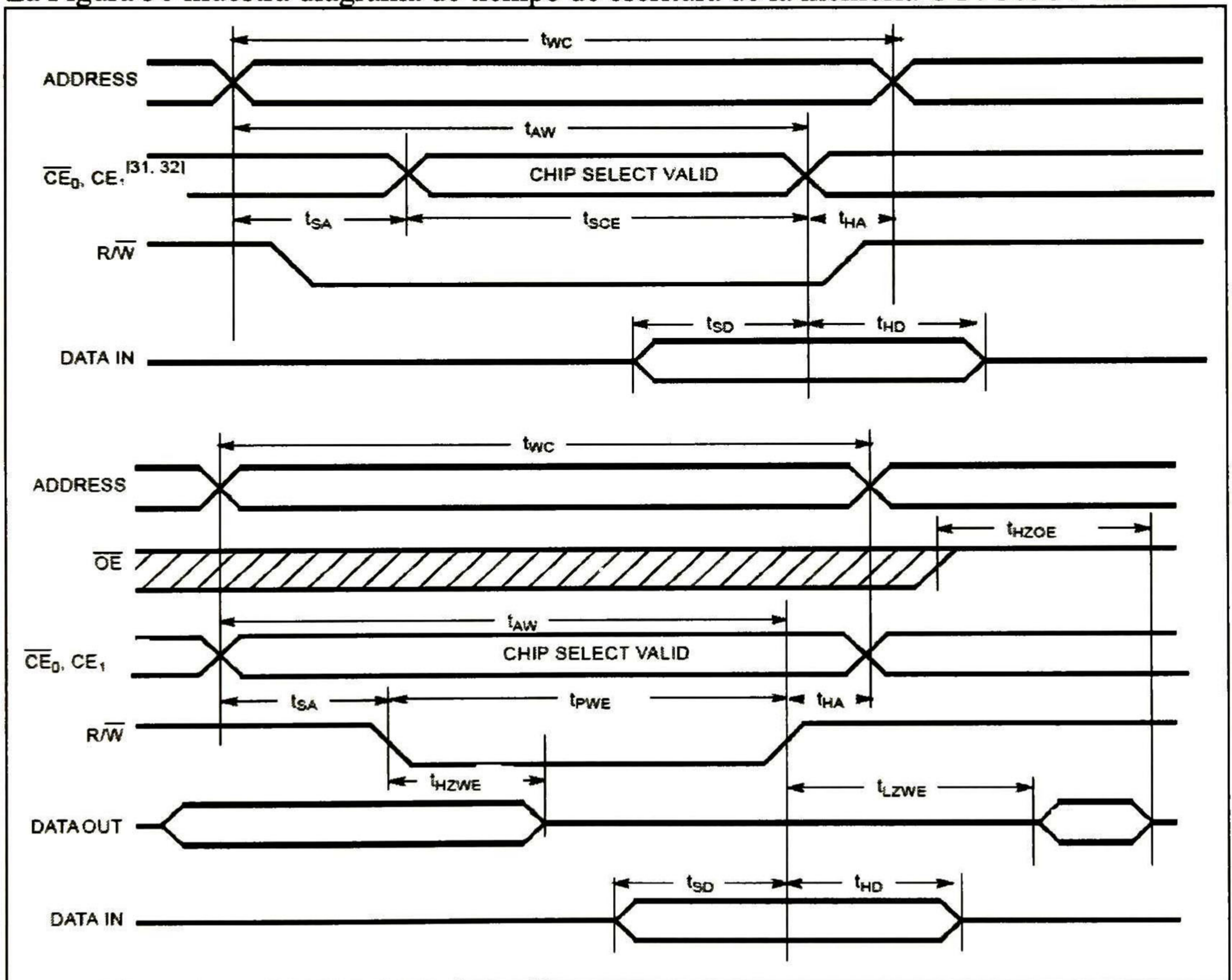


Figura 31. Diagrama de tiempo de escritura de la memoria del sistema.

La Tabla 4 muestra los tiempos máximos y mínimos correspondientes a los mostrados en la Figura 32.

Tiempos	Min	Max
t_{WC}	12ns	-10ns
t_{HZOE}	=	
t_{AW}	10ns	-
t_{SA}	0	=
t_{HA}	0	=
t_{PWE}	10ns	=
t_{HZWE}	10ns	=
t_{LZWE}	10ns	=
t_{SD}	10ns	=
t_{HD}	0	=
t_{SCE}	10ns	=
t_{HA}	0	=

Tabla 4. Valores de tiempos para escritura de la memoria del sistema.

4 Capítulo 4. Manipulación Geométrica de la Imagen

La tarjeta electrónica 3D-Mirage permite al usuario la manipulación de la imagen con la ayuda de tres controles digitales conectados a 3 puertos del procesador digital, ver Figura 33.

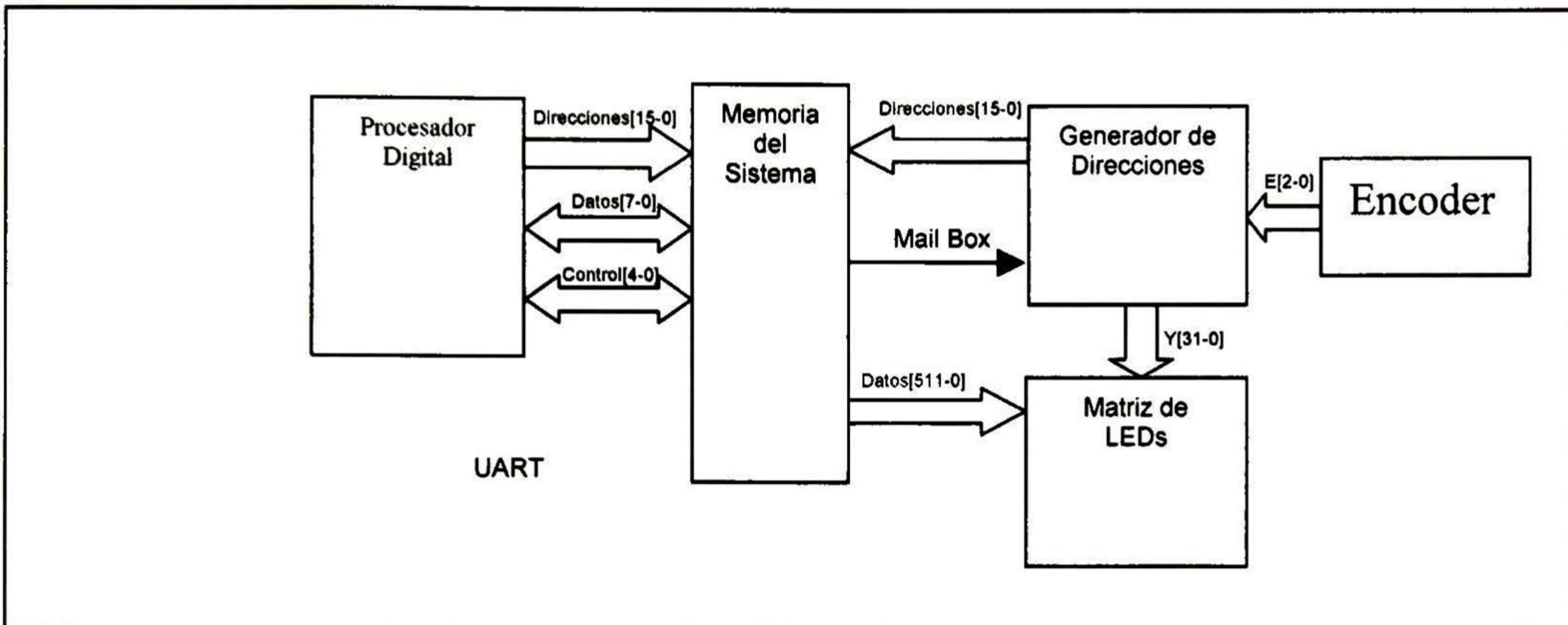


Figura 33. Diagrama a bloques de la arquitectura del sistema.

Se pueden realizar 3 tipos de transformaciones geométricas sobre una figura tridimensional:

1. Escalado.
2. Rotación.
3. Traslación.

Estas transformaciones son manipulaciones trigonométricas de la imagen original. Como ya se dijo, para hacer estas transformaciones se usan tres bancos de memoria del sistema. En el primero se tiene guardada la imagen original, el segundo (V_x) y tercero (V_y) guardan las imágenes transformadas.

Para poder transformar una imagen se hace uso de una matriz de transformación esta matriz contiene la información geométrica requerida para dicha transformación: ángulo, factor de escala y distancia de translación.

El espacio de proyección está confinado a un volumen que corresponde al despliegue de 100 imágenes planas, los ejes y sus rangos del volumen de proyección se muestran en la Figura 34.

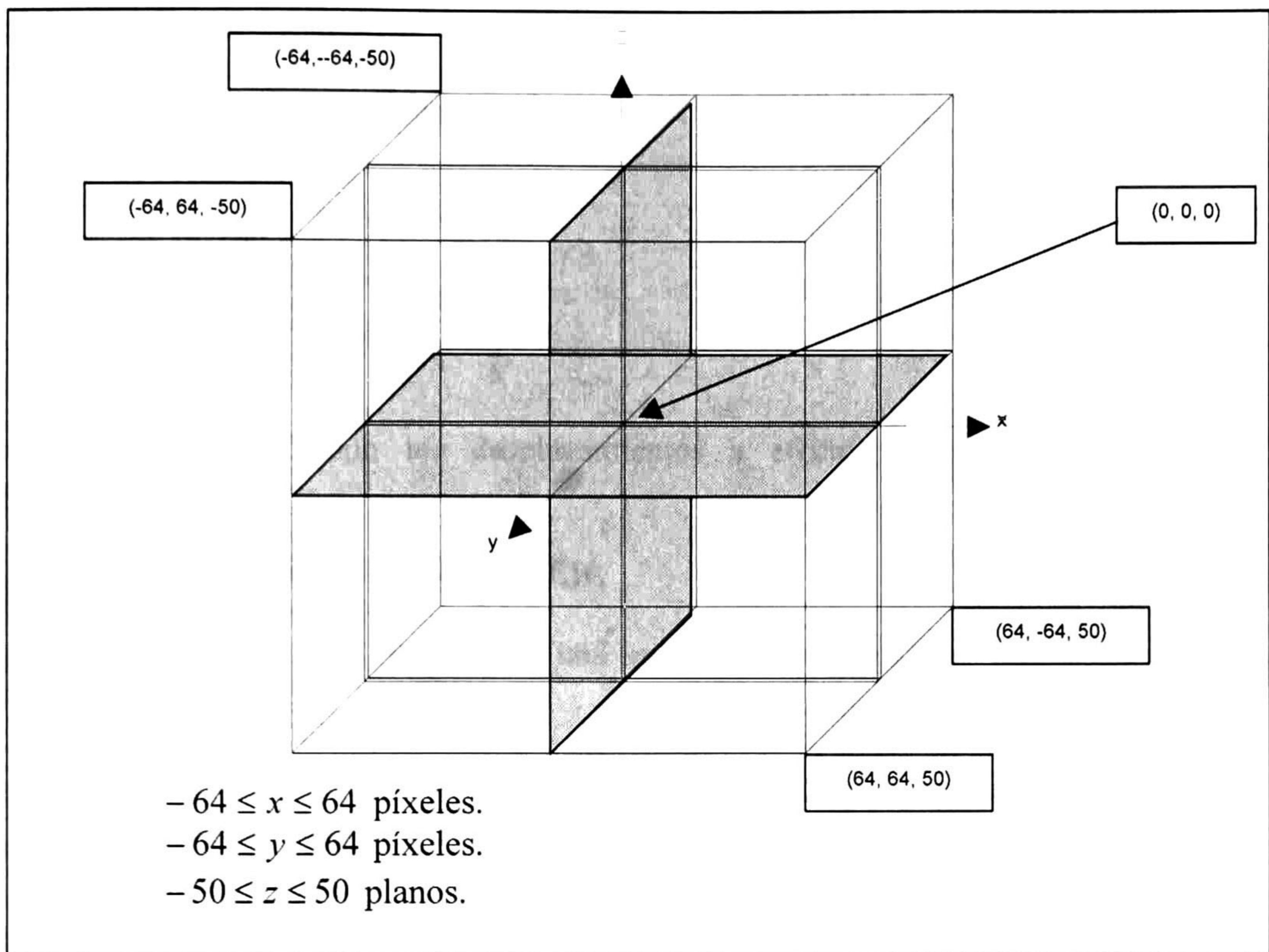


Figura 34. Descripción de eje coordenado para el volumen del sistema.

