

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



**ESCUELA DE INGENIERIA  
UNIDAD ENSENADA**

**CONTROL AUTOMATICO DE POLARIZACION**

**TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL  
TITULO DE**

**INGENIERO EN ELECTRONICA**

**Presenta:**

**Eduardo Alberto Durazo Watanabe**

**DIRECTOR DE TESIS  
Dr. Horacio Soto Ortiz**

**Ensenada, B.C., Marzo del 2001.**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERIA

CONTROL AUTOMATICO DE POLARIZACION

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA

PRESENTA:

EDUARDO ALBERTO DURAZO WATANABE

APROBADA POR:



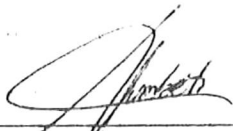
Dr. Horacio Soto Ortiz  
Director de Tesis



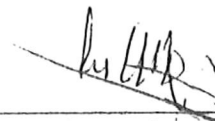
Dr. Miguel Martinez Rosas  
Sinodal Propietario



Dr. Horacio Martinez Reyes  
Sinodal Propietario



M.C. Humberto Cervantes de Avila  
Sinodal Propietario



Ing. Luis Talavera Balbuena  
Sinodal Propietario

## **Dedicatoria**

A mis abuelos Antonio y Celia (q.e.p.d.) por su cariño y ejemplo de trabajo y honradez.

A mis padres Eduardo y Beatriz por su cariño, cuidados y consejos.

A mis hermanas Rebeca y Elena por su cariño, por compartir su espacio y alegría.

A mis tíos y tías Elena, Norma, Marco, Juan Manuel, Olivia y Laura por su cariño y apoyo.

A Noemi por compartir su cariño, su tiempo y muchos buenos ratos juntos.

A todo la gente que con su esfuerzo diario hace de nuestro país, México, un mejor lugar para vivir.

## **Agradecimientos**

Al Dr. Soto por su motivación e invaluable asesorías.

A los compañeros del Laboratorio de Comunicaciones  
Ópticas, Edith, Ramon y Juan por su apoyo técnico y moral.

A CICESE por las facilidades otorgadas para el desarrollo de  
este trabajo.

## Indice

1. Introducción	1
2. Conceptos Importantes	1
2.1 Evolución de los estudios sobre la luz	1
2.2 Evolución de los estudios sobre el láser	2
2.3 El espectro electromagnético	3
2.4 Índice de refracción	4
2.5 Fuentes luminosas y dimensiones de la fibra	6
2.6 Transmisión y atenuación	6
2.7 Capacidad de información	7
2.8 Dispersión y distancia	8
2.9 Fuentes luminosas	8
2.10 Modulación	9
2.11 Detección	9
2.12 Amplificadores, repetidores y regeneradores	10
2.13 Consideraciones del sistema	10
2.14 Modos de la fibra	11
3. Polarización	12
3.1 Definición del concepto de polarización	12
3.2 Tipos de polarización	12
3.3 Polarizadores	16
3.4 Parámetros de Stokes	16
4. Descripción del Sistema de Control Automático de Polarización	20
4.1 Compensadores	20
4.2 Manejador de Software	25
4.3 Interface de Hardware	27
4.4 Resultados	29
5. Motores de Pasos	35
5.1 Motores de pasos con discos	36
5.2 Pasos y ángulo de paso	37
5.3 Tabla de verdad de motores de pasos	39
6. Lab View	41
6.1 Introducción a Lab View	41
6.2 Barra de herramientas del panel frontal	43
6.3 Paleta de herramientas	46
6.4 Paleta de control	48
6.5 Paleta de funciones	49
7. Código referente al algoritmo del control automático de polarización	51
7.1 Primer bloque de código	51
7.2 Segundo bloque de código	52

7.3 Tercer bloque de código	53
7.4 Subprogramas	54
8. GPIB	56
8.1 Introducción al GPIB	56
8.2 Importancia del estándar IEEE 488.2	56
8.3 Operación del GPIB	57
8.4 Emisores, receptores y controladores	58
8.5 El controlador a cargo y el controlador del sistema	59
8.6 Líneas y señales del GPIB	59
8.7 Línea de Datos	60
8.8 Línea de Reconocimiento	60
8.9 Línea de administración de interface	61
8.10 Características físicas y eléctricas	61
8.11 Requerimientos de configuración	63
9. Aplicación	65
9.1 Objetivos de la aplicación	65
9.2 Descripción General	66
9.3 Resultados	68
10. Conclusiones	71
11. Trabajo a Futuro	72
12. Bibliografía	73

## Indice de Gráficas

2.0	Onda de luz no polarizada	12
2.1	Tipos de polarización	13
2.2	Ejemplo de luz polarizada linealmente	14
2.3	Ejemplo de luz polarizada circularmente	14
2.4	Ejemplo de luz polarizada elípticamente	15
3.0	Compensador de Lefevre	21
3.1	Comparación de la fibra en su estado inicial y después de haber sido rotada	21
3.2	Representación de una polarización elíptica	22
3.3	Representación de una polarización lineal a 135 grados	23
3.4	Representación de una polarización lineal a 45 grados	23
3.5	Representación de una polarización elíptica	24
3.6	Diagrama de flujo del algoritmo para encontrar la polarización	26
3.7	Diagrama eléctrico del manejador de los motores de pasos	28
3.8	Estado inicial.- polarización lineal vertical	30
3.9	Estado Final.- polarización lineal horizontal	30
3.10	Estado Inicial.- Polarización Lineal a 45°	31
3.11	Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal	31
3.12	Estado Inicial.- Polarización Lineal a 135°	32
3.13	Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal	32
3.14	Estado Inicial.- Polarización Elíptica	33
3.15	Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal	33
3.16	Estado Inicial.- Polarización Elíptica	34
3.17	Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal	34
4.0	Esquema de un motor de pasos	35
4.1	Diagrama de las conexiones serie y paralelo	36
4.2	Vista transversal de un motor de pasos de disco	38
5.0	Panel frontal y diagrama del compilador LabView	42
5.1	Paleta de herramientas	46
5.2	Paleta de control	48
5.3	Paleta de funciones	49
6.0	Primer bloque de código	51
6.1	Segundo bloque de código	52
6.2	Tercer bloque de código	53
6.3	Subprograma para obtener los parámetros de Stokes	54
6.4	Condición de paro	55
6.5	Nodo de interface de código	55
7.0	Conector GPIB	62
7.1	Configuración para la conexión de dispositivos mediante el ducto GPIB	64
8.0	Esfera de Poincare después de la toma de muestras	65
8.1	Diagrama de flujo del sistema para caracterizar un amplificador de semiconductor óptico con respecto a su polarización de entrada	67
8.2	Voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S0	68
8.3	Voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S1	68
8.4	Voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S2	69

8.5	Voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S3	69
-----	---------------------------------------------------------------	----

## **Indice de Tablas**

2.0	Tabla de vectores de Stokes para estados de polarización	19
4.0	Configuración de los bits enviados al motor de pasos	40
4.1	Configuración de los bits para inicializar los motores de pasos	40
8.6	Tabla de resultados significativos	70

## **Introducción**

Debido a las necesidades de transferencia de información en el mundo moderno, las comunicaciones han ido evolucionando para poder cubrir la demanda creciente de velocidad y ancho de banda que requieren los nuevos sistemas como Internet. Esto implica la utilización de frecuencias de transmisión cada vez más elevadas y un mayor número de canales. Una ventaja inherente a la utilización de altas frecuencias es la reducción del tamaño de los componentes utilizados en las mismas, por lo que se cubre la demanda moderna de reducción de espacio físico y portabilidad. Sin embargo, la necesidad de trabajar en frecuencias más elevadas implica el desarrollo de nuevos dispositivos para generar, modular, amplificar y detectar la energía de los datos útiles.

## **Conceptos Importantes**

### **Evolución de los estudios sobre la luz**

Los registros en cuanto al estudio de la luz mencionan a Descartes, quien en 1637 expuso que los cuerpos luminosos esparcen en todas direcciones una elevada cantidad de pequeñísimas partículas de velocidad incalculable que se mueven en línea recta en tanto no encuentren un obstáculo que origine la desviación de su trayectoria. Newton continuaría el trabajo sobre la luz explicando algunos fenómenos como la dispersión y composición de la luz. Grimaldi expuso la hipótesis de la analogía de los fenómenos luminosos con los acústicos, esto es que la luz se difundía por las oscilaciones de un medio elástico, este científico así

mismo había descubierto el fenómeno de la difracción. A partir de esto en 1678, Huygens publicó un documento titulado “Tratado de la luz”, en el que se desarrollaba la teoría del éter en la que se decía que la totalidad del espacio que envuelve a la tierra está ocupado por un medio dotado de cierta elasticidad y en continuo movimiento. Continuaron con estos trabajos Euler y Bernoulli, los cuales expusieron que las oscilaciones de las partículas constituyentes del éter eran pendulares y tenían periodicidad, respecto a la luz, publicaron que la frecuencia de las vibraciones tenía una relación directa con el color. En 1818 Fresnel reafirmó la hipótesis de Huygens de que las oscilaciones tenían efectividad en un medio elástico, pero en sentido transversal, es decir, a lo largo de un rayo de luz las partículas oscilaban en sentido perpendicular al rayo.

### **Evolución de los estudios sobre el láser**

El primer antecedente que se tiene se remonta a 1917 con el físico alemán Albert Einstein quien describe el fenómeno de la emisión estimulada de radiación. En 1954 el físico americano C.H. Townes realiza un oscilador radioeléctrico, que trabaja en el espectro de las microondas, este se le conoce como el maser. En 1959 dos físicos americanos A. Javan y T.H. Maiman realizan los primeros osciladores radioeléctricos que funcionan mediante la emisión estimulada, en el rango de frecuencias en que se ubica el espectro visible. Este dispositivo es mejor conocido como láser.

Con esta nueva tecnología surgió la necesidad de crear un medio de baja atenuación para la transmisión de este tipo de energía (luz coherente) y en

relativamente poco tiempo se pasa de prototipos iniciales de fibra óptica con atenuaciones del orden de 1000 dB/Km a prototipos de 20 dB/Km. En la actualidad existen fibras con atenuaciones de 0.05 dB/Km.

### **El Espectro Electromagnético**

Lo que comúnmente llamamos luz es solo una pequeña parte de la radiación del espectro electromagnético. La naturaleza fundamental de la radiación electromagnética es la misma para la luz, como para otras manifestaciones de energía dentro del espectro. En efecto la luz se caracteriza por un campo eléctrico y un campo magnético oscilando de forma transversal, estos se propagan a la velocidad de la luz en el espacio libre. Entre los principales parámetros relacionados con la luz podemos mencionar la longitud de onda, la energía del fotón, la oscilación de la frecuencia de un campo electromagnético, etc. Cada uno de estos parámetros tiene sus unidades características: la longitud de onda se mide en unidades métricas (m,  $\mu\text{m}$ , nm, etc.), la frecuencia se mide en ciclos por segundo o hertz, la energía de un fotón se mide en electrón volts.

De acuerdo a la siguiente fórmula la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia:

$$\lambda = c/v$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $v$  es la frecuencia óptica de oscilación. Para obtener una respuesta correcta todos los términos deben ser evaluados en las mismas unidades.

## Índice de Refracción

Un parámetro muy importante de determinar en cualquier material transparente es el índice de refracción ( $n$ ). Este nos indica la razón entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio.

$$n = c_{\text{vacío}} / c_{\text{materia}}$$

Debido a que la luz siempre viaja más lentamente en un material que en el vacío, el índice de refracción de los materiales siempre es mayor de 1.0.

En la aproximación de rayos de luz, estos viajan en línea recta a través de un material y la luz se desvía (refracta) al pasar a través de una superficie cuyo índice de refracción cambia. La refracción de la luz depende de los índices de refracción del material que compone el núcleo de la fibra y del ángulo en el cual la luz incide en la superficie del plano que separa los dos medios. Los ángulos de incidencia y de refracción son medidos a partir de una línea normal a la superficie. La relación entre los dos índices de refracción es conocida como la ley de Snell, la cual está definida por la ecuación:

$$n_i \sin I = n_t \sin R$$

donde  $n_i$  es el índice de refracción del medio inicial

$n_t$  es el índice de refracción del medio hacia el cual la luz se refracta

$R$  es el ángulo de incidencia

$I$  es el ángulo de refracción

La ley de Snell nos indica que la refracción no puede darse cuando el ángulo de incidencia es muy grande.

Otra característica importante de la materia es la reflexión. Esta se define como el cambio de dirección en un rayo de luz. Este fenómeno se da cuando un rayo incide en la superficie de la materia y no la penetra totalmente. La parte del rayo que penetra es absorbida como energía térmica o refractada dentro del material.

Con relación a una fibra óptica, la cual está formada por un núcleo recubierto por un revestimiento de índice de refracción menor, la luz no puede salir del núcleo si el ángulo de incidencia, de los rayos de luz reflejados, no exceden el valor llamado el denominado ángulo crítico. La luz en lugar de salir del medio se reflejara hacia dentro, en este caso se cumple que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Es esta reflexión total interna la que mantiene la luz confinada dentro de una fibra óptica.

El ángulo crítico en el cual la reflexión total interna se realiza  $\theta_c$ , puede ser deducido de la ley de Snell

$$\theta_c = \arcsen(n_2/n_1)$$

La diferencia entre los índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento no necesitan ser grandes. En la practica es solo del 1%, este valor es suficiente para permitir la conducción de la luz en fibras.

El seno del ángulo máximo ( $\phi_{max}$ ) en el cual se introduce la luz dentro de la fibra, para tener reflexión interna total, normalmente se conoce como la apertura numérica (NA):

$$NA = (n_0^2 - n_1^2)^{1/2}$$

donde  $n_0$  es el índice de refracción del núcleo y  $n_1$  es el índice del revestimiento

## **Fuentes Luminosas y Dimensiones de la Fibra**

Como ya hemos visto, las fibras solo pueden aceptar luz en un ángulo limitado y esto representa un gran problema debido a que las fibras son muy pequeñas. Las fibras más comunes utilizadas en comunicaciones son de 0.25-0.5 mm de diámetro, pero ésta medida incluye un recubrimiento plástico que protege la fibra de daños mecánicos. El recubrimiento normalmente es de  $125\mu\text{m}$  y el núcleo es de 8 a  $62.5\mu\text{m}$  para una fibra monomodo y una multimodo respectivamente. Una recolección eficiente de la luz requiere una fuente luminosa que emita un haz de luz de un tamaño similar al del núcleo. Para núcleos pequeños lo mejor es un diodo láser, para tamaños mayores de núcleo un LED trabajará bien.

## **Transmisión y Atenuación**

La transmisión de luz mediante fibra óptica no es 100% eficiente, la atenuación de la señal se debe a la absorción de algunos materiales, al esparcimiento de la luz hacia fuera del núcleo de la fibra, y a las pérdidas debido a factores del medio. El grado de atenuación depende de la longitud de onda transmitida, por lo que este factor es importante en el diseño del sistema.

La atenuación es una medida de la reducción de la intensidad de la señal, al comparar la potencia de la señal de salida con la potencia de la señal de entrada.

Las mediciones se hacen en decibeles (dB).