4.1.1 Matriz de Escalado.

El escalado consiste en modificar las dimensiones del objeto, multiplicando cada vértice por un factor de escalamiento, el factor puede ser diferente para cada eje y deformar la figura original. La matriz de escalamiento es

$$M_E = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 & -h * sx + h \\ 0 & sy & 0 & -k * sy + k \\ 0 & 0 & sz & -l * sz + l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

donde sx , sy , sz son los factores de escalamiento y (h, k, l) describe el origen desde el cual se realiza la escala.

4.1.2 Matriz de Traslación.

La traslación consiste en trasladar incrementalmente el objeto a un punto específico del espacio, la matriz de traslación es la siguiente

$$P_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \\ z + T_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

donde T_x , T_y y T_z son los desplazamientos a efectuar sobre los ejes x , y y z respectivamente.

4.1.3 Matriz de Rotación Sobre un Eje.

Rotación Sobre el Eje x.

La matriz que permite la rotación de una imagen en un ángulo α , respecto al eje x con origen en (xR, yR, zR) es

$$P_{RX} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y - yR \\ z - zR \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ yR \\ zR \\ 0 \end{bmatrix}$$

Rotación Sobre el Eje y.

La matriz que permite la rotación de una imagen en un ángulo β , respecto al eje y con origen en (xR, yR, zR) es

$$P_{RY} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - xR \\ y \\ z - zR \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} xR \\ 0 \\ zR \\ 0 \end{bmatrix}$$

Rotación Sobre el Eje z.

La matriz que permite la rotación de una imagen en un ángulo γ , respecto al eje z con origen en (xR, yR, zR) es

$$P_{RZ} = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - xR \\ y - yR \\ z \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} xR \\ yR \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Una imagen que recibe varias transformaciones sucesivas puede quedar descrita por

$$P_{Transformado} = MP_{Original} = [M_k \wedge M_1]P_{Original}$$

Donde M_i para $i = 1, 2, 3, \dots, k$, son las matrices de transformación que se ejecutan de izquierda a derecha y no son conmutativas.

5 Capítulo 5. Resultados de simulación

5.1 Simulación del mecanismo.

Para este trabajo se realizó una simulación gráfica y numérica del comportamiento del mecanismo presentado en la Figura 4, empleando la ecuación 2.2 y con ello comprobar la posición del plano de proyección en función del ángulo, así como también la velocidad en función del ángulo, desplazamiento máximo. Además de permitir cambiar las dimensiones del mecanismo y observar los resultados antes mencionados con diversas geometrías. Ver Figura 35.

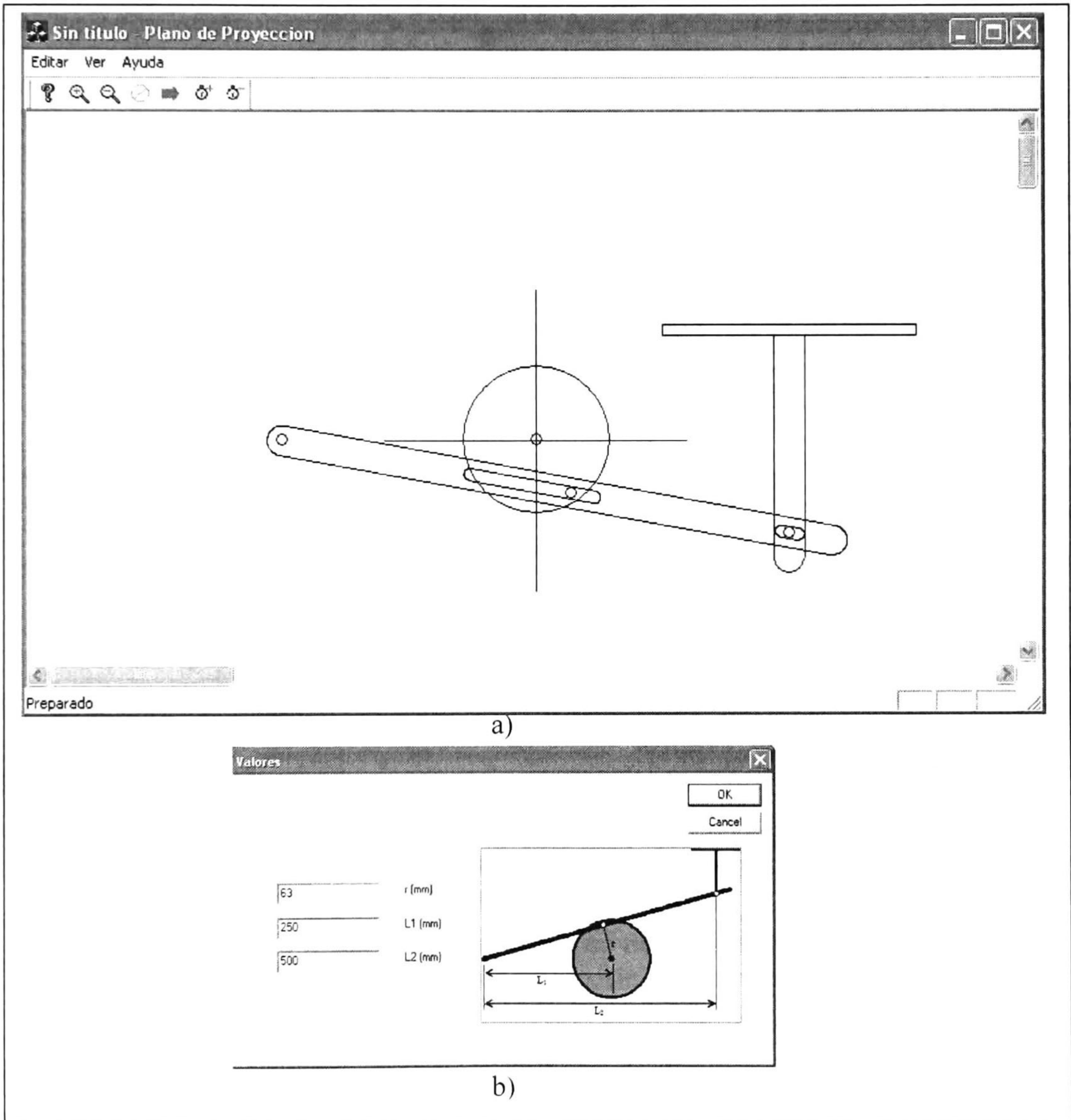


Figura 35. Simulación del Mecanismo. a) Diferentes posiciones del mecanismo para diferentes ángulos. b) Cuadro de dialogo mediante para editar los valores del mecanismo.

La **Figura 36** muestra la grafica de la posición del plano de proyección en función del tiempo cuando la velocidad angular es de 12 Hz.

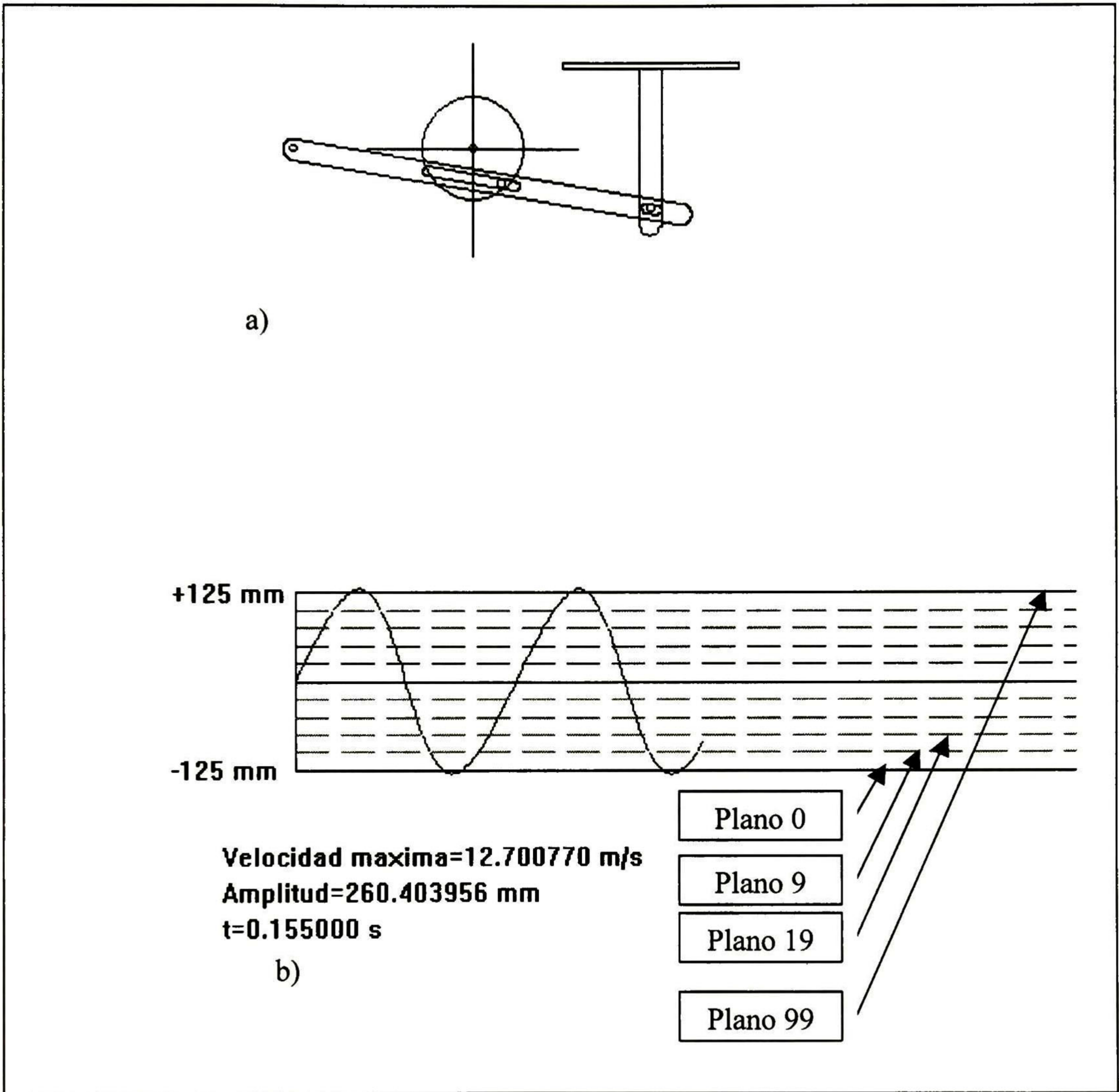


Figura 36. Gráfica de la posición del plano. a) Sistema mecánico. b) posición del plano de proyección en función del tiempo.

Asimismo, la Figura 36 muestra las características de la velocidad máxima del plano de proyección, el desplazamiento del plano de proyección y el tiempo actual.

La Figura 37 muestra las señales generadas a partir de la señal CH_A.

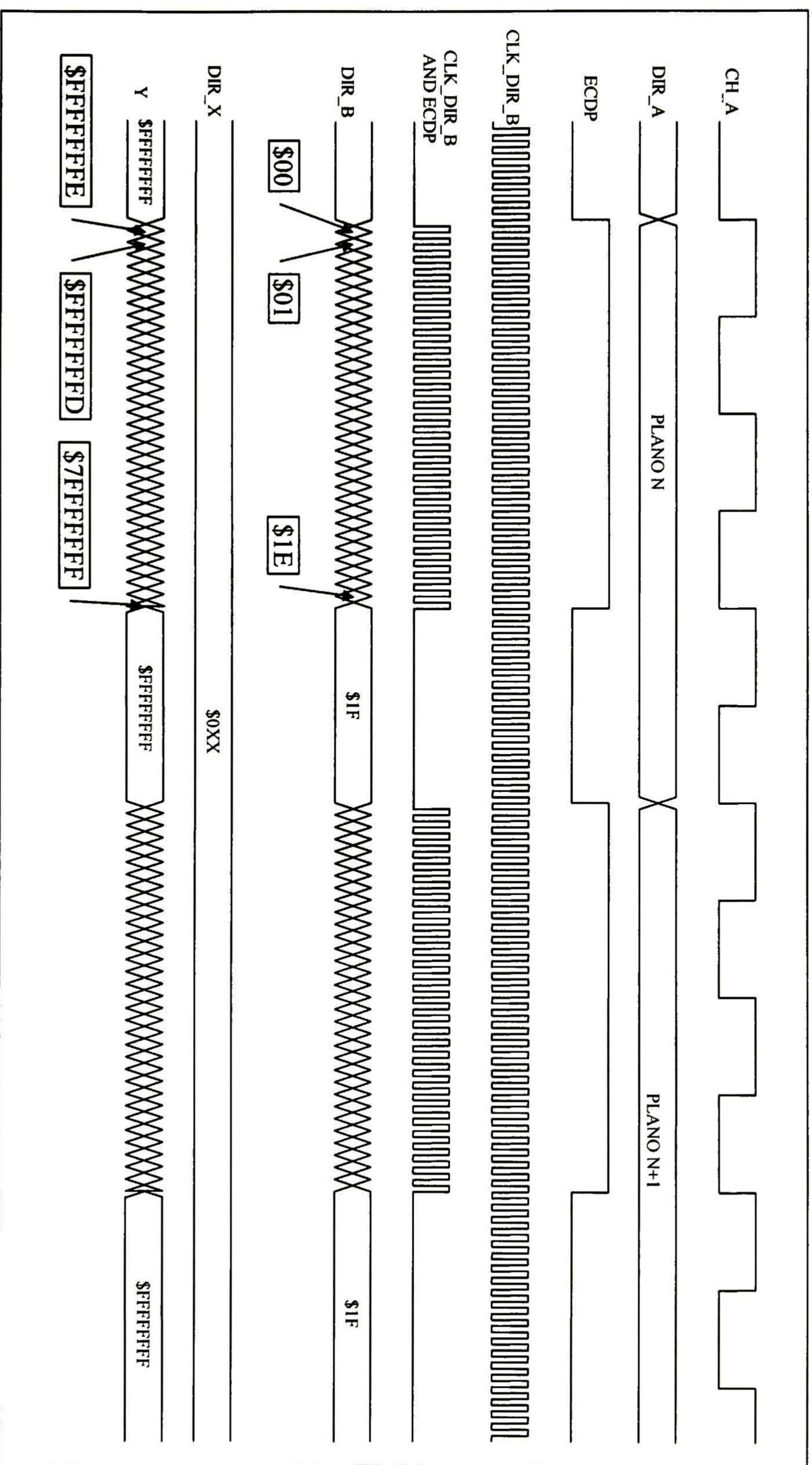


Figura 37. Señales generadas por el sistema Mirage.

5.2 Simulación del Sintetizador de reloj.

La Figura 38 muestra el diagrama a bloques del sintetizador de frecuencia como modelo de Simulink para obtener la señal CLK_DIR_B a partir de la señal CH_A empleando para ello el sintetizador de frecuencia mostrado en la Figura 26.

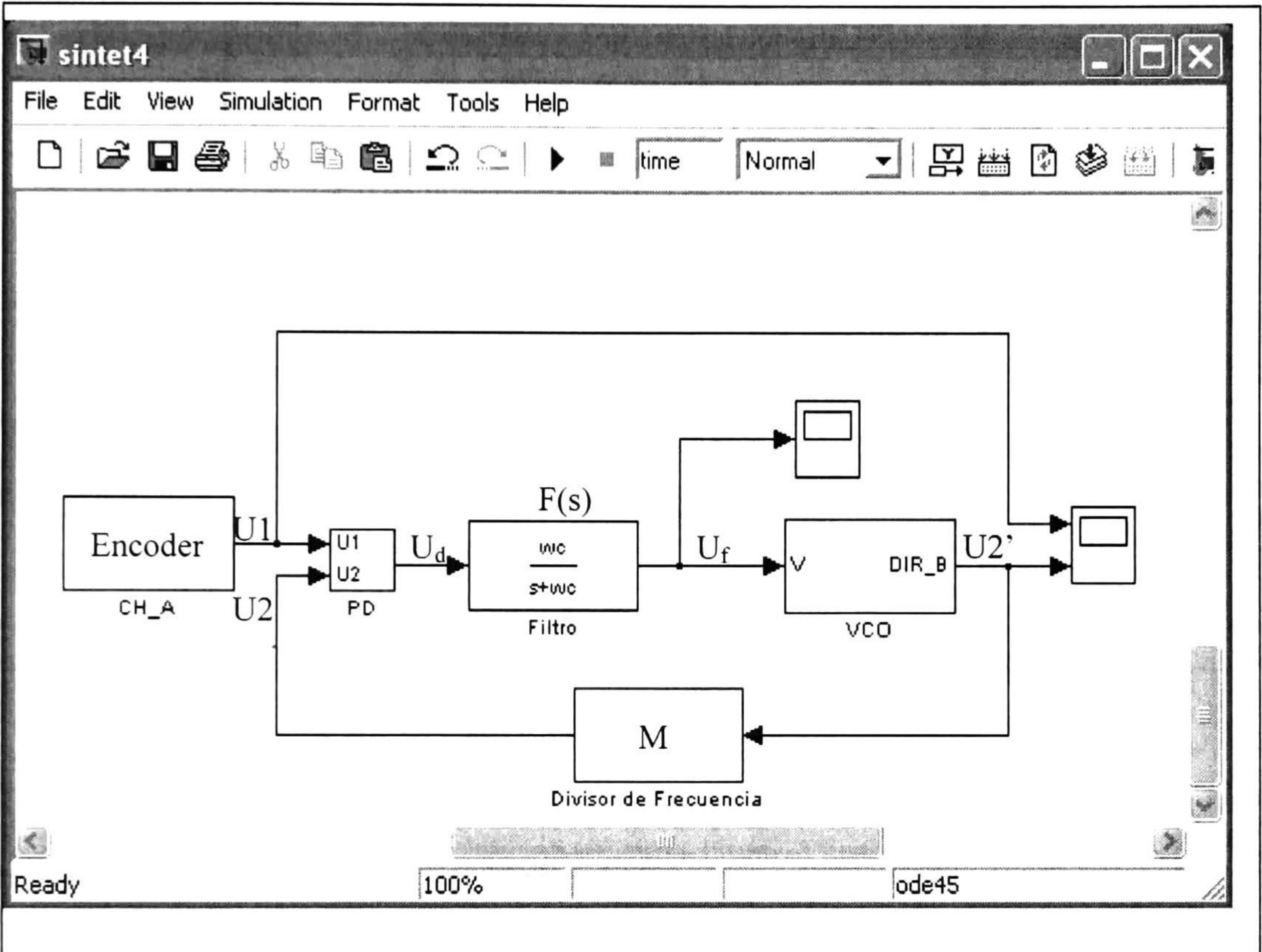


Figura 38. Diagrama a bloques del Sintetizador de Frecuencia.

Como se puede apreciar, esta constituido por un comparador de fase (PD), un filtro pasabajas, un oscilador controlado por voltaje (VCO) y un divisor de frecuencia.

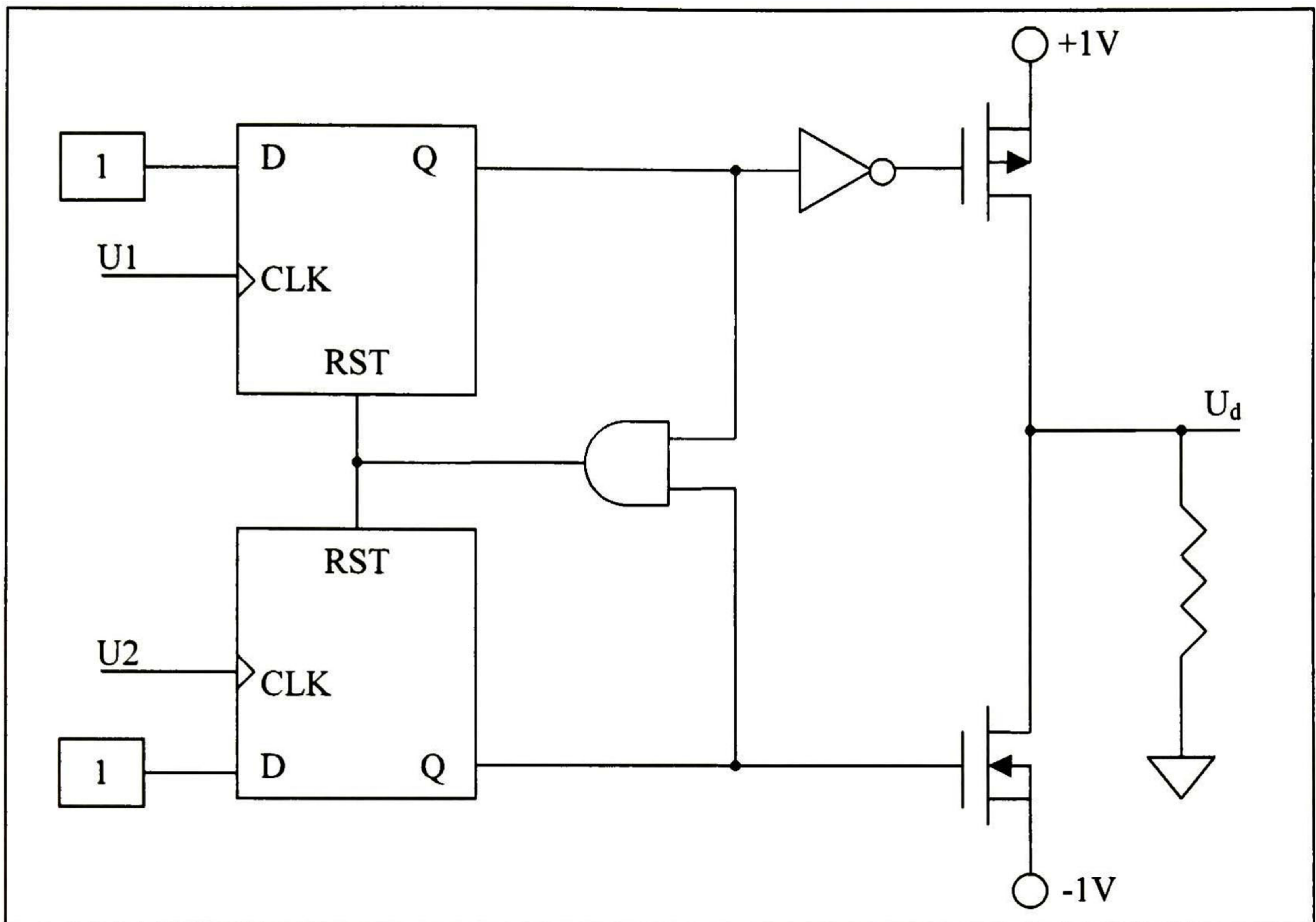


Figura 39. Detector de Fase (PD).

5.2.1 Detector de Fase.

El funcionamiento del detector de fase está basado en una máquina de estados para generar la señal U_d en función de la diferencia de fases de las señales U_1 y U_2 . La **Figura 40** muestra la máquina de estados del detector de fase.

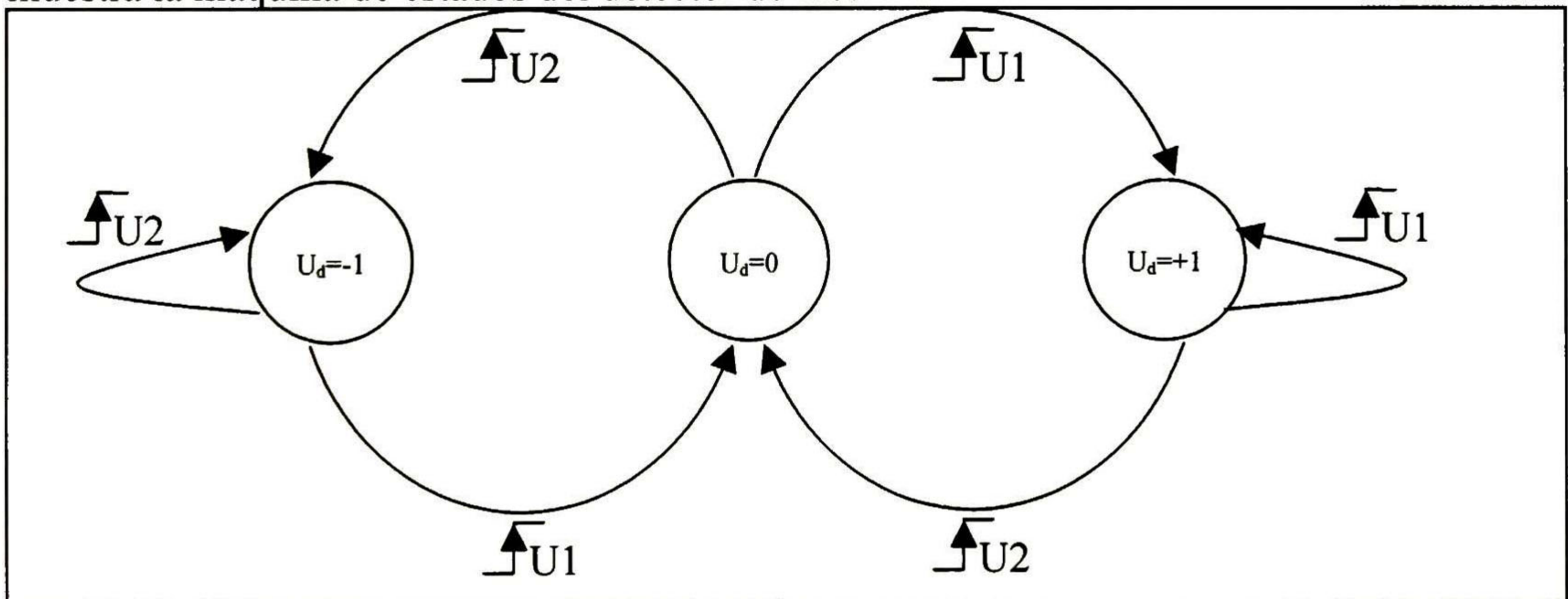


Figura 40. Máquina de estados del detector de fase.