Cada fibra tiene una atenuación o pérdida característica por unidad de longitud, normalmente decibelios por kilómetro. Las pérdidas en fibras de silicato cerca del infrarrojo son mucho menores que en las de otros medios con una capacidad

comparable de transmisión. Por ejemplo para una longitud de onda de 1550nm, la atenuación típica es de 0.25 dB/km lo que significa que el 1% de la luz permanece después de 80 km. Esto permite que una señal viaje a través de 50 a 100 km de fibra sin amplificación. En contraste los cables coaxiales de metal, con una capacidad de información comparable, requerirían docenas de amplificadores para asegurar una transmisión en tal distancia. Esta representa una gran ventaja debido a que la fibra combina pocas pérdidas con un gran ancho de banda.

### **Capacidad de Información**

En los sistemas en los cuales se transmite información en forma digital, la capacidad de transmisión se mide en bits por segundo, en sistemas analógicos ésta capacidad se mide en Hertz.

Una gran ventaja de la fibra óptica es la relacionada al manejo de la frecuencia de modulación de la señal. En efecto en un cable coaxial la atenuación aumenta al incrementar la frecuencia de modulación. En el caso de la fibra óptica las pérdidas son independientes de ésta frecuencia.

Sin embargo los rayos de la señal de entrada pueden introducirse dentro de la fibra en muchos ángulos diferentes respecto al eje longitudinal. Un rayo que se refleja en el núcleo muchas veces viajará una distancia considerablemente mayor que uno que entre directamente en el centro. Este fenómeno es llamado dispersión espacial y se da debido al retardo que se genera por los diferentes ángulos de aceptación con los que los rayos de luz entran dentro de la fibra pudiendo existir interferencia entre ellos. Evidentemente si ciertas componentes de la luz viajan más rápido que otras,

esto ensancha temporalmente los símbolos de la señal transmitida, pudiendo producir un traslape entre ellos. Por lo que esto es un factor que limita la velocidad de la transmisión de datos.

### **Dispersión y Distancia**

Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, la dispersión de la luz (dispersión de pulso) se incrementa linealmente con la distancia recorrida. La dispersión típica para una fibra multimodo se mide en nanosegundos, por kilómetro de fibra. Esto puede ser convertido en un límite de ancho de banda analógico o en una razón de datos máxima para transmisiones digitales. Ambos el ancho de banda y la razón de transmisión representan el inverso de la dispersión de pulso, por lo que la capacidad de transmisión se decrementa al aumentar la longitud de la fibra.

### **Fuentes Luminosas**

Los sistemas de comunicaciones que utilizan fibras ópticas requieren fuentes luminosas para generar las señales que se transmitirán. Generalmente las fuentes son diodos semiconductores láser, o LED's. En el caso de algunos sistemas poco costosos y de corta distancia, se puede utilizar LED's que emitan infrarrojo o luz visible, mas sin embargo la mayoría de los sistemas transmiten en el infrarrojo. Los láser y/o LED's utilizados son de aluminio arseniuro de galio (AlGaAs) y arseniuro de galio (GaAs) los cuales emiten a una frecuencia entre 750 y 900 nm. Estas fuentes eran muy utilizadas por los primeros sistemas de fibras ópticas. Sin embargo hoy en día la mayoría de los sistemas que operan a grandes distancias

transmiten a 1550 nm, donde la pérdida es de 0.35-0.05 dB/km y donde la dispersión por pulso es muy pequeña; estos láseres o LED's están compuestos de indio arseniuro de galio fósforo (InGaAsP). Debido a la complejidad en la fabricación de estos elementos, su costo es elevado.

### **Modulación**

Una ventaja importante de los láser de semiconductor y los LED's es que pueden ser modulados directamente fluctuando su corriente de inyección. La señal es entonces colocada en la corriente, por lo que la salida de la luz varía en forma proporcional a la señal. Si la modulación de la corriente se realiza con una señal digital, se producirán pulsos luminosos. Una desventaja es que la modulación directa con un fuerte índice de modulación puede inducir cierta distorsión en señales analógicas, esta es una de las razones por las que se prefiere la modulación digital, en donde este problema no es crítico.

### **Detección**

El elemento final de un sistema de comunicaciones ópticas es el receptor, el cual detecta la señal óptica y la convierte en pulsos eléctricos para su procesamiento. Un receptor típico consiste de un fotodetector de semiconductor y de un amplificador.

La eficiencia del receptor depende de su sensibilidad y del nivel de la señal de entrada. La sensibilidad depende de las condiciones de operación, el diseño del detector y la respuesta del material utilizado a diferentes longitudes de onda.

## **Amplificadores, Repetidores y Regeneradores**

A pesar de que la fibra óptica puede transportar señales a grandes distancias debido a sus pocas pérdidas, la señal eventualmente se atenúa a un nivel en que es imposible su detección si no es amplificada. Para superar este problema se pueden utilizar , regeneradores (o repetidores electro-ópticos) y amplificadores ópticos.

Los repetidores electro-ópticos combinan un receptor y un transmisor. El receptor detecta la señal óptica y la convierte en una señal eléctrica. La señal eléctrica es entonces amplificada y procesada para activar un transmisor que produce una señal óptica la cual viaja a través del siguiente tramo de fibra. El procesamiento electrónico puede regenerarla, reduciendo el ruido y ajustando la temporización de los pulsos.

Aunque los repetidores pueden extender las distancias de transmisión, son costosos, complejos y propensos a fallas. Una alternativa mucho más simple para los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas es el uso de amplificadores ópticos, los cuales directamente amplifican la señal óptica sin convertirla a señal eléctrica. Estos amplificadores no regeneran la señal (amplifican el ruido junto con la señal) pero debido a que son simples y baratos, pueden colocarse con un espaciamiento menor que el requerido para un regenerador. De ésta manera la amplificación de la señal se realiza con un ruido menor, lo que permite realizar transmisiones sobre cientos kilómetros.

## **Consideraciones del Sistema**

El diseño de los sistemas depende principalmente de su aplicación específica. Para comunicaciones de larga distancia, los factores cruciales son la maximización de la velocidad y distancia de transmisión y la minimización de las pérdidas en la fibra y los empalmes. En contraste, las pérdidas en los conectores es un factor muy importante en redes de área local, debido a que existen muchas terminales separadas, en lugar de solamente las dos requeridas para una comunicación punto a punto.

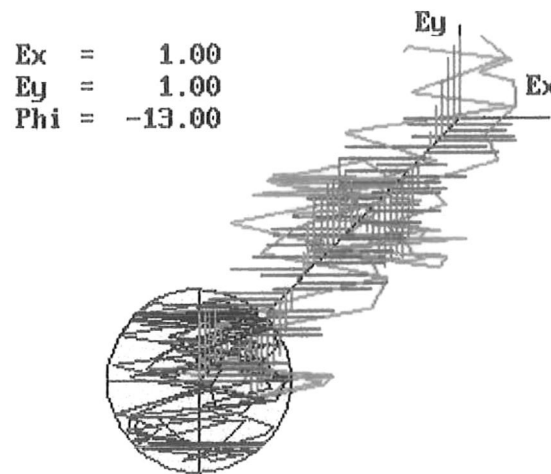
## **Modos de la Fibra**

El término multimodo indica que la luz puede viajar de muchas maneras dentro de una fibra. Un modo es un estado de propagación estable dentro de una fibra óptica, donde el campo eléctrico de la luz se distribuye transversalmente en una forma específica. En una fibra monomodo, como su nombre indica, existe un solo modo de propagación a diferencia de una fibra multimodo, en la que el campo eléctrico se puede distribuir de diferentes formas y cada una de ellas es un modo de propagación. El campo electromagnético en las ondas luminosas se refuerzan unas a otras hasta formar una distribución de campo.

## Polarización

### Definición del concepto de polarización

La luz polarizada es aquella cuyo vector de campo eléctrico tiene un patrón definido de propagación. Este vector se compone de dos componentes perpendiculares  $E_y$  y  $E_x$ .



**Elipse de Polarización**

Fig. 2.0 Onda de luz no polarizada.

### Tipos de Polarización

En una onda de luz no polarizada (el grado de polarización DOP, es igual a 0%); las componentes del campo eléctrico presentan una magnitud y una relación de fase entre ellas completamente aleatorias (Fig. 2.0).

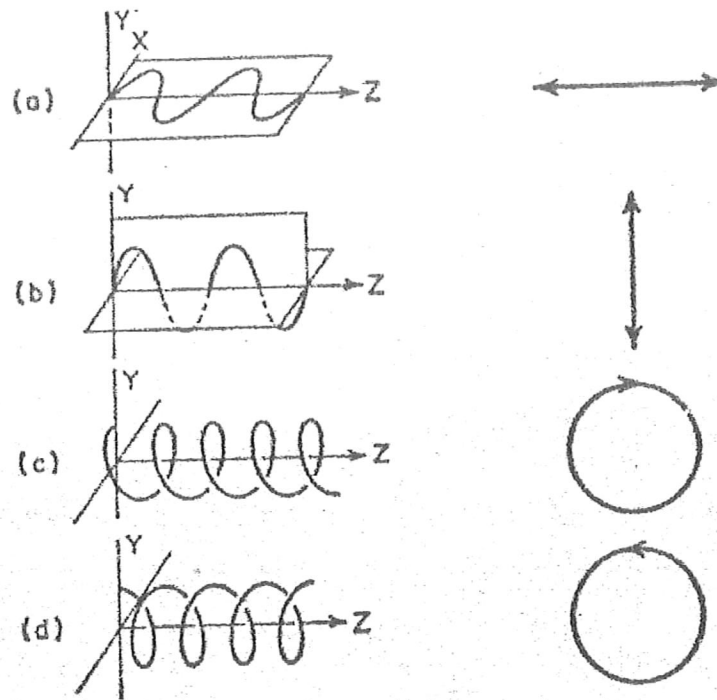
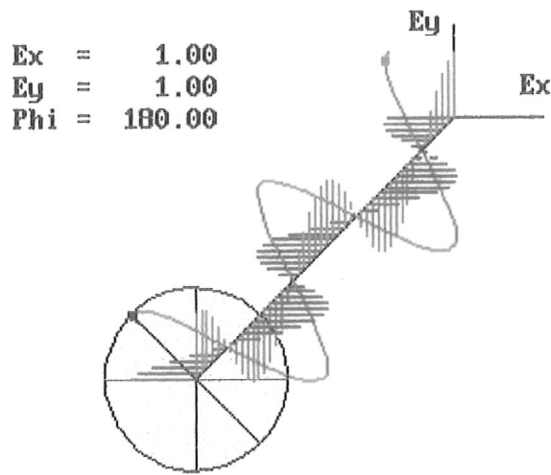


Fig. 2.1 Tipos de polarización.

La gráfica a la izquierda representa la vista transversal del vector de campo eléctrico. La gráfica a la derecha representa la vista frontal del mismo vector.

Cuando la luz viaja sobre el eje Z, y las oscilaciones del campo eléctrico son horizontales, se dice que está lineal y horizontalmente polarizada (ver fig. 2.1 (a)).

Cuando las vibraciones transversales del campo eléctrico son verticales se dice que la luz está polarizada lineal y verticalmente (ver fig. 2.1 (b)).

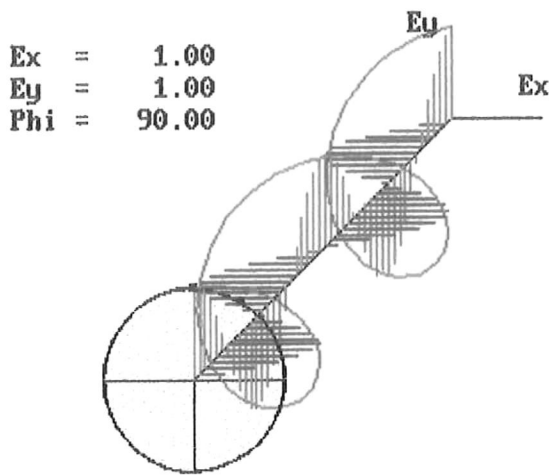


**Polarización Lineal**  
 Angulo de Fase entre  $E_x$  y  $E_y$ ,  
 $\text{Phi}, = 0 \text{ o } 180)$

**Elipse de Polarización**

Fig. 2.2 Ejemplo de luz polarizada linealmente.  $E_x$  y  $E_y$  son los componentes del campo eléctrico.  $\text{Phi}$  es la relación de fase entre ellos.

Para algunos haces la vista transversal de la propagación del vector del campo eléctrico es una espiral y la vista frontal es un círculo; tales haces se dice que tienen una polarización circular (Fig. 2.3).



**Polarización Circular**  
 Angulo de fase entre  $E_x$  y  $E_y$   
 $\text{Phi} = 90 \text{ o } -90$

**Elipse de Polarización**

Fig. 2.3 Ejemplo de luz polarizada circularmente.

Fig. 2.3  $E_x$  y  $E_y$  son los componentes del campo eléctrico.  $\Phi$  es la relación de fase entre ellos.

Existen dos posibilidades en este caso: la espiral puede ser de tipo mano derecha (la misma

dirección en que giraríamos un tornillo) o de tipo mano izquierda. La luz que tiene un campo eléctrico con patrón helicoidal de mano derecha se le llama luz polarizada circular derecha; mas convenientemente está representada como un círculo trazado en sentido de las manecillas del reloj (ver fig. 2.1 (e)), el caso contrario se denomina luz polarizada circular izquierda (ver fig. 2.1 (d)).

Algunos haces tienen un campo eléctrico con patrón de propagación cuya vista transversal se asemeja a una hélice y su vista frontal con respecto al eje Z tiene la forma de una elipse. A este tipo de haces se les llama polarizados elípticamente.

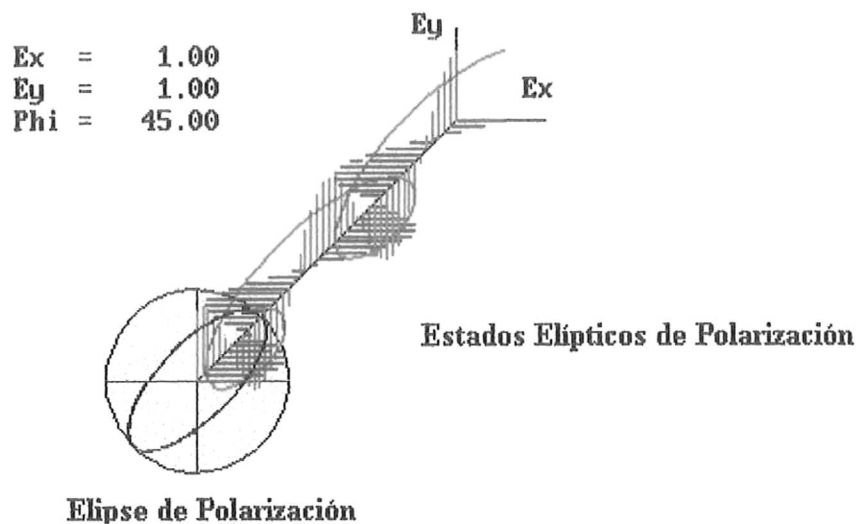


Fig. 2.4 Ejemplo de luz polarizada elípticamente.  $E_x$  y  $E_y$  son los componentes del campo eléctrico.  $\Phi$  es la relación de fase entre ellos.