El estado actual del detector de fase está determinado por la transición positiva de la señal U_1 y U_2 . Como se puede ver en la **Figura 40** una transición positiva de U_1 obliga al detector de fase a ir al estado más alto hasta que se presente una transición positiva de U_2 para llevar al detector de fase al estado cero. Análogamente, una transición negativa de U_2

obliga al detector de fase a ir al estado más bajo hasta que se presente una transición positiva de U_2 para llevar al detector de fase al estado cero.

Las señales de entrada y salida del detector de fase se muestra en la **Figura 39**, produce una señal U_d de tres niveles cuyo ciclo de trabajo es proporcional a la diferencia de las fases de las señales de entrada U_1 y U_2 tal como se muestra en la **Figura 41**.

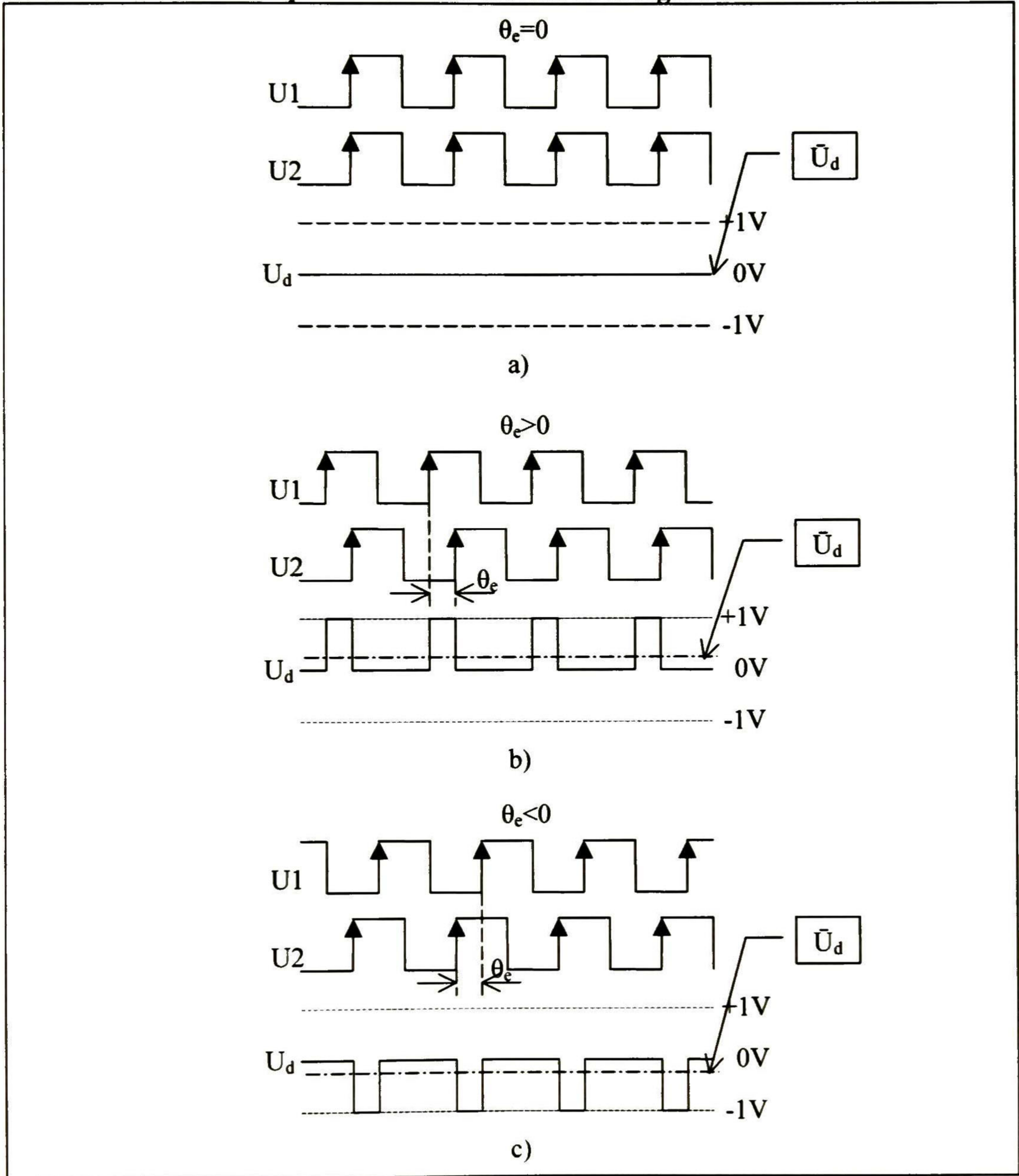


Figura 41. Formas de ondas de las señales del detector de fase. a) Formas de onda para el error de fase cero. La señal de salida del detector de fase es permanentemente en cero. b) Formas de onda para un error de fase positivo. La señal de salida es pulsante a +1V. c) Formas de onda para errores de fase negativo. La señal de salida es pulsante a -1V.

El promedio de la señal de salida del detector de fase \bar{U}_d contra el error de fase θ_e se muestra en la Figura 42.

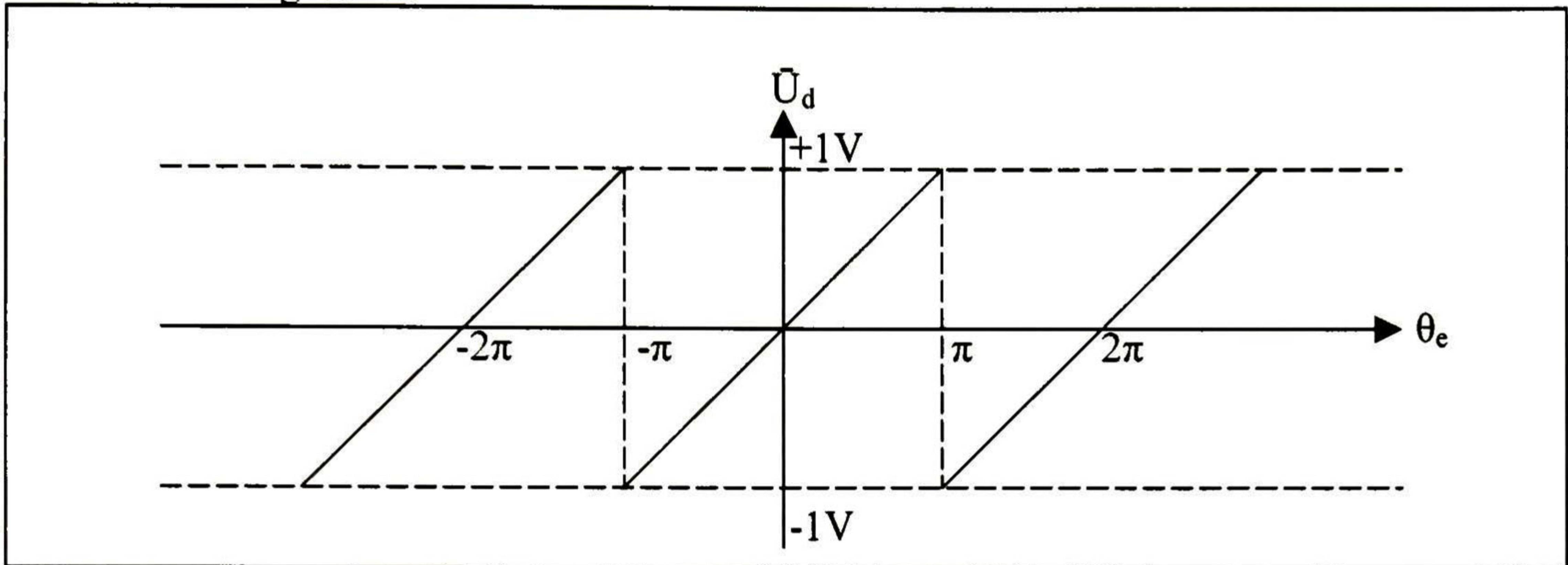


Figura 42. Gráfica del promedio de la salida del detector de fase vs, el error de fase.

5.2.2 Filtro.

El filtro pasa bajas $F(s)=\omega_c/(s+ \omega_c)$ de primer orden elimina integra la senal U_d del detector de fase. La respuesta en frecuencia del filtro pasa bajas se muestra en la Figura 43.

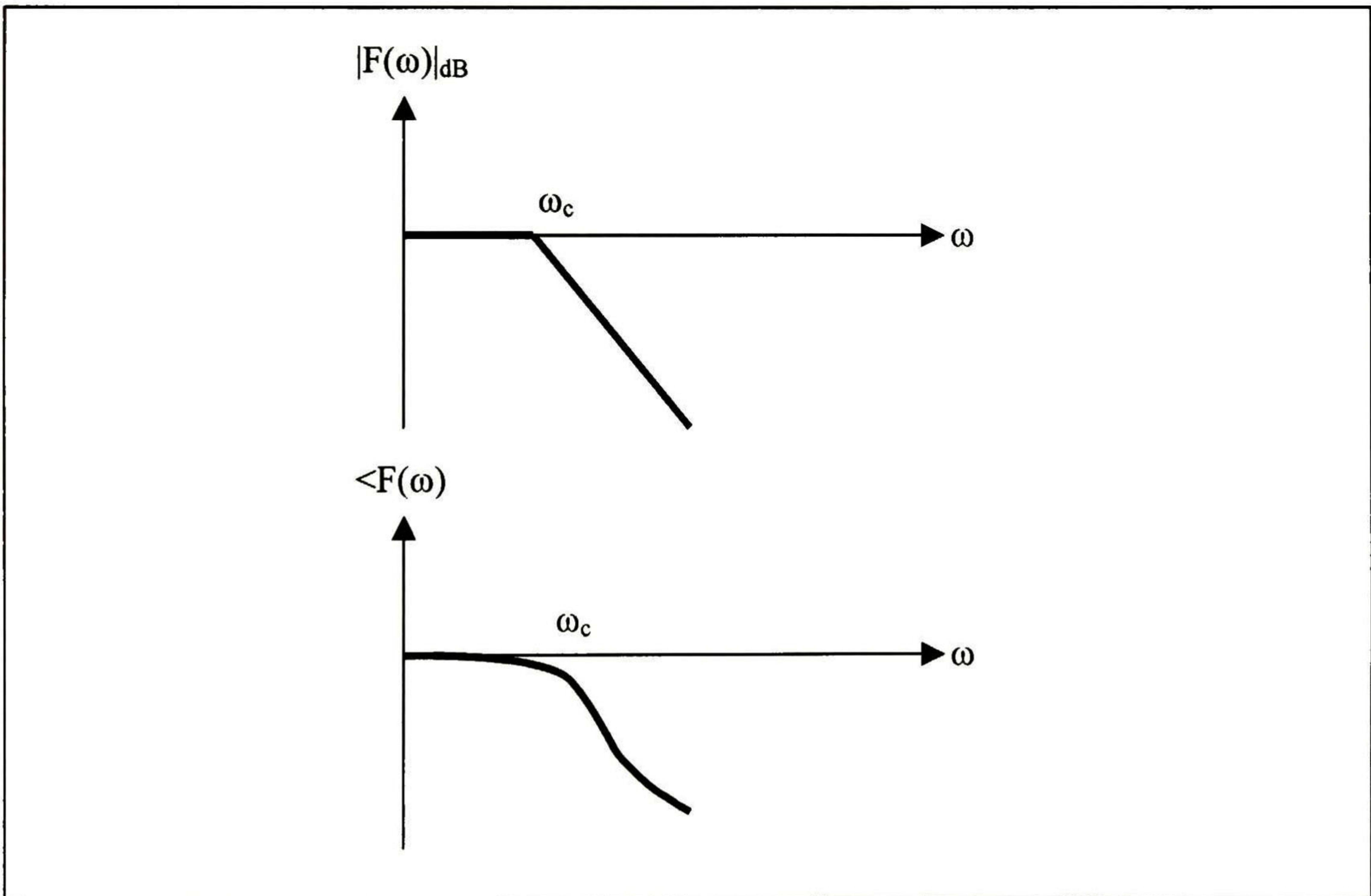


Figura 43. Respuesta en frecuencia de $F(s)$.

La salida U_f del filtro $F(s)$ ante una entrada U_d determinada se muestra en la Figura 44.

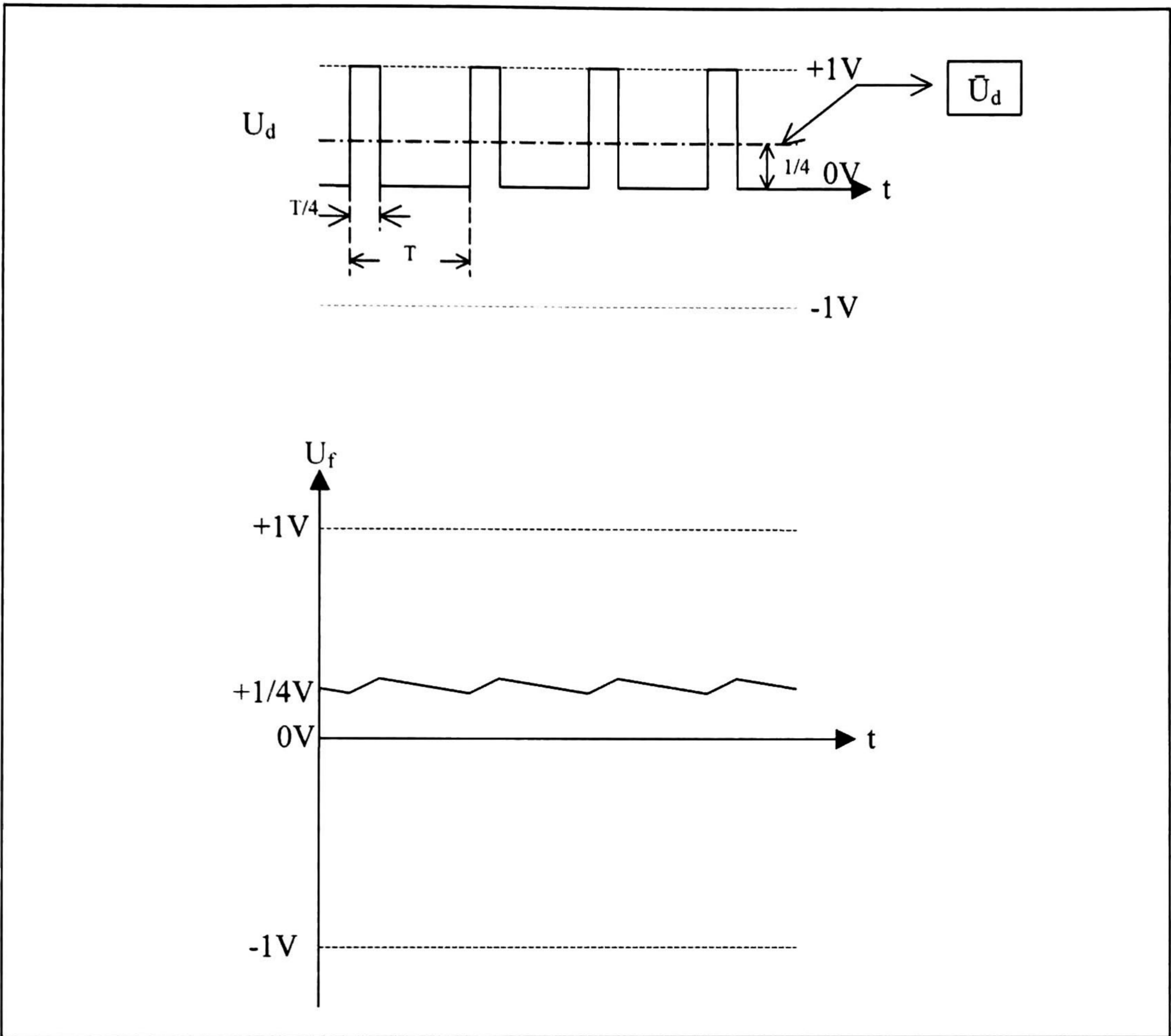


Figura 44. Señal de salida U_f del filtro $F(s)$.

5.2.3 VCO.

El oscilador controlado por voltaje VCO produce una señal cuadrada U_2' cuya frecuencia F_o es controlada por un voltaje de entrada U_f como se muestra en la **Figura 45**.

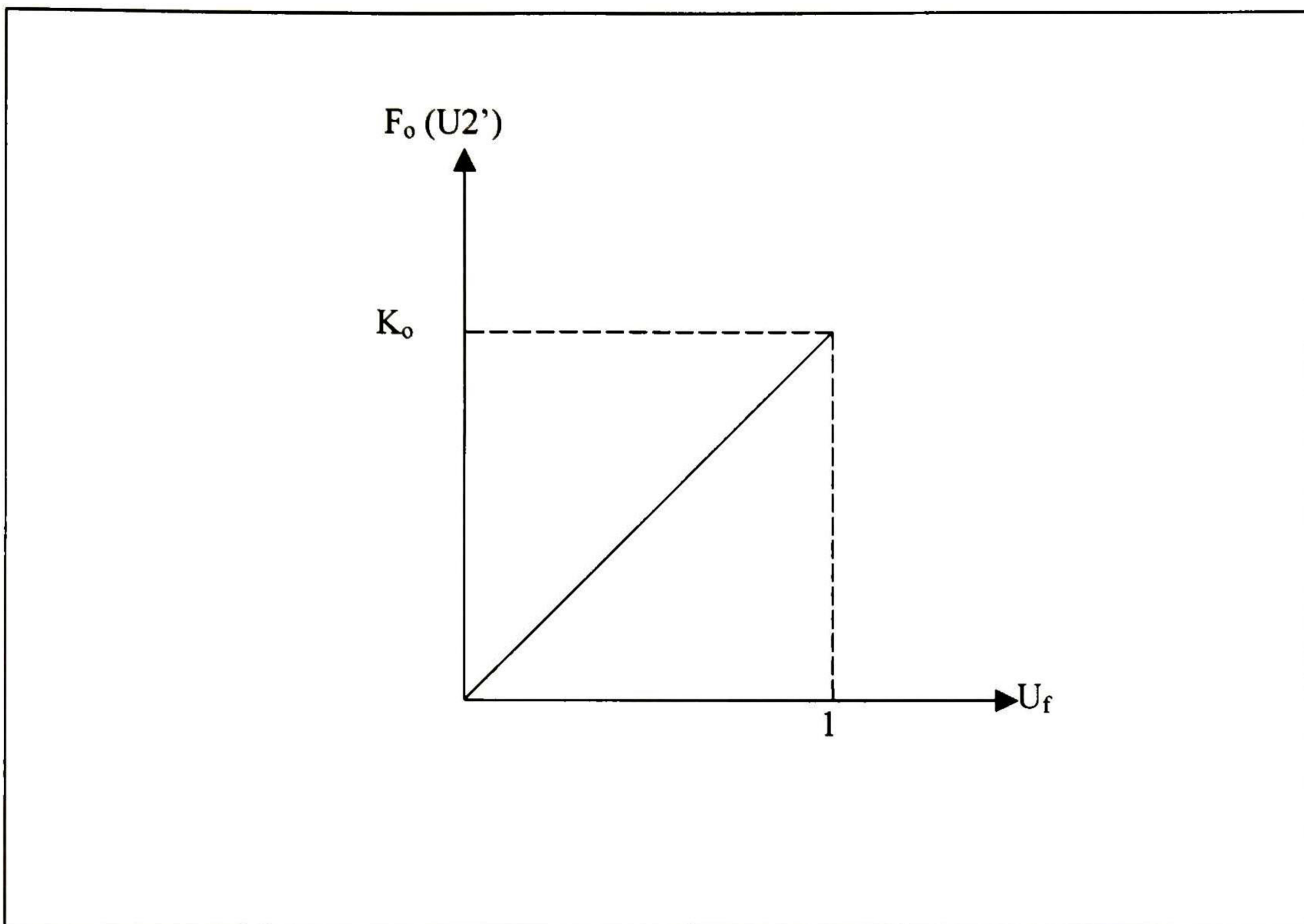


Figura 45. Frecuencia de salida del VCO vs. voltaje de entrada.

El oscilador controlado por voltaje genera una señal $U2'$ como la que se muestra en la **Figura 46**. La frecuencia de esta señal es $F_o = (M)(F_i) + K_o U_f$ donde M es el factor del divisor de frecuencia, F_i es la frecuencia de la señal de entrada del sintetizador, en este caso, la frecuencia de la señal $CH_A = (12)(1024) \text{ Hz}$, y F_o es la frecuencia de salida del sintetizador, en este caso la frecuencia de la señal $CLK_DIR_B = (12)(1024)(16) \text{ Hz}$.

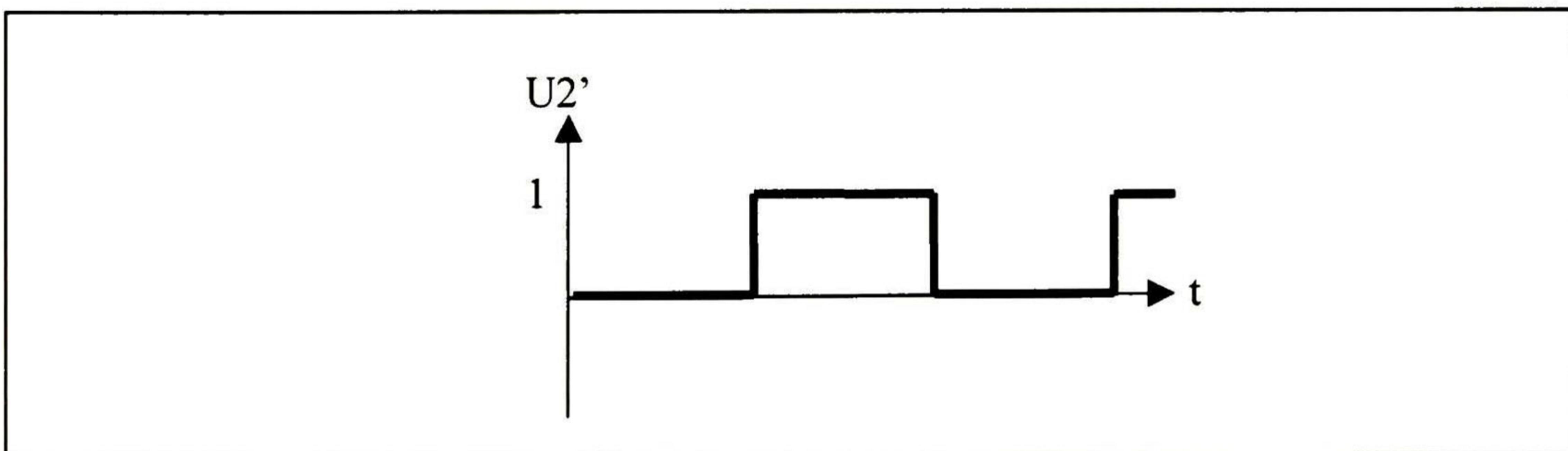


Figura 46. Señal de salida del oscilador de voltaje (VCO).