También este patrón de polarización puede ser de mano derecha o de mano izquierda.

Tanto la luz lineal como la circular se puede considerar casos específicos de luz elípticamente polarizada.

### **Polarizadores**

Un aparato óptico cuya entrada le hace incidir luz que contiene todas las polarizaciones posibles (luz natural) y cuya salida proporciona alguna forma de luz polarizada se conoce como polarizador. Un instrumento que separa las dos componentes del campo eléctrico, descartando una y dejando pasar la otra, se conoce como polarizador lineal. Dependiendo de la polarización de salida se puede también tener polarizadores circulares o elípticos; todos estos sistemas varían en efectividad hasta lo que podríamos llamar polarizadores parciales o con fugas.

### **Parámetros de Stokes**

La representación moderna de la luz polarizada tuvo sus orígenes en 1852 en el trabajo de G.G. Stokes.

El estado de polarización para una onda de luz cuasimonocromática con un campo eléctrico oscilando en la dirección transversa a la de su propagación puede ser representada por un conjunto de cuatro cantidades reales llamadas parámetros de Stokes. El estado de polarización se puede describir en términos de estas cantidades.

En términos de las componentes cartesianas del campo eléctrico transversal, los cuatro parámetros de Stokes denotados por  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  están definidos como sigue:

$$S_0 = \langle |E_x|^2(t) \rangle + \langle |E_y|^2(t) \rangle$$

$$S_1 = \langle |E_x|^2(t) \rangle - \langle |E_y|^2(t) \rangle$$

$$S_2 = 2 \langle |E_x|(t)|E_y|(t) \cos[\delta_y(t) - \delta_x(t)] \rangle$$

$$S_3 = 2 \langle |E_x|(t)|E_y|(t) \sin[\delta_y(t) - \delta_x(t)] \rangle$$

Donde  $\delta_x$  y  $\delta_y$  son las fases de los componentes del campo eléctrico.

En las ecuaciones anteriores los corchetes  $\langle \rangle$ , representan promedio infinito en el tiempo.

Observando los parámetros de Stokes, se evidencia que el parámetro  $S_0$  indica la intensidad total de la onda de luz y por lo tanto siempre es positiva. El parámetro  $S_1$  representa la diferencia entre las intensidades de los componentes  $x$  y  $y$  las cuales pueden ser tanto positiva, negativa o cero dependiendo si la onda tiene una tendencia a la polarización lineal en  $x$ , a la polarización lineal en  $y$  o ninguno de los dos estados respectivamente. El parámetro  $S_2$  representa la tendencia de la onda tanto a una componente de  $\pm 1/4\pi$  linealmente polarizada. Si el parámetro  $S_2$  es positivo ( ó negativo), la onda tiene una fuerte tendencia a la polarización lineal de  $\pm 1/4\pi$ . Si  $S_2$  es cero, la onda no tiene tendencia sobre ninguna de esas dos polarizaciones. El parámetro  $S_3$  representa la tendencia de la onda tanto a un

componente polarizado en forma circular hacia la derecha o hacia la izquierda. El parámetro  $S_3$  será positivo, negativo ó cero dependiendo de la tendencia de la onda a un estado circular a la derecha, un estado circular a la izquierda ó a ninguno de esos dos, respectivamente.

Para luz completamente polarizada tenemos que

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$$

Estos parámetros arreglados en forma de vector columna quedan como sigue:

$$S = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix}$$

Es conveniente normalizar los parámetros de Stokes dividiendo cada uno por el valor de  $S_0$ . El juego de parámetros  $(S_0, S_1, S_2, S_3)$  para luz natural en la representación normalizada es entonces  $(1,0,0,0)$ . Si la luz está polarizada horizontalmente no tiene componente vertical ( $E_y = 0$ ) y los parámetros normalizados son  $(1,1,0,0)$ . Para luz polarizada verticalmente tenemos que  $E_x = 0$  por lo que  $(1,-1,0,0)$ .

En la tabla 2.1 se describen los estados de polarización más comunes y su representación correspondiente en forma de vector columna.

Estado de polarización	
Estado lineal horizontal	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Estado lineal vertical	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Estado lineal a $+45^\circ$	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
Estado lineal a $-45^\circ$	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$
Estado Circular Derecha	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$
Estado Circular Izquierdo	$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$

Tabla 2.1 Vectores de Stokes para Estados de Polarización

## **Descripción del Sistema de Control Automático de Polarización**

El objetivo de ese trabajo es obtener un control preciso de los estados de polarización de la luz, dentro de una fibra óptica.

Este control se logra mediante un compensador de Lefevre que en este caso está constituido de una estructura mecánica a la cual se le han incluido tres motores de pasos por cada compensador.

La interface con el usuario se logra mediante un programa de software. Una vez fijada la polarización de entrada, este software es el encargado de controlar el movimiento de los motores de pasos.

Un analizador de polarización es en efecto, el punto de referencia para el sistema. Proporciona los parámetros de Stokes, los cuales son la base para determinar los estados de polarización.

El analizador de polarización, envía los datos referentes a los parámetros de Stokes al manejador de software, mediante el ducto GPIB.

### **Compensadores**

El compensador de Lefevre, se basa en tres bobinas de fibra monomodo (Fig. 3.0).

Las bobinas doblan la fibra, esto genera una birrefringencia circular, esto es, se forma un eje rápido y otro lento, con respecto a los ejes iniciales debido al cambio en la densidad del material que forma al núcleo de la fibra.

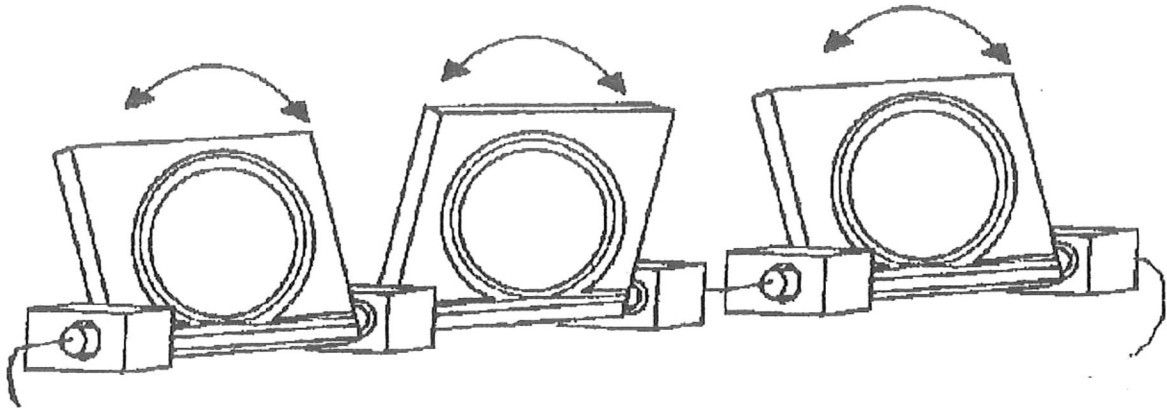


Fig. 3.0 Compensador de Lefevre, la fibra óptica se enrolla formando una bobina.

Este cambio en el índice de refracción genera un cambio en los ejes, en el plano que es perpendicular al plano de la bobina.

Las uniones entre los compensadores de Lefevre, aplican una torsión en la fibra. Esta torsión genera una rotación en los ejes del campo eléctrico (Fig. 3.1) y por lo tanto un cambio en los estados de polarización medidos a la salida de la fibra.

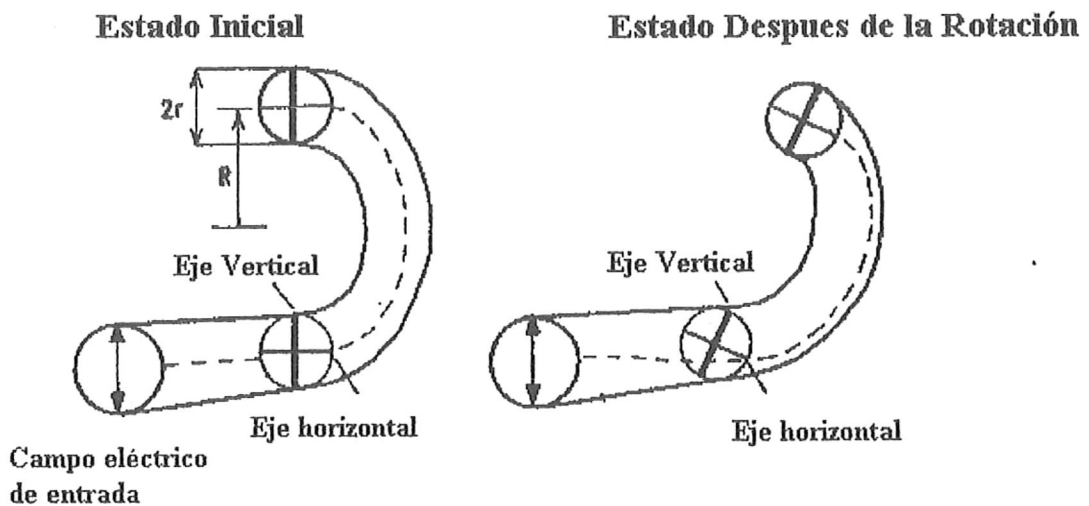


Fig.3.1 Comparación de la fibra en su estado inicial y después de haber sido rotada.

La combinación de estos dos efectos descritos, produce un cambio en la polarización total medida a la salida de la fibra.

Si se desea la conversión de una polarización arbitraria, a una polarización de salida definida, entonces una combinación de tres bobinas es recomendable.

El defasamiento de la onda luminosa se puede definir mediante el número de vueltas con el que se forman las bobinas.

Para obtener todas las polarizaciones posibles, las bobinas deberán de colocarse en el orden siguiente: defasamiento de cuarto de onda, media onda y cuarto de onda.

La primer bobina convertirá cualquier estado a una polarización lineal, la segunda bobina la rotará y la tercera lo convertirá al estado deseado. Se puede lograr resultados similares con dos bobinas de cuarto de onda.

Por ejemplo, supongamos el caso de una polarización arbitraria, de forma elíptica (Fig.3.2); en la cual los estados de polarización se obtienen mediante un compensador de Lefevre, cuyas bobinas son manipuladas mediante motores de pasos.

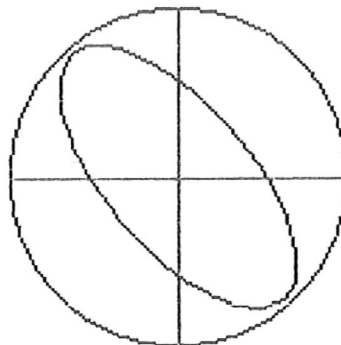


Fig. 3.2 Representación de una polarización elíptica

Para lograr una polarización lineal a 45 grados, en este caso la primera placa transformará el estado anterior, a una polarización lineal (Fig. 3.3)

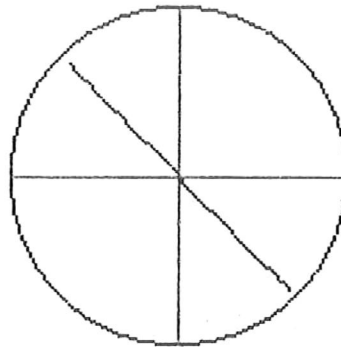


Fig. 3.3 Representación de una polarización Lineal a 135 grados.

La segunda placa rotará la polarización manteniéndola lineal(Fig.3.4)

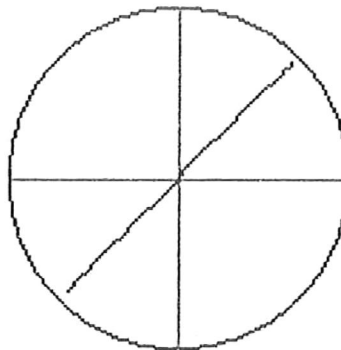


Fig. 3.4 Representación de una figura lineal a 45 grados.

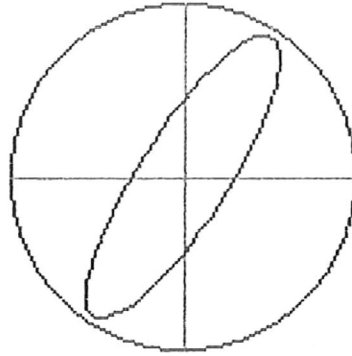


Fig.3.5 Representación de una polarización elíptica.

La placa tercera ajustará la polarización hasta conseguir el estado final deseado (Fig 3.5)

## Manejador de Software

Un manejador de software es la manera mas sencilla y eficaz de proporcionar una interface entre el sistema y el usuario, de una manera intuitiva y sencilla.

El manejador de software está realizado con el compilador Lab View, el cual presenta un modo gráfico de programación en lenguaje G, la interface con el usuario presenta un recuadro de opciones, en el que se puede seleccionar la polarización que se desea obtener a la salida de la fibra, entre seis opciones diferentes: lineal horizontal, lineal vertical, a 45° y a 135°, circular derecha e izquierda.

El algoritmo del programa (Fig. 3.6) consiste en la búsqueda de los parámetros de Stokes, obtenidos del Analizador de Polarización conectado a la salida de la fibra, correspondientes a la polarización deseada, el manejador mueve los motores hasta que los valores obtenidos coincidan con los deseados, se realizan tantas iteraciones como necesite el algoritmo para llegar al valor deseado.

La salida de los datos, que habilita el movimiento de los motores, se envía al puerto paralelo y se logra mediante un programa realizado en Watcom C y ligado a Lab View por medio de una opción denominada Nodo de Interface de Código (CIN por sus siglas en ingles).