Así, la fase $\theta_{2'}$ de $U2'$ se puede escribir como

$$\theta_{2'} = 2\pi \int (MF_i + K_o U_f) dt = 2\pi MF_i t + 2\pi K_o \int U_f dt$$

5.2.4 Divisor de Frecuencia.

El divisor de frecuencia M genera una señal cuadrada a partir de otra señal cuadrada de forma que la señal de salida tiene $(1/M)$ la frecuencia de la señal de entrada, ver **Figura 47**.

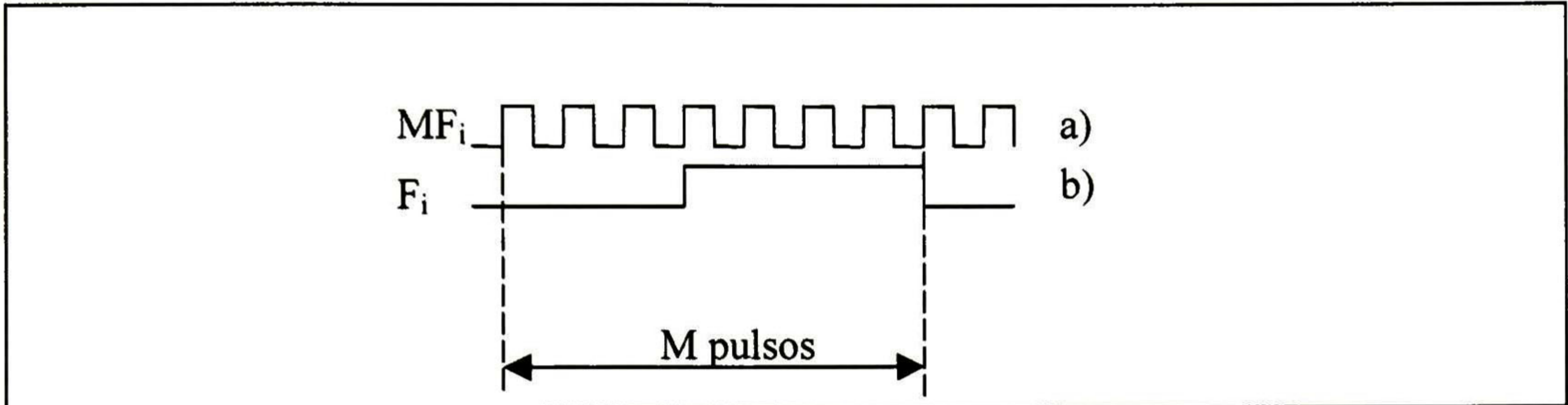


Figura 47. Señales del divisor de frecuencia M . a) Señal de entrada al divisor de frecuencia.
b) Señal de salida del divisor de frecuencia.

De esta forma el sintetizador se modela como el sistema mostrado en la **Figura 48**, cuya función de transferencia de lazo cerrado $H(s)$ es

$$H(s) = \frac{K_o \omega_c}{s^2 + \omega_c + K_o \omega_c \frac{1}{M}}$$

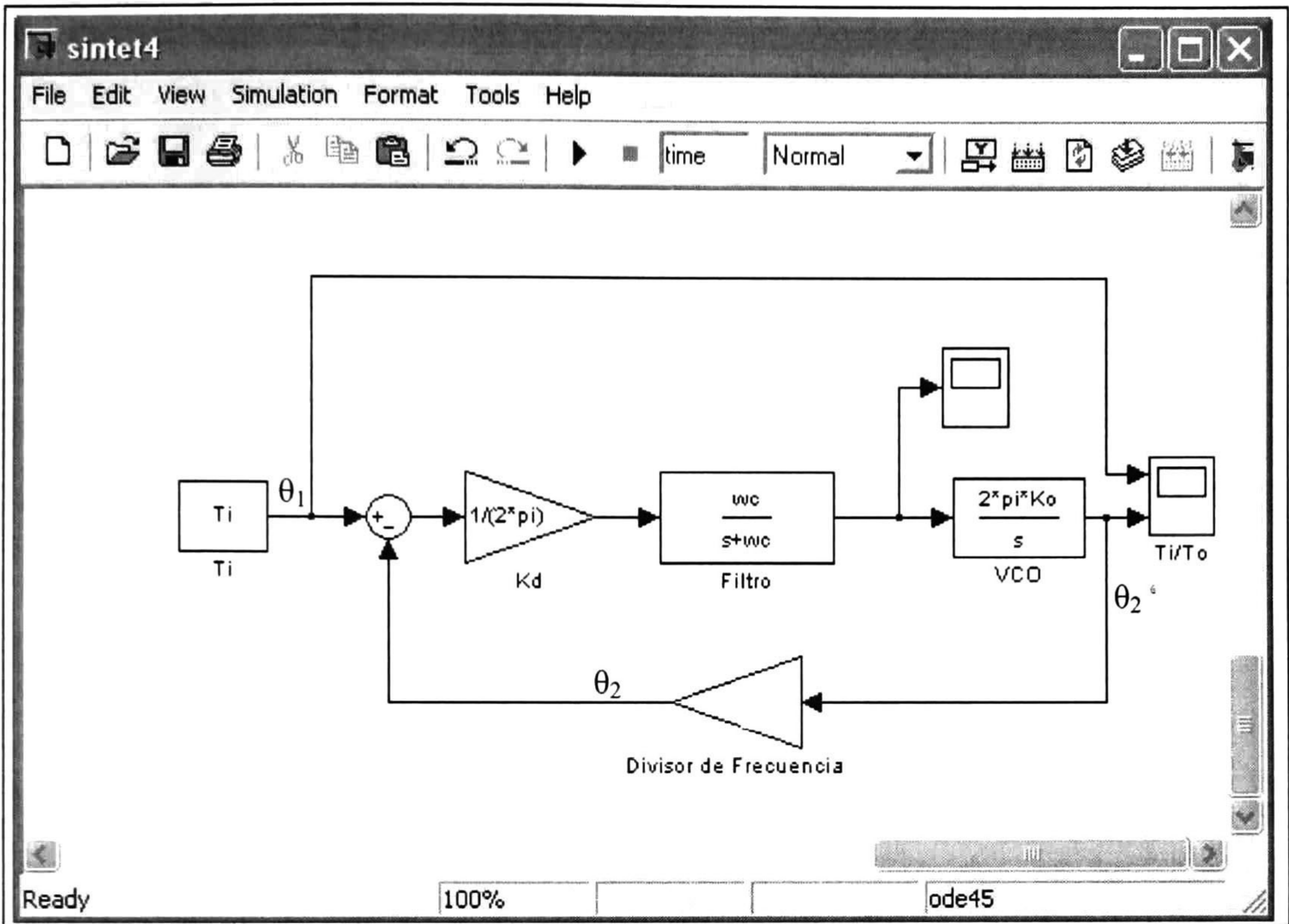


Figura 48. Sintetizador de Frecuencia.

Para $M=16$ el lugar geométrico mostrado en la **Figura 49** de las raíces revela que es tiempo de establecimiento mínimo es de $t_s = 3/\zeta\omega_n = 0.9549s$, siendo ζ el factor de amortiguamiento y ω_n la frecuencia de oscilación. Con el fin de que el porcentaje de sobrepaso sea nulo entonces el factor de amortiguamiento debe ser 1 , así

$$K_o = \frac{-1}{G(s)H(s)} \Big|_{s \rightarrow -\pi} = 8\pi \approx 25.1$$

Entonces la función de transferencia de lazo cerrado para el sintetizador de frecuencia es

$$H(s) = \frac{(25.1)(2\pi)}{s^2 + 2\pi s + (25.1)(2\pi)\frac{1}{16}} \approx \frac{157.7}{s^2 + 6.3s + 9.9}$$

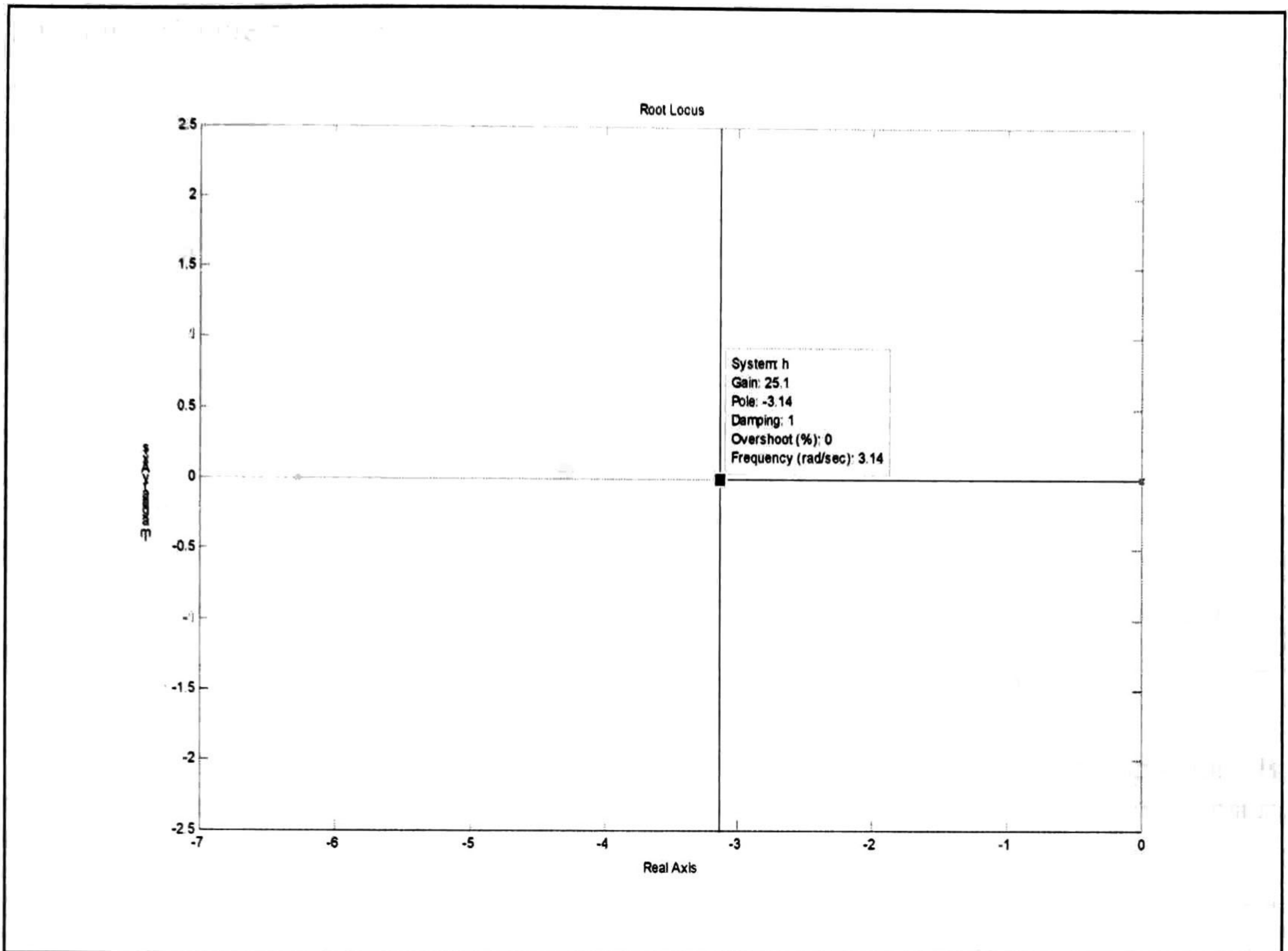


Figura 49. Lugar geométrico de las raíces para el sintetizador de frecuencia.

La respuesta al escalón del sintetizador se muestra en la **Figura 50**.