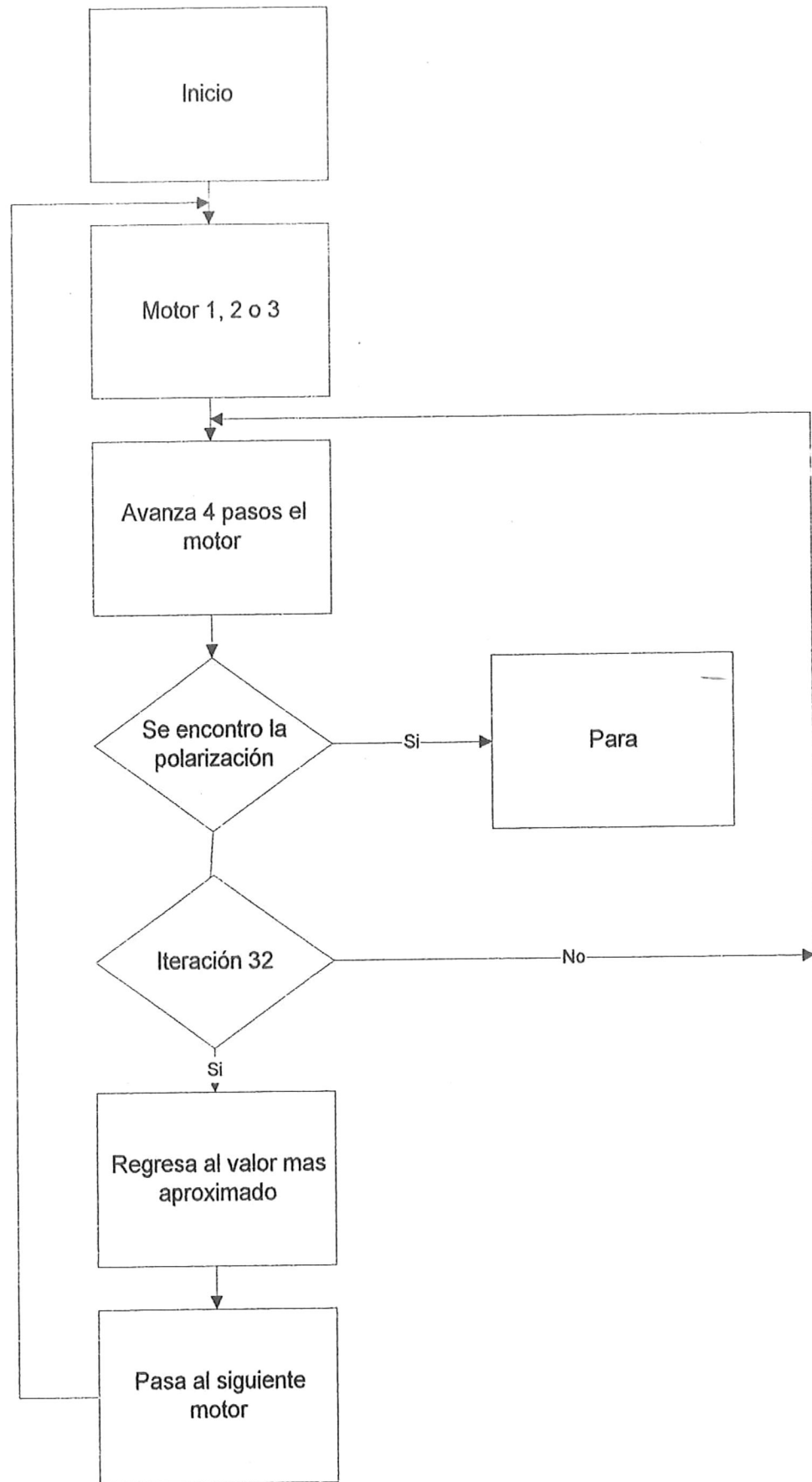


Fig. 3.6 Diagrama de flujo del algoritmo para encontrar la polarización.

## **Interface de hardware**

La interface entre la estructura móvil y el usuario se realiza mediante una Computadora Personal, el manejador de software se encarga de enviar datos al puerto paralelo, de acuerdo con la polarización seleccionada.

El puerto se aísla mediante un cerrojo (74LS373), el cual se activa con niveles lógicos. La función de este dispositivo es obtener el dato proveniente del puerto paralelo y retenerlo a la salida, esta salida esta conectada a los hilos del motor de pasos. La alimentación de este cerrojo es de 5.5 Vdc, la cual es la máxima permitida por el 74LS373.

Los cerrojos son de extrema importancia en el diseño del sistema, ya que además de brindar protección a nuestra PC, nos permiten utilizar de manera más conveniente los bits asignados para el control entre los tres motores utilizados.

Los cerrojos alimentan un arreglo de transistores, uno por cada hilo del motor (Fig. 3.7). Estos transistores son los encargados de proporcionar la corriente que necesitan los motores para mover los compensadores de Lefevre y cumplen la función de aislar la etapa anterior a ellos.

El movimiento de las placas se logra al integrar a la estructura un motor de paso por cada placa, a las cuales se les hacen llegar los bits mediante el arreglo de transistores previamente habilitados.

Se utilizan motores de pasos por su bajo costo, compatibilidad con la lógica binaria, fácil adaptación a la estructura móvil y su bajo consumo de corriente.

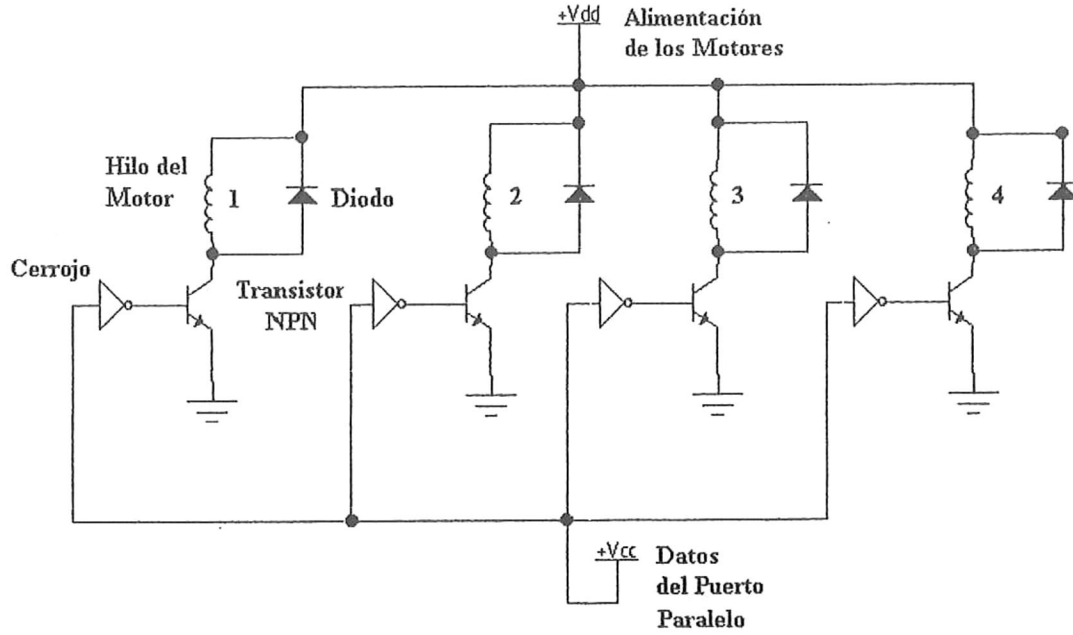


Fig. 3.7 Diagrama Eléctrico del manejador de los motores de pasos

## Resultados

El sistema de control automático de polarización se probó iniciando con una polarización definida de entrada y obteniendo una polarización lineal horizontal a la salida.

Una condición necesaria para que el sistema funcione correctamente es que la polarización de entrada no varíe mientras el sistema no encuentre la polarización seleccionada

Las cinco polarizaciones típicas que se muestran en las gráficas de estado inicial son: lineal vertical, lineal a  $45^\circ$ , lineal a  $135^\circ$ , elíptica derecha y elíptica izquierda. En las gráficas de estado final, se puede visualizar en la esfera de Poincare el recorrido efectuado a través de los diversos estados de polarización, hasta llegar al deseado, en ambas gráficas se puede ver los parámetros de Stokes.

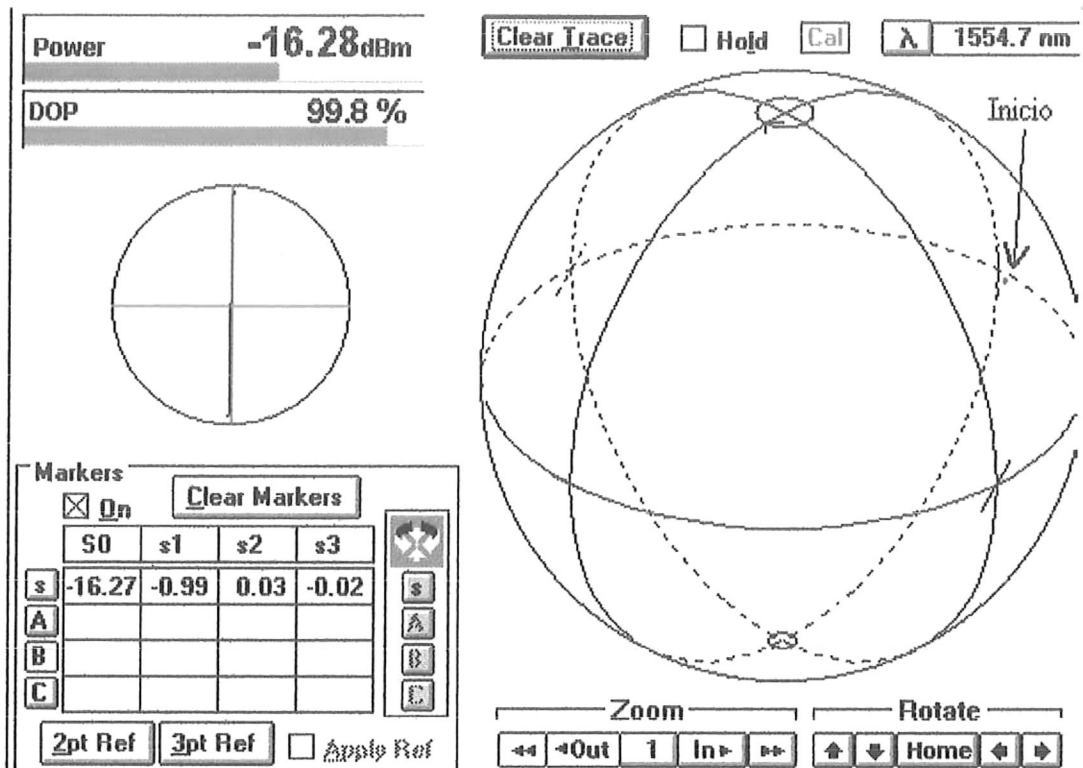


Fig 3.8 Estado Inicial.- Polarización Lineal Vertical

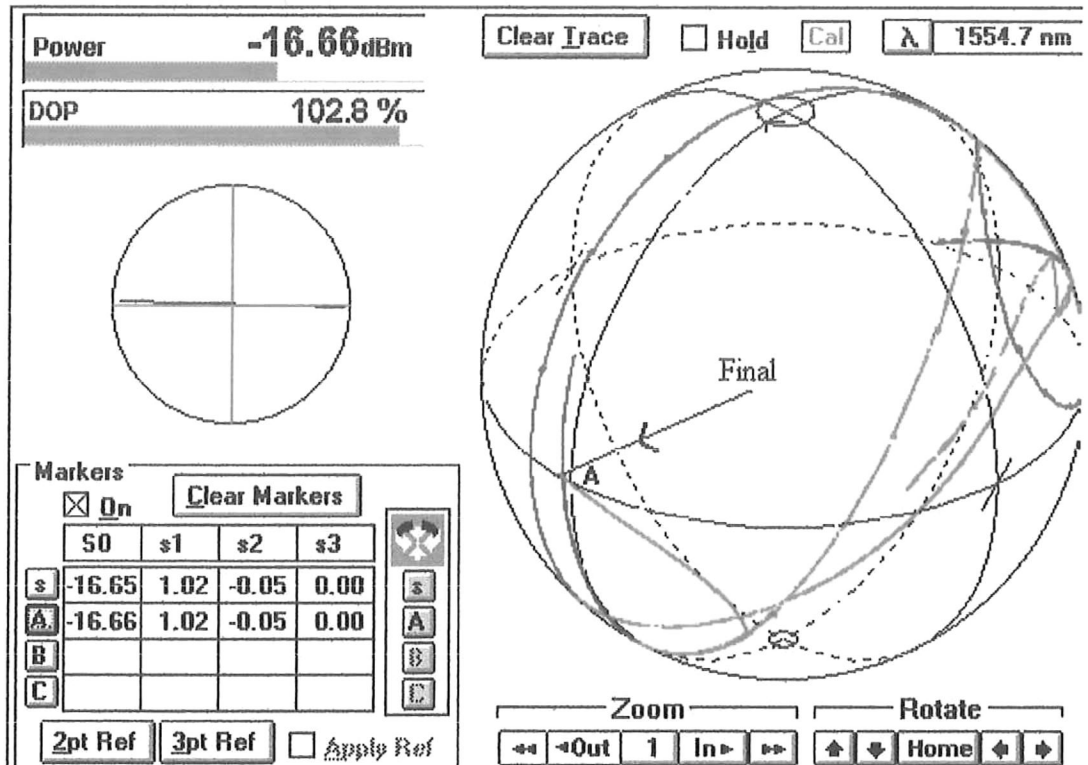


Fig 3.9 Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal

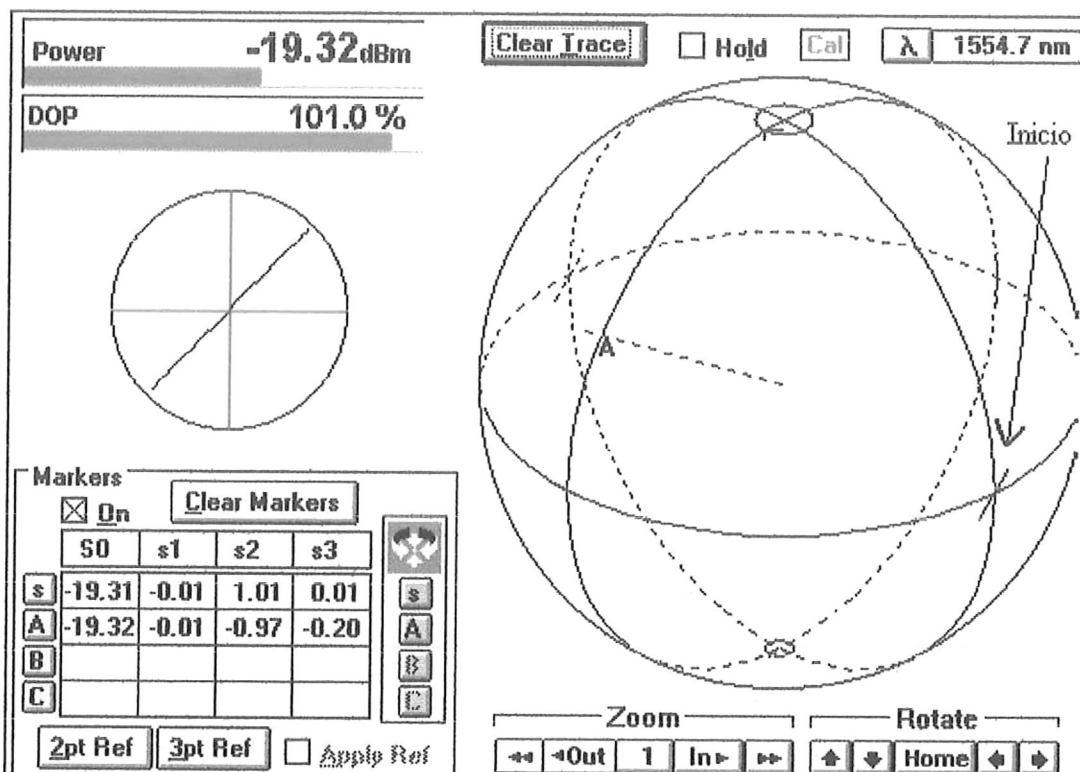


Fig 3.10 Estado Inicial.- Polarización Lineal a 45°

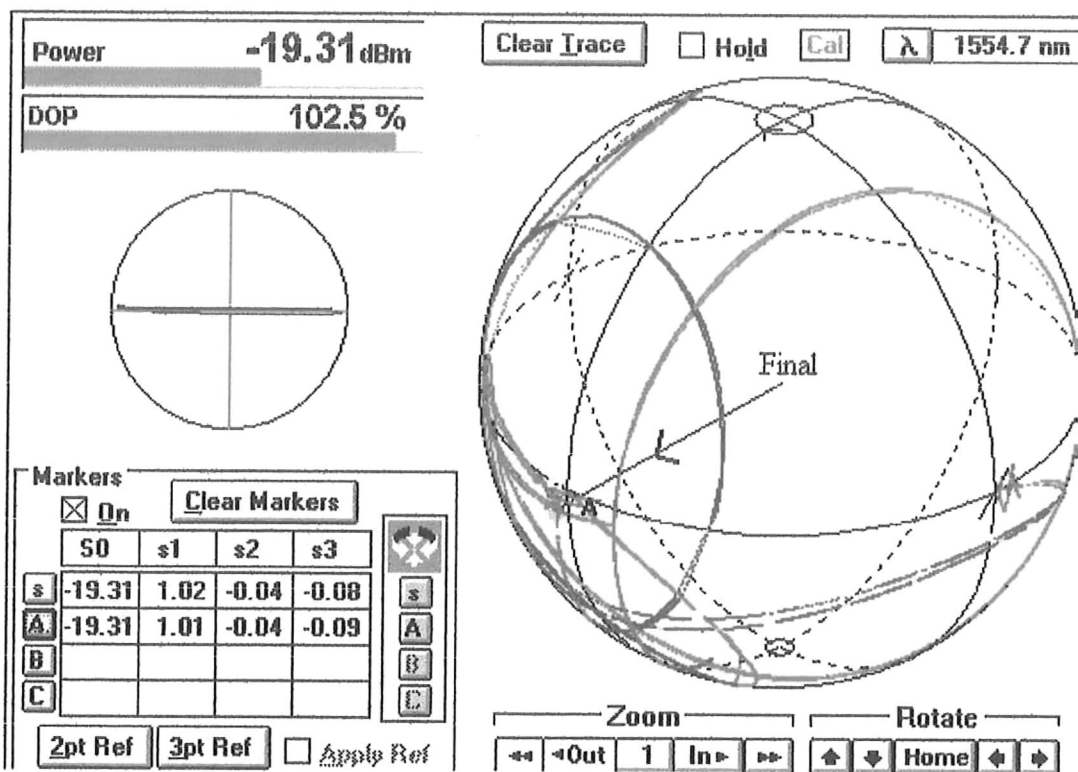


Fig 3.11 Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal

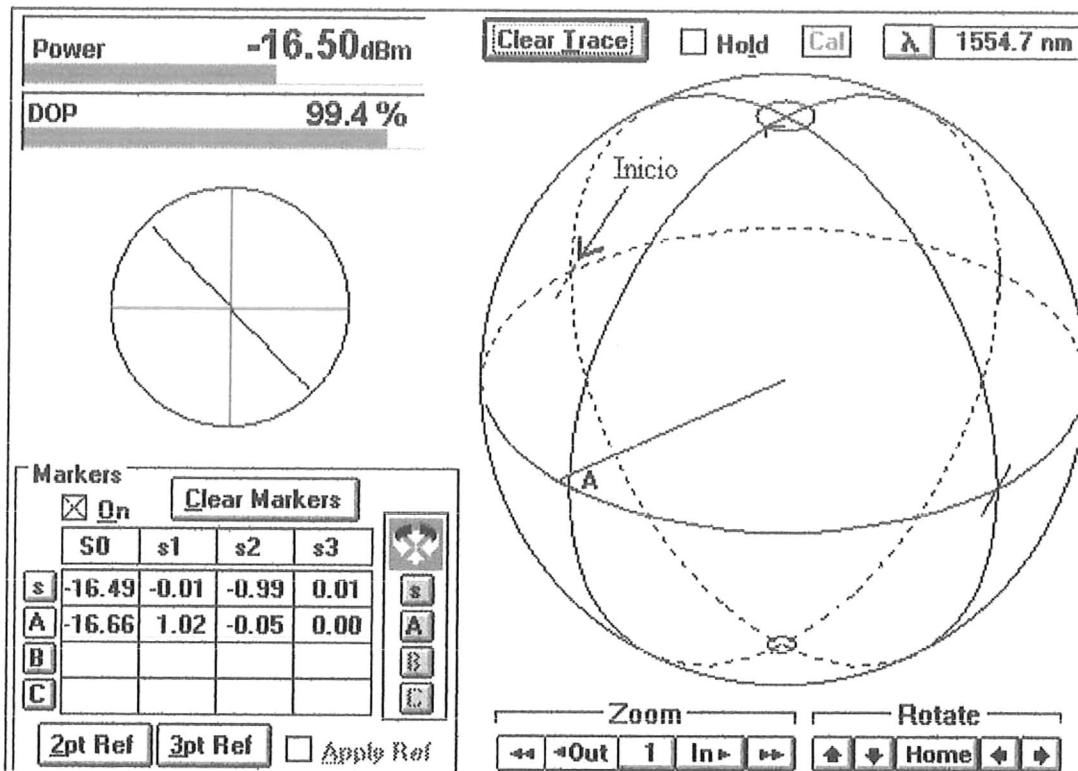


Fig. 3.12 Estado Inicial.- Polarización Lineal a 135°

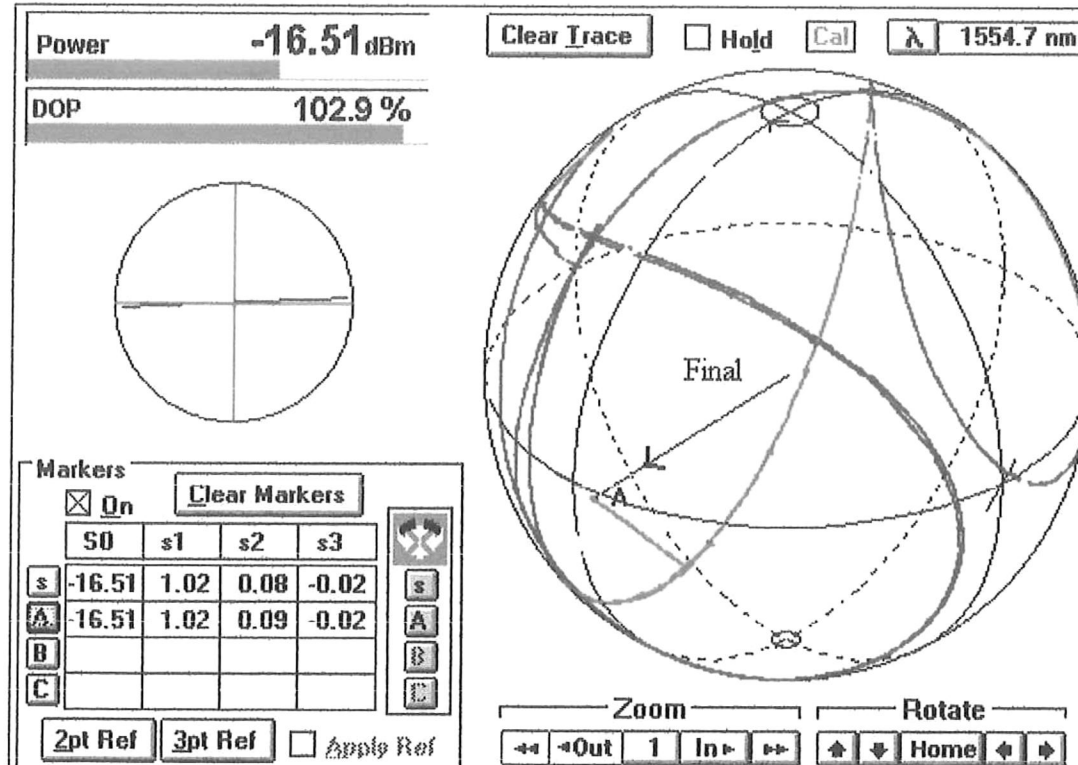


Fig. 3.13 Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal

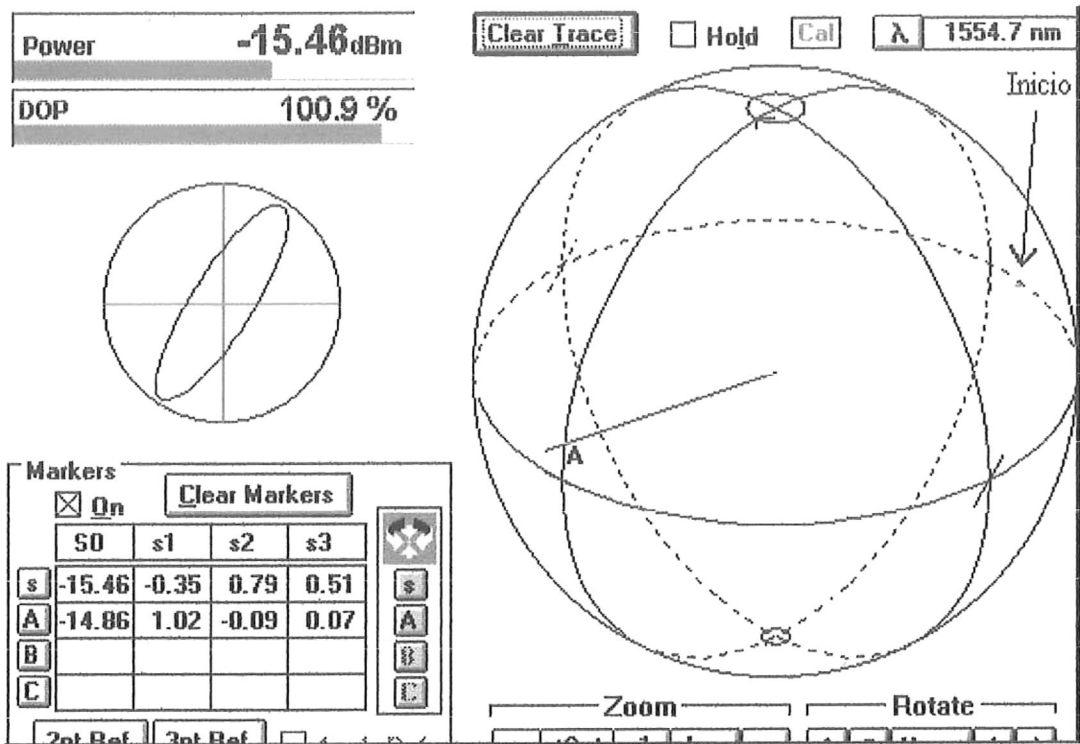


Fig. 3.14 Estado Inicial.- Polarización Elíptica

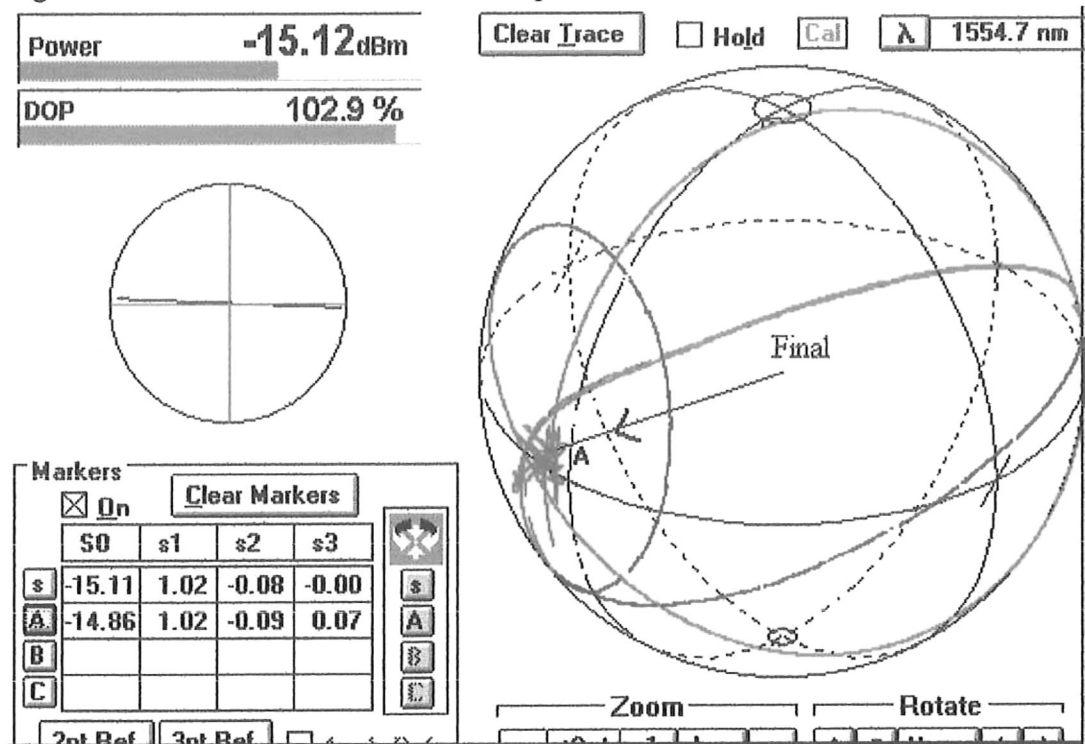


Fig 3.15 Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal

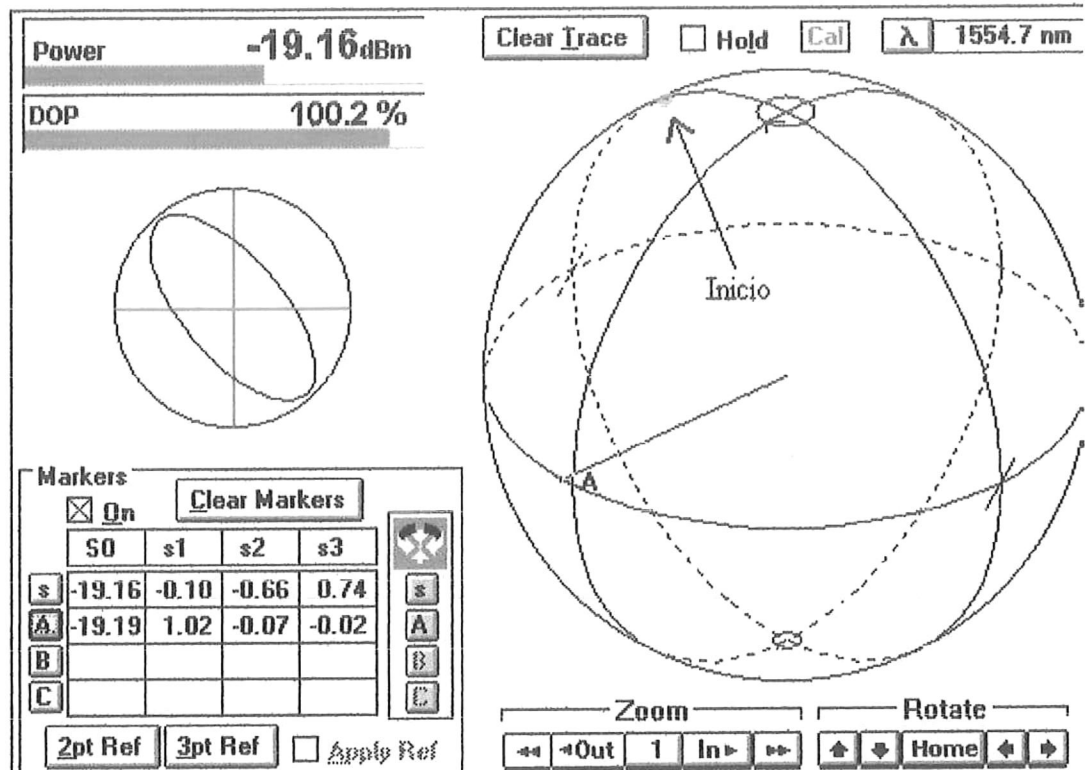


Fig 3.16 Estado Inicial.- Polarización Elíptica

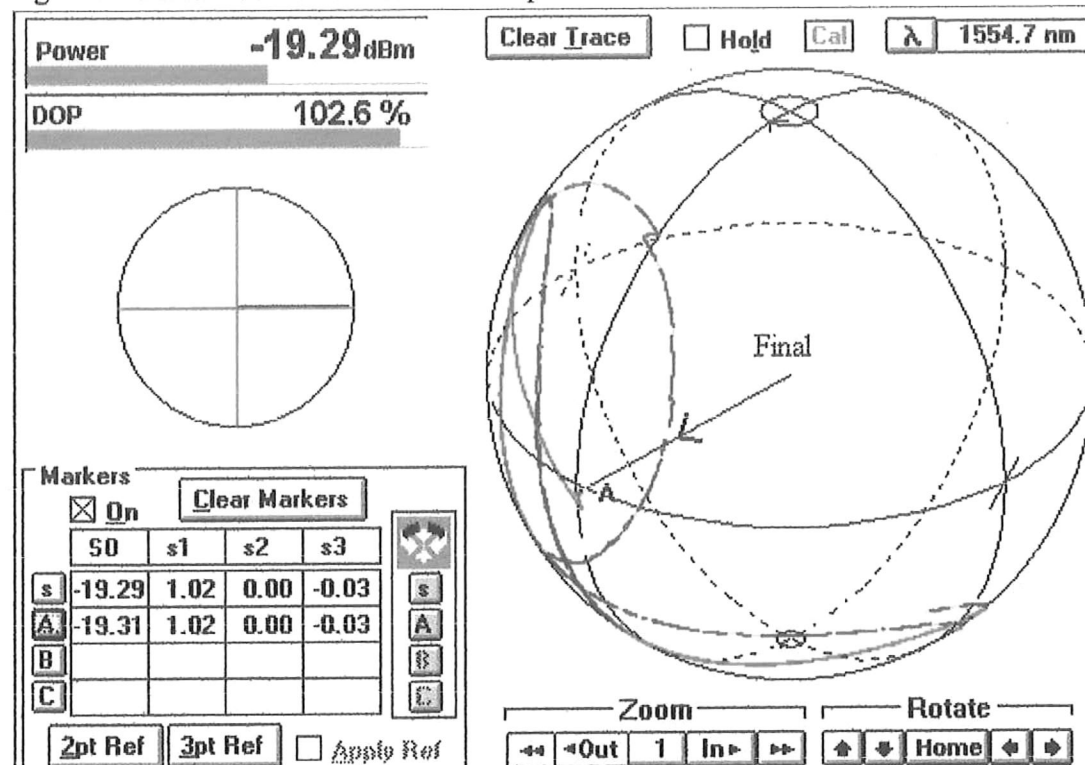


Fig 3.17 Estado Final.- Polarización Lineal Horizontal

## Apéndices

### Motores de Pasos

Los motores de pasos son dispositivos digitales que convierten pulsos eléctricos en movimiento mecánico. Cada revolución del eje del motor, se realiza en una serie de pasos discretos e idénticos.

Una versión sencilla de estos motores consiste en un centro de cobaltosamarario montado en un eje libre para rotar entre un par de polos, los cuales se pueden identificar como la fase A y fase B (Fig. 4.0).

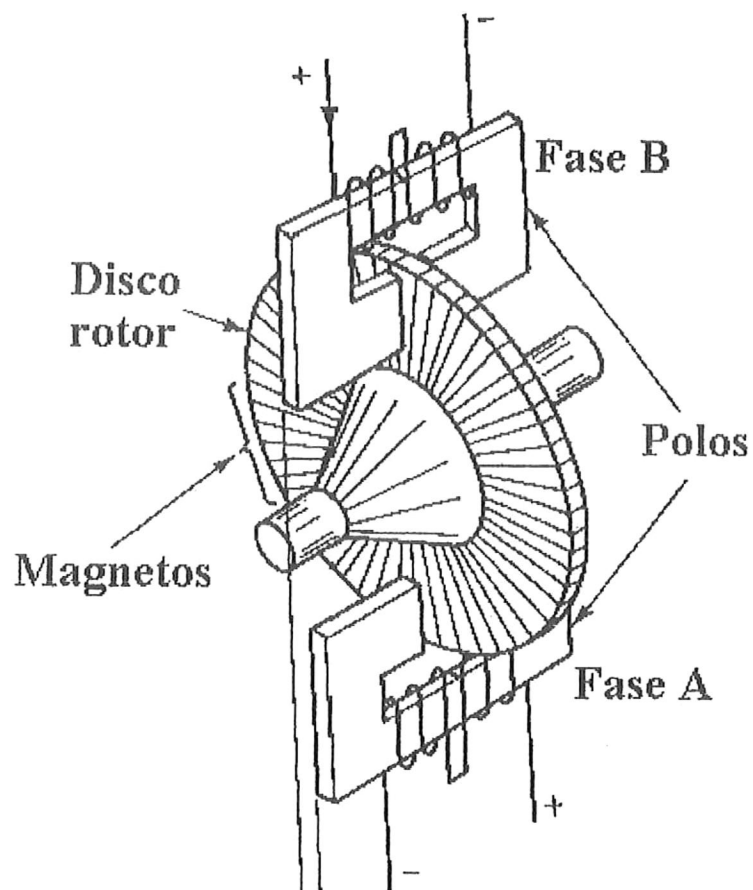


Fig. 4.0 Esquema de un motor de pasos

## Motores de Pasos con Discos

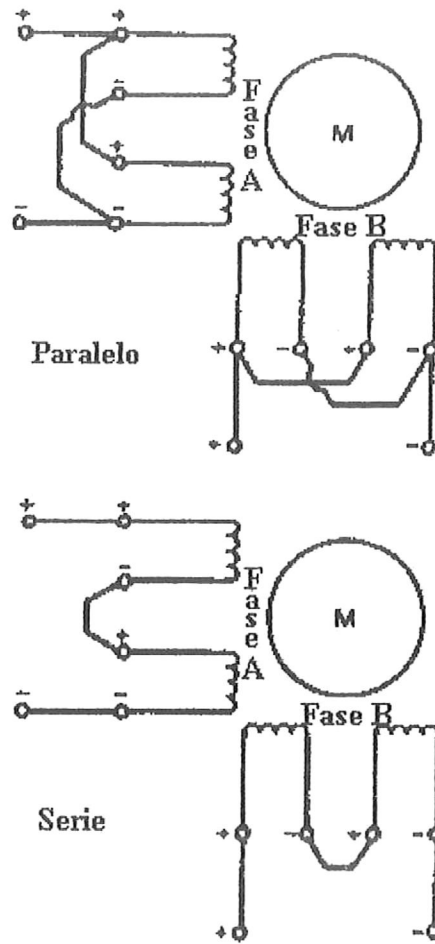


Fig. 4.1 Diagrama de las conexiones serie y paralelo.

El motor de la figura 4.0 es un motor de dos fases con cada fase de campo magnético rotada eléctricamente a 90 grados, una con respecto a la otra. Cada fase puede consistir en una o más bobinas las cuales se pueden conectar externamente. Las bobinas de las fases A y B pueden ser configuradas en paralelo o en serie (Fig.4.1) de manera externa, esto cambia las características de operación.

El número de fases no debe ser confundida con el número de bobinas. El voltaje de excitación para cada una de las bobinas consiste en pulsos de voltaje. Si asumimos que un pulso positivo es proporcionado a la bobina de la fase A y un pulso positivo se proporciona a la fase B, el disco rotará un paso. Si la entrada de pulso de polarización es transpuesta, esto es, si un pulso negativo es proporcionado a la fase A y simultáneamente es aplicado un pulso positivo de la fase B, la rotación del disco continuara hasta que se interrumpan los pulsos aplicados a los hilos del motor. Para revertir la dirección de la rotación, todo lo que es necesario es revertir la secuencia de pulsos.

No todos los discos tienen el mismo número de magnetos, entre mayor sea este, menor será el ángulo de los pasos que pueden ser obtenidos.

### **Pasos y Angulo de Paso**

Mientras el número de pasos se incrementa, el ángulo que produce cada paso, con respecto a una vuelta completa, de cada paso se vuelve más pequeño. Por lo tanto si un motor de pasos puede dar seis pasos para completar una rotación sobre su eje, entonces cada paso debe de ser de  $60^\circ$ . Una rotación completa sobre su eje es de  $360^\circ$ , y esto es siempre igual al producto del número de pasos por el ángulo del paso, por lo que el ángulo de paso (también llamado el tamaño del paso) puede ser calculado dividiendo el número de pasos entre 360. Este ángulo siempre se da en grados y no necesariamente tiene que ser en números enteros, de hecho puede ser expresado en números enteros y una fracción decimal.