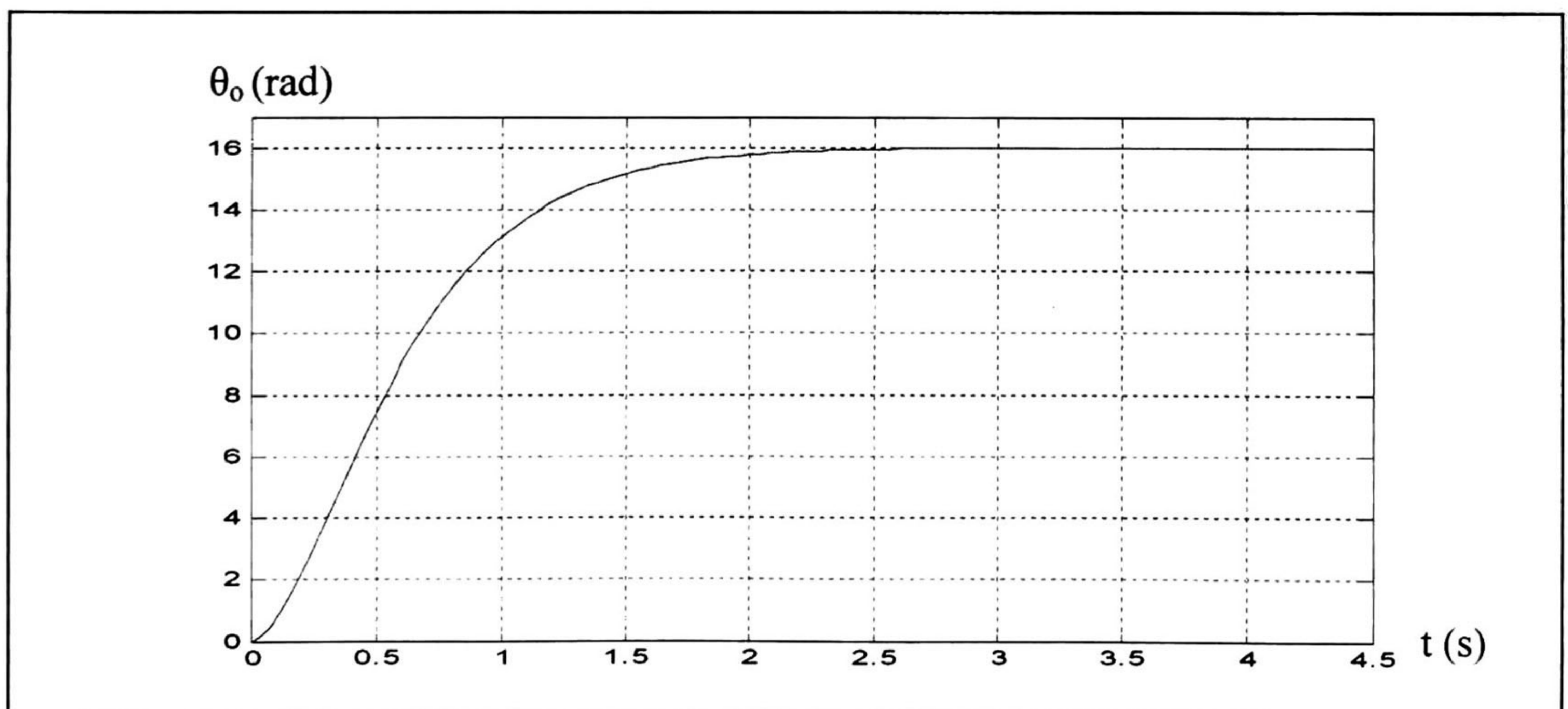


Figura 50. Respuesta al escalón del sintetizador.

La Figura 51 muestra la señal de error de fase entre las señales CH_A y DIR_B.

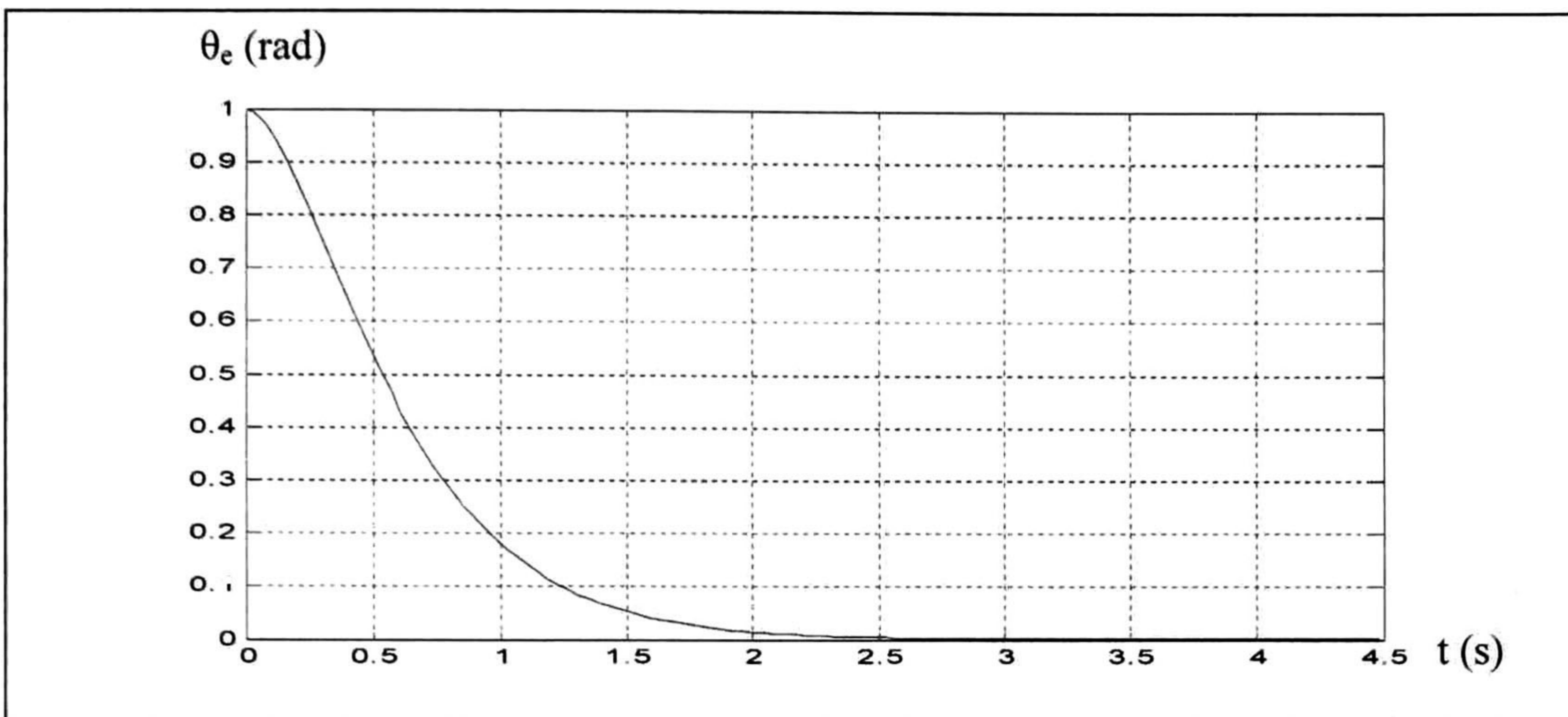


Figura 51. Señal de Error de fase entre CH_A y DIR_B.

La Figura 52 muestra a las señales CH_A y CLK_DIR_B, como se puede apreciar la frecuencia de CLK_DIR_B es 16 la frecuencia de CH_A así como también están sincronizadas.

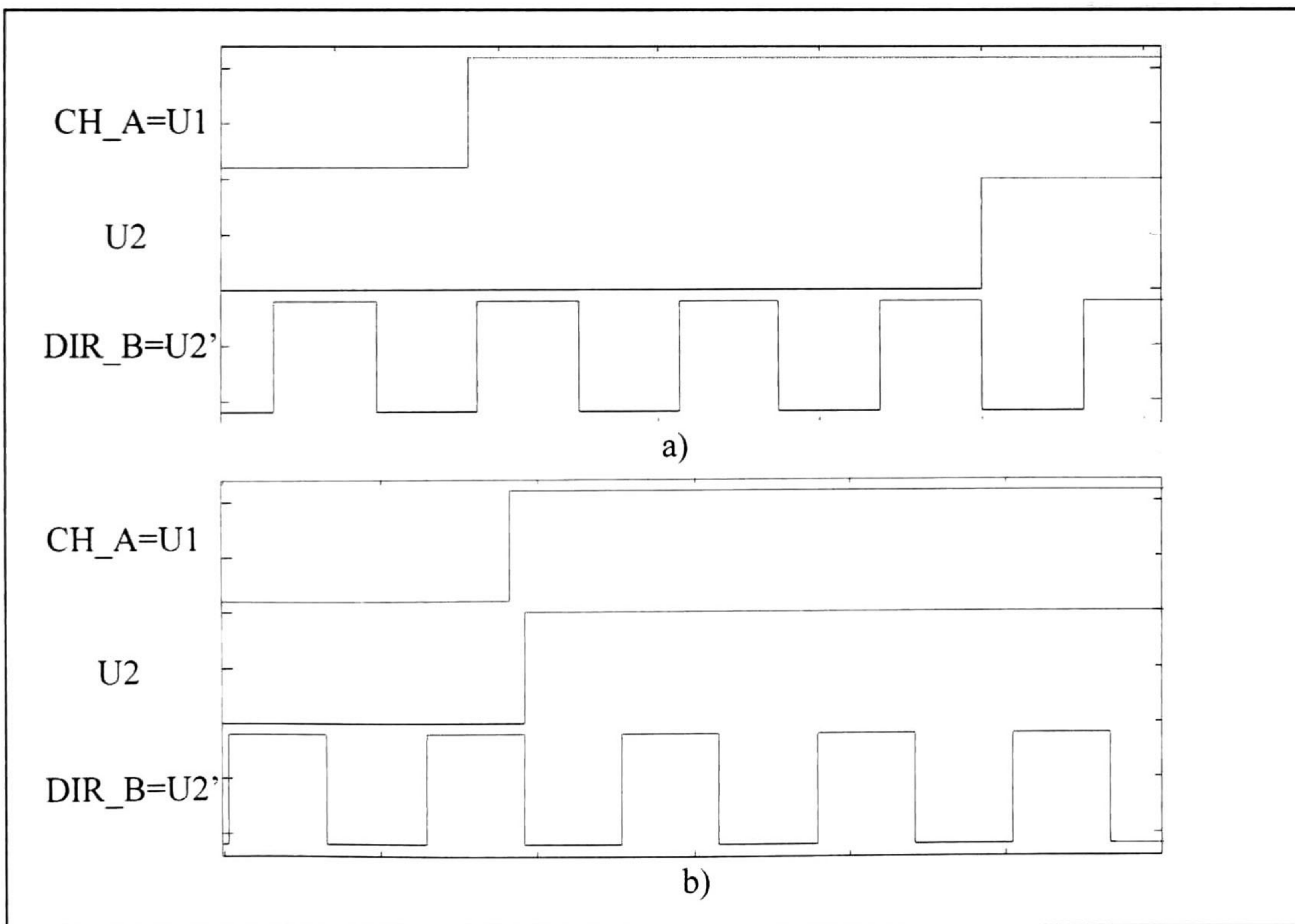


Figura 52. Señales CH_A y CLK_DIR_B. a) Señales sin sincronización (en $t = 0s$). B) Señales después de la sincronización (5% Error).

5.3 Simulación Digital

La Figura 53 muestra la simulación de la arquitectura presentada en la Figura 22.

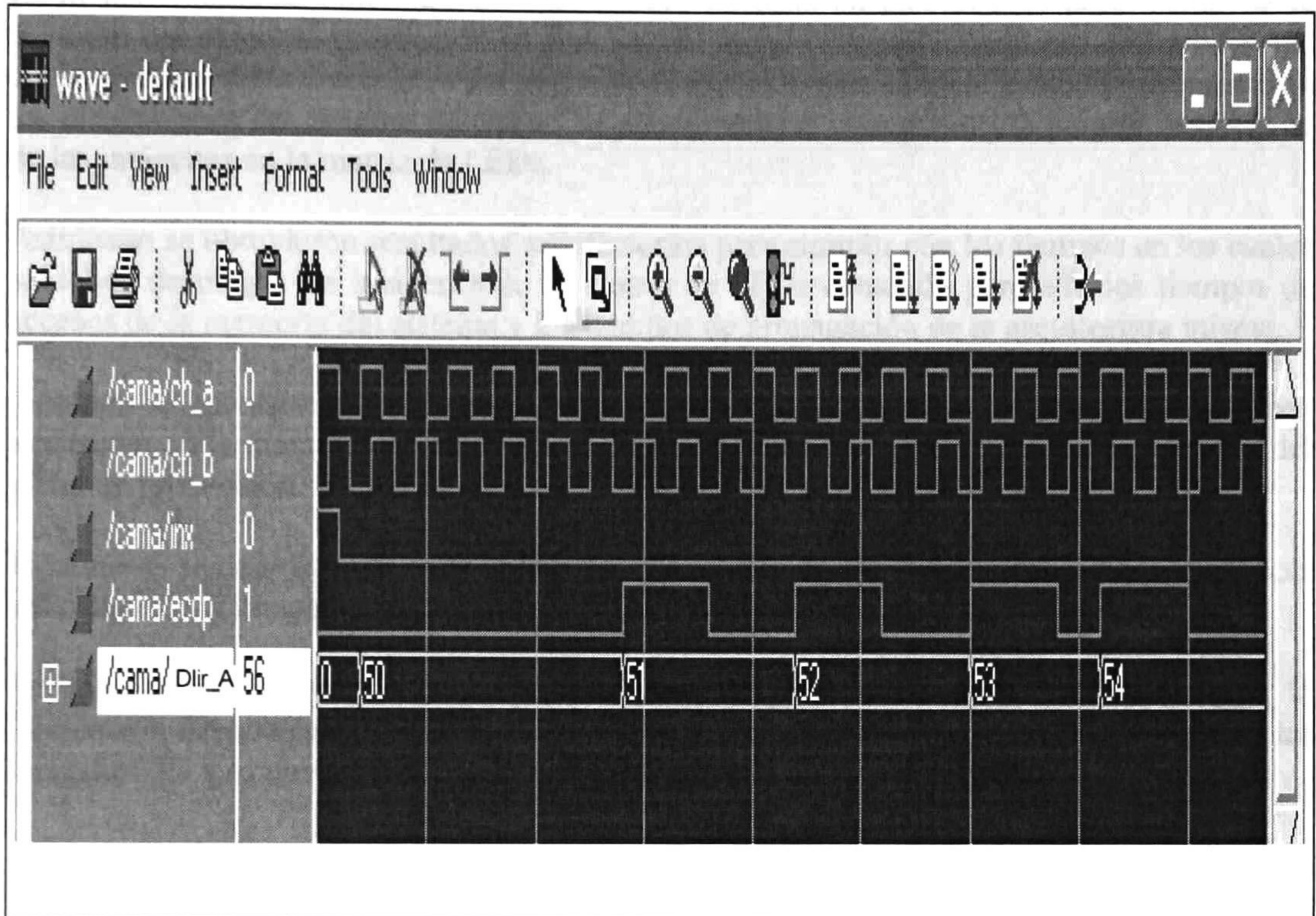


Figura 53. Diagrama de tiempos de la DIR_A y ECDP.

Como se puede apreciar se proporcionan las señales DIR_A y ECDP a partir de las señales CH_A, CH_B e INX proporcionadas por el *Encoder*.

Para obtener las señales DIR_A y ECDP se empleo los datos correspondientes a la memoria de conversión, mismos que fueron almacenados en la memoria interna del FPGA. Estos datos se obtuvieron a partir de la ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3.

6 Capítulo 6. Conclusiones

Dado los resultados obtenidos en este trabajo de tesis en cuanto a la descripción de la posición del plano de proyección en función del ángulo proporcionado por el *Encoder*, así como también de la cinemática del plano de proyección para la localización conveniente de las dimensiones del sistema mecánico se puede realizar la arquitectura para el desplgado de las imágenes en la matriz de LEDs.

Asimismo se obtuvieron resultados satisfactorios para cumplir con los tiempos en los cuales se deben desplegar las imágenes en la matriz de LEDs contando para ello los tiempos de accesos de la memoria del sistema y los tiempos de propagación de la arquitectura misma.

También se encontraron las formulas 3.1, 3.2 y 3.3 para formatear los datos que se deben almacenar en la memoria de conversión mediante la cual es posible conocer la posición del plano de proyección.

Finalmente se demostraron cada una de las ecuaciones de las transformaciones geométricas aplicadas a una imagen en 3D mediante el uso de las matrices de transformación.

Es por esta razón que se concluye que este trabajo de tesis sirve como guía para la fabricación del sistema MIRAGE y con ello avanzar notablemente en la presentación de las imágenes 3D y lo que con ello conlleva en los campos de la investigación.

7 Apéndice A. Diagramas de flujo

7.1 Algoritmos para las memorias de conversión (referirse al algoritmo 1)

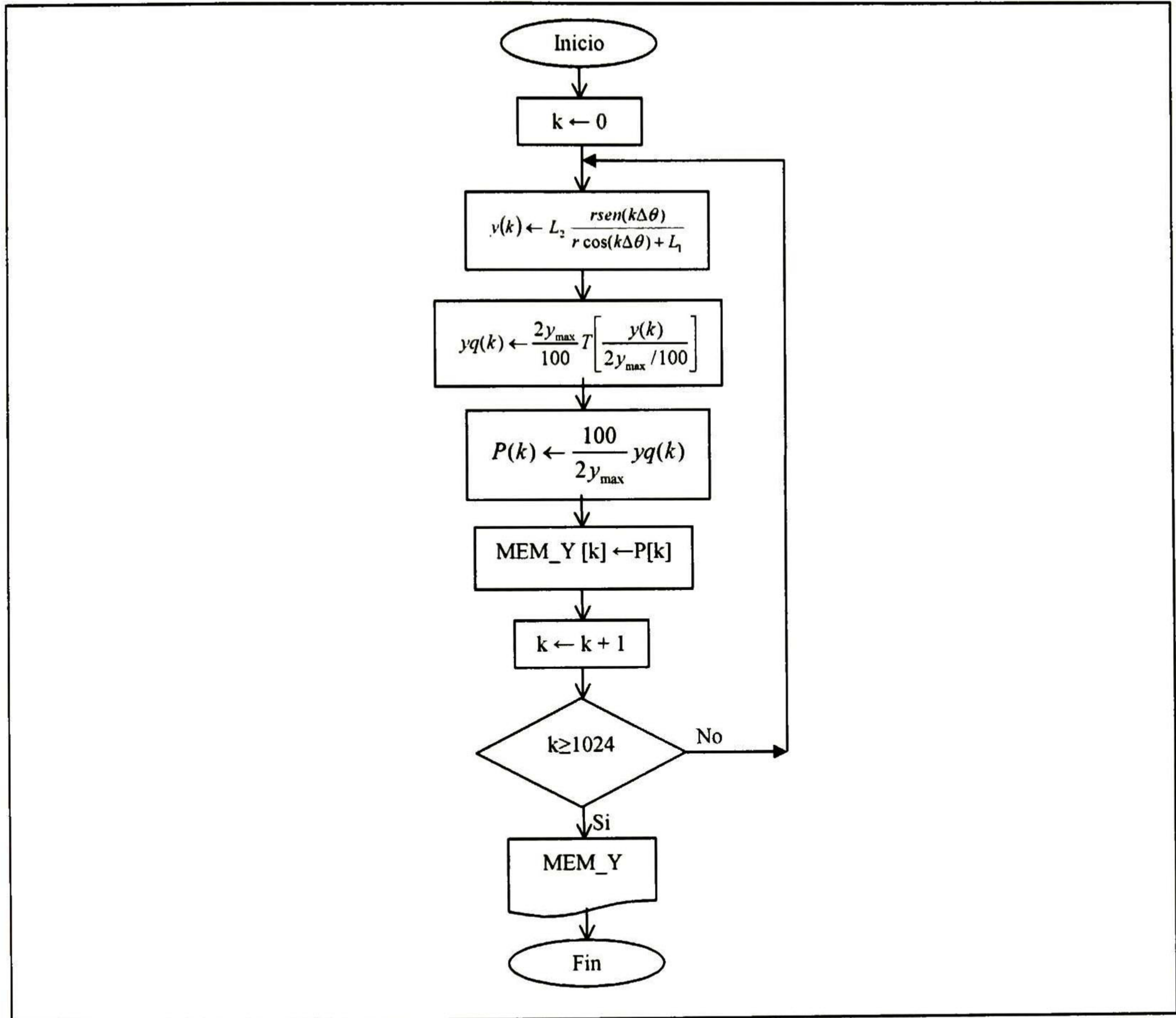


Figura 54. Diagrama de flujo para la Memoria de Conversión.

7.2 Algoritmos para generar la señal ECDP (referirse a la Figura 28)

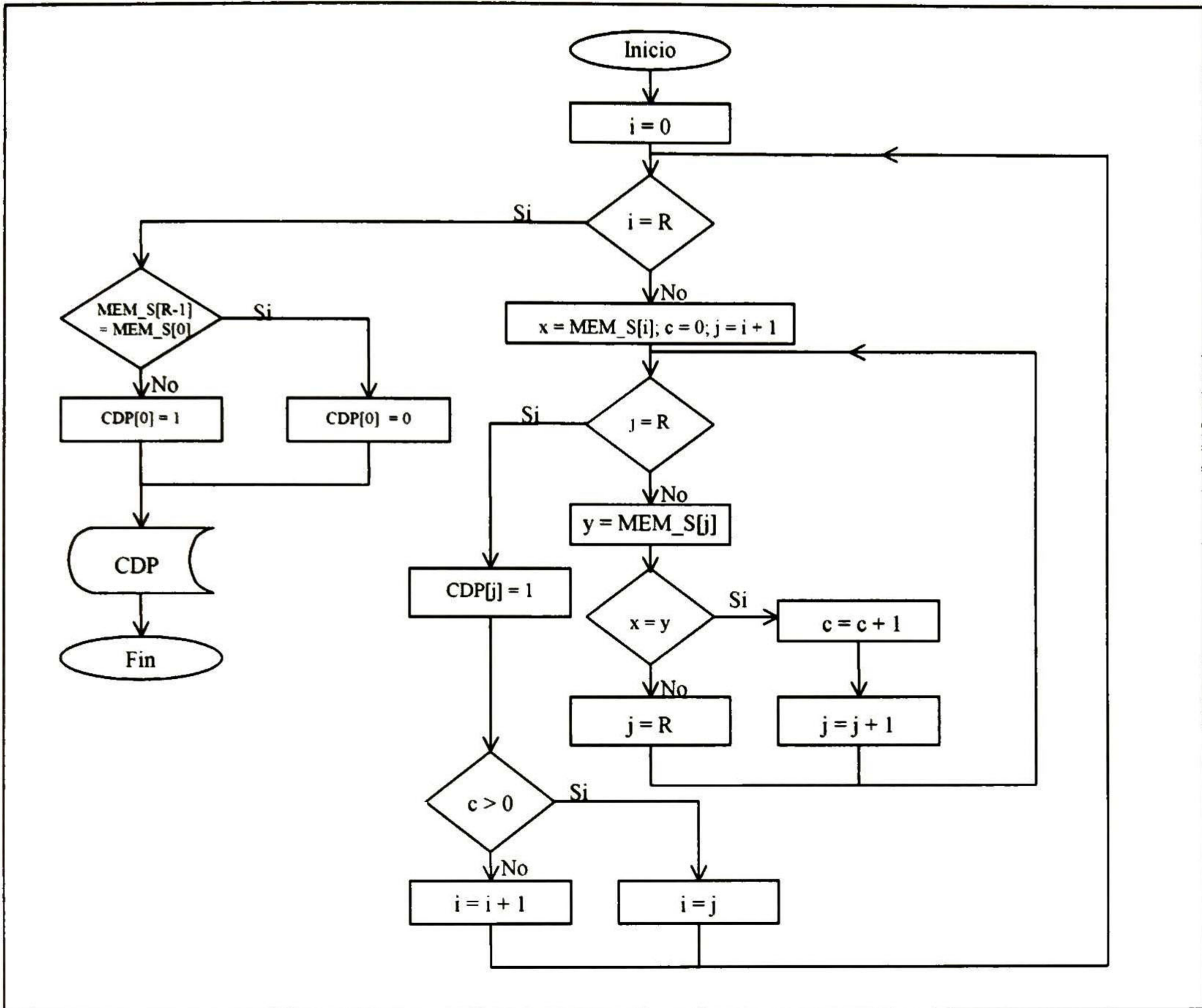


Figura 55. Diagrama de flujo para generar la señal ECDP.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N. UNIDAD GUADALAJARA

El Jurado designado por la Unidad Guadalajara del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional aprobó la tesis

Diseño de un Proyector de Imágenes en 3D

del (la) C.

Luis Ilich Vladimir GUERRERO LINARES

el día 19 de Octubre de 2007.

Dr. José Luis Leyva Montiel
Investigador CINVESTAV 3B
CINVESTAV Unidad Guadalajara

Dr. Luis Ernesto López Mellado
Investigador CINVESTAV 3A
CINVESTAV Unidad Guadalajara

Dr. Federico Sandoval Ibarra
Investigador CINVESTAV 3A
CINVESTAV Unidad Guadalajara

Ing. Kyriakos Dragonas Bryoni
Gerente General
Competitive Global de Mexico



CINVESTAV
BIBLIOTECA CENTRAL



SSIT000006228