Es posible dividir un paso completo en un número mucho menor de pasos llamados comúnmente micropasos. Estos pasos intermedios se obtienen utilizando voltaje o corrientes de niveles distintos.

Fundamentalmente, un motor de pasos es un motor síncrono de una fase o múltiples fases operado de un modo incremental, lo que significa que el movimiento del rotor del eje no es una revolución continua, sino que opera con cantidades específicas de incrementos. Si un rotor gira 10 grados por cada pulso de entrada, completará 36 incrementos en una rotación completa de su eje.

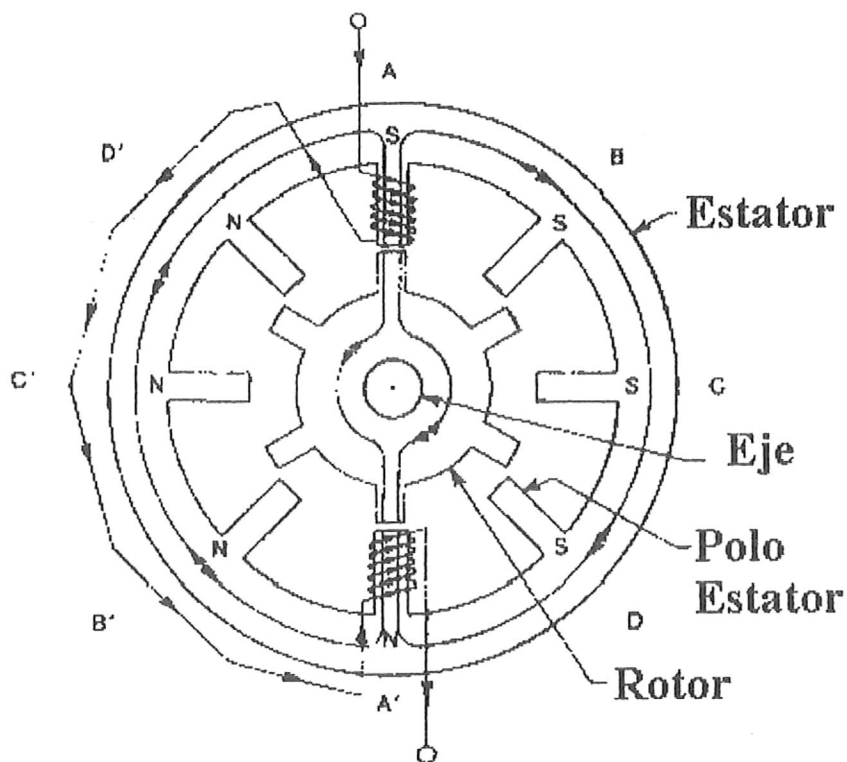


Fig. 4.2 Vista transversal de un motor de pasos de disco.

Existen diversos tipos de motores de pasos, cuyas diferencias se basan no solo en su estructura física, sino en sus características de operación, en las demandas impuestas por sus cargas y la precisión requerida. Los motores de pasos pueden ser

clasificados en cinco clases principales, cada una con diferentes características. Estos motores incluyen motores de pasos de disco (Fig.4.2), de reluctancia variable, de magneto permanente, híbridos y motores de pasos de potencia.

### **Tabla de Verdad de Motores de Pasos**

Las siguientes dos tablas (4.0 y 4.1) especifican los bits enviados por la PC a través del puerto paralelo a los motores para rotarlos.

Los primeros cuatro bits son los de datos que indican el movimiento del motor. Estos bits se envían a los hilos del motor (Fig. 3.7) de manera secuencial. Se envía un nivel lógico alto al primer hilo y un nivel lógico bajo a los tres restantes, después se envía el nivel lógico alto al segundo y así sucesivamente, hasta completar los cuatro hilos. El motor avanzara un paso por cada nivel lógico alto, enviado a los hilos.

El manejador descrito en el capítulo de Interface de hardware, es el encargado del control de los motores. Los motores se moverán de acuerdo al cerrojo seleccionado, estos se habilitan con un nivel lógico bajo, enviado a través de los bits 5,6 y 7 del puerto paralelo. El último bit del puerto paralelo no se utiliza.

No de Bit	1	2	3	4	5	6	7	8	Decimal
1er Hilo	1	0	0	0	0	1	1	X	97
2do Hilo	0	1	0	0	0	1	1	X	98
3er Hilo	0	0	1	0	0	1	1	X	100
4to Hilo	0	0	0	1	0	1	1	X	104
1er Hilo	1	0	0	0	1	0	1	X	81
2do Hilo	0	1	0	0	1	0	1	X	82
3er Hilo	0	0	1	0	1	0	1	X	84
4to Hilo	0	0	0	1	1	0	1	X	88
1er Hilo	1	0	0	0	1	1	0	X	49
2do Hilo	0	1	0	0	1	1	0	X	50
3er Hilo	0	0	1	0	1	1	0	X	52
4to Hilo	0	0	0	1	1	1	0	X	56

Tabla 4.0 Configuración de los bits enviados al motor de pasos

La siguiente tabla mueve los tres motores simultáneamente a la posición de inicio.

No de Bit	1	2	3	4	5	6	7	8	Decimal
1er Hilo	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2do Hilo	0	1	0	0	0	0	0	0	2
3er Hilo	0	0	1	0	0	0	0	0	4
4to Hilo	0	0	0	1	0	0	0	0	8

Tabla 4.1 Configuración de los bits para inicializar los motores de pasos

## LabView

### Introducción a Lab View

LabVIEW es un desarrollador de programas de aplicaciones, se diferencia de otros lenguajes en que en lugar de escribir líneas de código, se utiliza programación gráfica, mediante el lenguaje G, creando diagramas de bloques, por lo que el desarrollo se vuelve mucho más sencillo e intuitivo.

La plataforma incluye librerías, funciones y herramientas de desarrollo para adquisición de datos. A los programas se les denominan instrumentos virtuales (VI's), debido a que su apariencia y operación imitan a instrumentos reales. Una ventaja es su analogía con funciones de lenguaje convencionales de programación. Los VI's tienen una interface con el usuario y una fuente de código equivalente.

Los VI's contienen una interface interactiva con el usuario, a la cual se le llama panel frontal, porque simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener perillas, botones de presión, gráficos y otros controles e indicadores. La interface con el usuario se logra utilizando un teclado y un ratón, y se visualizan los resultados en la pantalla de la computadora.

Los VI's reciben instrucciones de un diagrama a bloques, el cual se construye en el lenguaje de programación G. El diagrama a bloques aporta una solución al

diferenciar mediante colores los diferentes tipos de datos que se utilizan. El diagrama a bloques contiene el código fuente para el VI en cuestión.

Los VI's utilizan una estructura modular y jerárquica, se pueden utilizar como programas de alto nivel, o como subrutinas en otros programas. Un VI dentro de otro VI se le llama subVI.

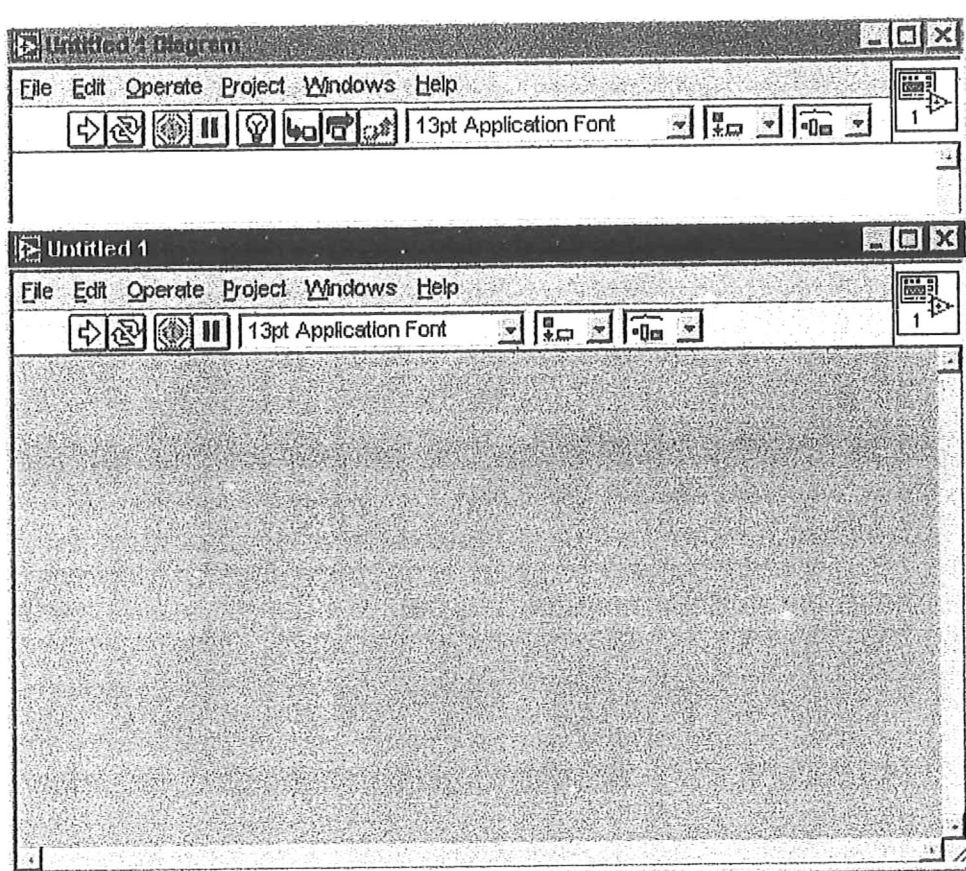


Fig. 5.0 Panel Frontal y Diagrama del compilador Lab View

Con estas características LabView promueve y se adhiere al concepto de programación modular. Se dividen las aplicaciones en una serie de componentes,

los cuales se pueden dividir de nuevo hasta que una aplicación complicada se convierte en una serie de subaplicaciones sencillas. Se construyen los VI's para conseguir ciertas tareas específicas y se pueden combinar en otro diagrama a bloques para conseguir una aplicación mayor.


Debido a que los subprogramas se pueden ejecutar de manera independiente, el depuramiento se facilita.


### **Barra de Herramientas del Panel Frontal.**


El panel frontal contiene una barra de herramientas con botones de mandos e indicadores de estado utilizados para correr y depurar los VI. También contiene opciones de tipos de letra.

En la parte superior del recuadro se especifica si es el diagrama, donde se escribira el código fuente, o el panel frontal que sera la interface con el usuario.

A continuación daremos una breve explicación de los íconos mas utilizados

 Botón de corrida - Ejecuta el VI una vez y para al terminar la ejecución

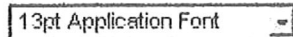
 Boton de corrida continua - Ejecuta el VI una y otra vez; útil para depurar

 Botón de Paro - Aborta la ejecución del VI



Boton de Pausa/Continuar - Para o Continúa temporalmente la ejecución del

VI



Menú de Tipo de Letra - Asigna las opciones de tipos de letra, incluyendo el tipo, tamaño, estilo y color.



Menú de alineamiento - Indica las opciones de alineamiento, incluyendo vertical, izquierda, arriba, etc, en dos o mas componentes del panel frontal.



Menú de distribución . - Indica las opciones de distribución, incluyendo compresiones, etc, para dos o mas componentes del panel frontal.

El diagrama a bloques contiene la totalidad de los íconos anteriores mas los siguientes que son exclusivos del diagrama.



Para propósitos de depuración, es muy util para visualizar la animación de la ejecución del diagrama a bloques de un VI.

Cuando se habilita esta función el boton cambia su color a amarillo. Se utiliza esta función en conjunto con la ejecución paso a paso para una mejor comprensión del flujo de datos a través de los nodos. Con este tipo de ejecución, el movimiento de los datos de un nodo a otro es marcado por burbujas en movimiento a través de los

cables; si se combina con la ejecución paso a paso el próximo nodo parpadeará rápidamente.

Los botones de pasos son los siguientes:



boton de paso siguiente: sirve para ejecutar una estructura (secuencia, lazo, etc.) o un SubVI y entonces pausar en el siguiente nodo.



Botón de entrar a pasos: sirve para ejecutar el primer paso de un SubVI o una estructura (secuencia, lazo, etc.) y pausar hasta el próximo paso del SubVi o estructura.



Presione el botón de salir de pasos para finalizar la ejecución de el diagrama a bloques, estructura o VI en ejecución. Cuando el VI finaliza su ejecución, el botón de pasos se torna de color gris.

Los botones de pasos solo afectan la ejecución de un VI o SubVI que se encuentre en modo de paso sencillo.

## Paleta de Herramientas



Figura 5.1 Paleta de Herramientas.

Lab VIEW utiliza una paleta de herramientas flotante, la cual se puede utilizar para editar y depurar los VI's. Se utiliza la tecla <Tab> para cambiar entre las herramientas mas utilizadas. Se selcciona Windows >>Show Tools Palette para desplegar la paleta.



Herramienta de operación - Coloca los elementos de la paleta de controles y funciones en el panel frontal y en el diagrama a bloques.



Herramienta de posicionamiento - Posiciona, selecciona y cambia de tamaño los objetos.



Herramienta de Asignacion de Nombres - Edita texto y crea titulos.



Herramienta de interconexión - Conecta los objetos entre ellos en el diagrama a bloques.



Menú de realce de objetos - Realza el menú de los objetos.



Herramienta de Arrastre – Arrastra los objetos sobre la ventana sin utilizar la barra de arrastre.



Herramienta de Punto de Interrupción- Coloca puntos de interrupción en VI's, funciones, ciclos, secuencias y casos.



Herramienta de prueba - Crea puntos de prueba en conexiones.



Herramienta de copia de color - Copia los colores para regenerarlos con la herramienta de color.



Herramienta de color - Asigna los colores del fondo y los objetos.

## Paleta de Control

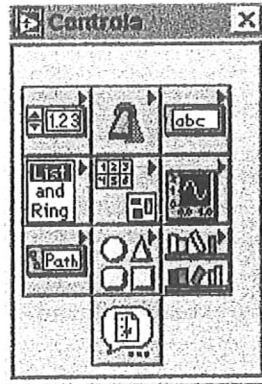


Fig. 5.2 Paleta de Control.

Esta consiste en una paleta, gráfica y flotante la cual automáticamente se activa cuando se corre LabVIEW. Se utiliza esta paleta para colocar controles e indicadores en el panel frontal de los VI's. Cada ícono con un código de alto nivel, contiene subpaletas. La paleta de Control se puede abrir desde Windows>>Show Controls Palette desde el menú del panel frontal.



### Controles Numéricos e Indicadores

Se pueden utilizar controles numéricos para ingresar cantidades enteras o flotantes,. Los dos objetos numéricos mas utilizados son los controles digitales y los indicadores digitales.



## Controles Booleanos e Indicadores

Se utilizan estos controles para asignar y desplegar valores Booleanos (Cierto/Verdadero). Los objetos booleanos simulan interruptores, botones y LED's.

Los mas comunmente utilizados son los interruptores verticales y LED's redondos.

## Configuración de Controles e Indicadores

Se pueden configurar casi la totalidad de los controles e indicadores utilizando las opciones del menú de realce. El menú de los controles e indicadores, permite personalizar estos componentes.

## Paleta de Funciones

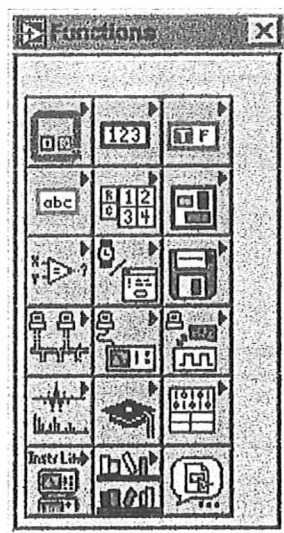


Figura 5.3 Paleta de Funciones

Esta consiste en una paleta gráfica y flotante que se abre automáticamente cuando se abre el diagrama a bloques. Se utiliza ésta paleta para colocar nodos (constantes, indicadores, VI's y demás) en el diagrama a bloques del VI. Cada icono de alto nivel contienen subpaletas. La paleta de funciones se puede acceder desde Windows>>Show Functions Palette a través del menú del diagrama a bloques.

## Partes Principales del Código referente al Algoritmo del Control Automático de Polarización

### Primer Bloque de Código

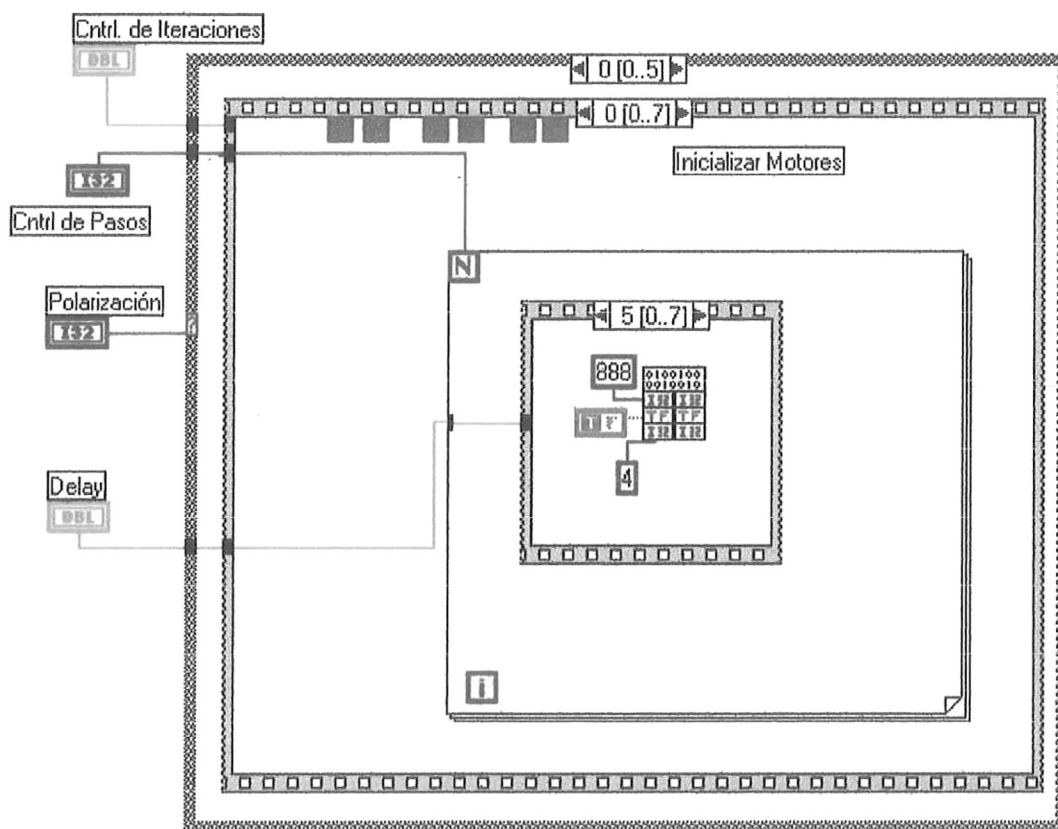


Fig. 6.0 Primer bloque de código

El primer bloque de código (Fig. 6.0) es el correspondiente a la inicialización de los motores de pasos, utilizados para mover a los polarizadores de Lefevre. Debido a que no se tiene ninguna información del posicionamiento de los motores, se giran en sentido horario el número total de pasos que pueden girar las estructuras, así se

asegurara que los tres motores se encuentren en la posición inicial necesaria para el sistema

### Segundo Bloque de Código

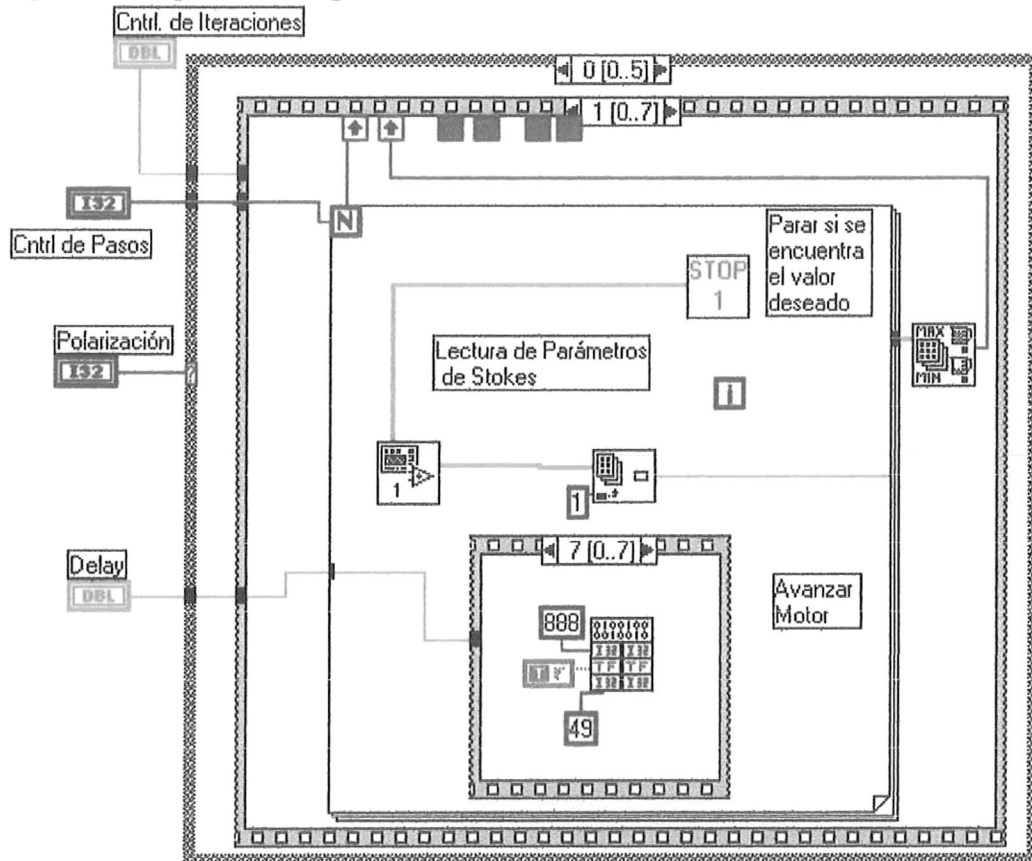


Fig. 6.1 Segundo bloque de código.

El siguiente bloque (Fig. 6.1) realizará cuatro tareas principales, mediante el uso de subprogramas.

- Avanzará en cuatro pasos el motor correspondiente
- Se leerán los parámetros de Stokes proporcionados por el Analizador de Polarización
- Se realizará la verificación de la condición de paro, correspondiente a la polarización final seleccionada. Si esta condición se cumple, esto significa que

se encontró el valor deseado de polarización, por lo que el programa se detendrá.

- Se almacena el dato para compararlo con los datos siguientes y así obtener el valor más cercano a los parámetros de Stokes de la polarización seleccionada.

### Tercer Bloque de Código

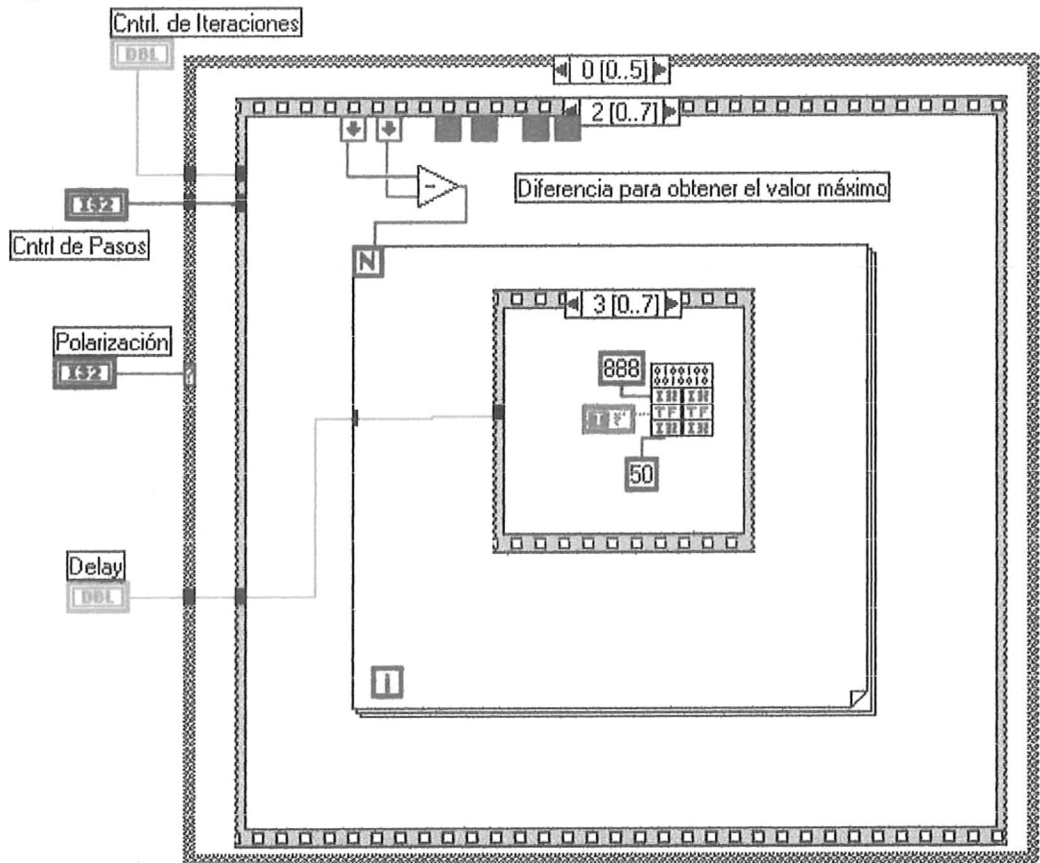


Fig. 6.2 Tercer bloque de código

- Se realizará este procedimiento hasta completar el ángulo total de rotación del Polarizador de Lefevre (32 veces aproximadamente).

- Se regresara el motor al valor máximo, de acuerdo a los parámetros de Stokes correspondientes a la polarización seleccionada. El valor máximo posible es 1. Este valor se calcula mediante la sencilla ecuación siguiente.

$$Pt - Pm = Pr$$

Donde

Pt es el número total de pasos

Pm es el número del paso donde se obtuvo el valor máximo

Pr es el número de pasos por regresar el motor

- Se realizara el mismo procedimiento con los dos motores siguientes.
- En caso de no encontrar en la primer iteración la polarización deseada, se realizarán tantas iteraciones como sean necesarias, hasta encontrar el estados de polarización seleccionados.

### Subprogramas

Substokes.VI - este subprograma obtiene los parámetros de Stokes del analizador de polarización HP 8509B

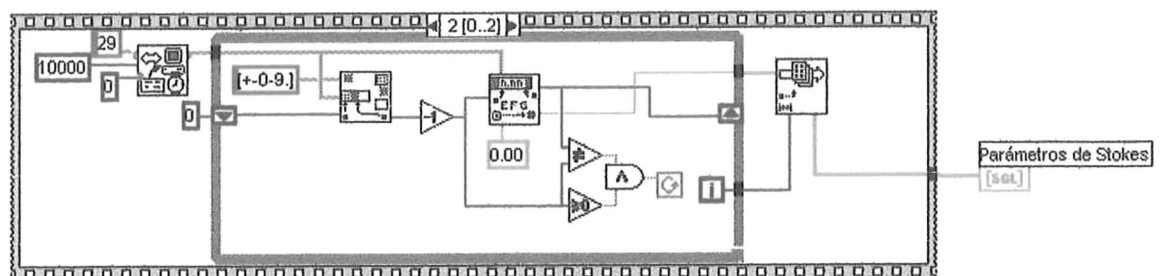


Fig.6.3 Subprograma para obtener los parámetros de Stokes.

Stop.VI – condicionamiento de paro (Fig. 6.4), cuando se encuentran los valores de los parámetros de Stokes correspondientes al estado de polarización deseado, el programa se detiene inmediatamente, hay un subprograma para cada polarización seleccionada por el usuario.

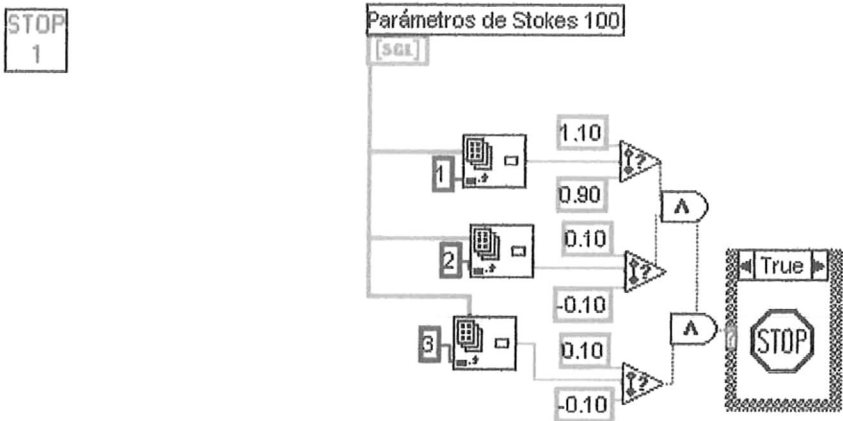


Fig. 6.4 Condición de paro

Nodo de interface de Código (CIN) – este subprograma (Fig. 6.5) es el enlace entre el ambiente LabView y la plataforma Watcom C++, la cual proporciona la salida al puerto paralelo que mueve los motores de pasos.

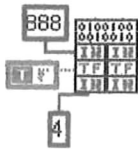


Fig. 6.5 Nodo de Interface de Código.

# **GPIB**

## **Introducción al GPIB**

El Ducto de interface de Propósito General (GPIB por sus siglas en ingles) es un enlace, o un sistema de interface, a través del cual dispositivos electrónicos interconectados se comunican. Hewlett-Packard diseñó el GPIB (originalmente llamado (HP-IB) para interconectar y controlar su línea de instrumentos programables. El GPIB fue pronto aplicado en comunicación entre computadoras y control de periféricos debido a sus tasas de transferencias de datos que alcanzan 1Mbyte/s. Después fue aceptado como un estándar de la IEEE. Debido a su versatilidad el sistema cambia su nombre a GPIB.

## **Importancia del estándar IEEE 488.2**

El estándar IEEE 488.2 describe exactamente como el controlador debe administrar el GPIB, describe los mensajes que los dispositivos controlados deben entender, los mecanismos para reportar errores y otra información acerca del estado del ducto, así como los protocolos mediante los cuales se descubren y configuran los dispositivos conectados.

El estándar original, cuyo nombre es IEEE 488.1, direccionaba solamente las especificaciones de hardware del cable GPIB y los protocolos básicos. Su limitación en información dejó el estándar a la interpretación de los fabricantes de instrumentos. Esto resultó en que cada instrumento tenía un conjunto único de mandos. Para integrar cada instrumento en un sistema de GPIB en particular, los

programadores tenían que aprender el lenguaje de cada instrumento en particular. El nuevo estándar específicamente define como los dispositivos controlados se deben comunicar. Este estándar hace que la programación sea mas uniforme, también direcciona dispositivos controladores los cuales desempeñan diversas tareas como monitorear las líneas del ducto en cualquier momento. Esta habilidad es crucial para detectar dispositivos activos. IEEE 488.2 también define los mandos del ducto y los protocolos que un controlador debe utilizar, y exige menos requerimientos en lo que al sistema utilizado se refiere.

### **Operación del GPIB**

A continuación trataremos de describir los conceptos básicos necesarios para operar el GPIB. También listaremos las características eléctricas y físicas del GPIB y su configuración.

#### Tipo de Mensajes

GPIB tiene mensajes dependientes del dispositivo y mensajes de interface.

- Los mensajes dependientes del dispositivo, comúnmente llamados datos o mensajes de datos, contienen información específica del dispositivo como instrucciones de programación, resultados de mediciones, estado de la maquina y archivos de datos.
- Los mensajes de interface administran el ducto. Usualmente se les llama mandos o mensajes de mando. Los mensajes de interface realizan tareas como

inicializar el ducto, seleccionar y liberar dispositivos, y asignar los modos del dispositivo para programación remota o local.

### **Emisores, Receptores y Controladores**

Los dispositivos de GPIB pueden ser Emisores, Receptores y/o Controladores. Un voltímetro digital, por ejemplo, es un emisor y puede ser un receptor también. Un emisor envía mensajes de datos a uno o más Receptores. El Controlador administra el flujo de información en el GPIB al enviar mandos a los dispositivos.

El ducto es como un ducto ordinario de computadora, excepto que la computadora tiene sus tarjetas de circuitos interconectadas vía un ducto impreso, mientras que el GPIB tiene dispositivos interconectados vía un cable.

El papel del Controlador de GPIB es similar al del CPU de una computadora, pero una mejor analogía sería con el conmutador de un sistema telefónico de una ciudad. El conmutador (controlador) monitorea la red de comunicaciones (GPIB). Cuando el centro (controlador) se da cuenta que una parte (dispositivo) quiere hacer una llamada (enviar un mensaje de datos), conecta a quien realiza la llamada (emisor) al dispositivo que escucha (receptor).

El Controlador direcciona un Emisor y un Receptor antes de que el Emisor envíe un mensaje al Receptor. Después de que el Emisor transmite el mensaje, el Controlador puede liberar ambos dispositivos.

Algunas configuraciones del ducto no requieren un Controlador. Por ejemplo, un dispositivo puede siempre ser el Emisor (Llamado dispositivo solo emisor) y pueden haber uno o más dispositivos solo receptores.

Un Controlador es necesario cuando se debe programar en el tiempo un cambio en la configuración del Emisor o Receptor activo o direccionado. Una computadora usualmente maneja la función de Controlador.

Con la tarjeta de GPIB y su software, la computadora personal juega tres papeles:

- Controlador – para administrar el GPIB.
- Emisor – para enviar los mandos a los receptores.
- Receptor – para recibir los datos enviados por los dispositivos que controla.

### **El Controlador a Cargo y el Controlador del Sistema**

Aunque puede haber múltiples Controladores en GPIB, solo uno a la vez está activo y se le denomina Controlador a Cargo (CIC por sus siglas en inglés). Se puede transferir el control activo desde el CIC en uso a un controlador desocupado. Solamente un dispositivo del ducto –el Controlador del sistema- puede asignarse a sí mismo el papel de CIC. La tarjeta de GPIB es usualmente el Controlador del Sistema

### **Líneas y Señales de GPIB**

La interface del sistema consiste en 16 líneas de señal y 8 tierras de retorno o líneas de drenaje de chasis.

Las 16 líneas de señales están divididas en tres grupos:

- Ocho líneas de datos
- Tres líneas de reconocimiento
- Cinco líneas de administración de la interface

### **Líneas de Datos**

Las ocho líneas de datos, DIO1 hasta DIO8, llevan mensajes de datos y mandos. Todos los mandos y la mayoría de los datos utilizan el conjunto de códigos de ISO o de ASCII de 7 bits, en el cual el octavo bit, DIO8, no se utiliza o se utiliza para paridad.

### **Líneas de Reconocimiento**

Tres líneas asíncronas controlan la transferencia de los bytes de mensajes entre dispositivos. Este proceso se llama un reconocimiento de tres cables, y garantiza que los bytes de mensaje en las líneas de datos sean enviados y recibidos sin errores en la transmisión.

- NRFD (not ready for data).- NRFD indica si un dispositivo está listo para recibir un byte de mensaje. Todos los dispositivos activan esta línea cuando reciben mandos, y los receptores la activan cuando reciben mensajes de datos.
- NDAC (not data accepted).- NDAC indica si un dispositivo ha aceptado un byte de mensaje. Todos los dispositivos activan NDAC cuando reciben mandos, y los receptores lo activan cuando reciben mensajes de datos.
- DAV (data valid) DAV indica si las señales en la línea de datos están estables (válidas) y si los dispositivos pueden aceptarlas de manera segura. El controlador activa DAV cuando envía mandos, y el emisor las activa cuando envía mensajes de datos.

## **Líneas de Administración de Interface**

Existen cinco líneas que administran el flujo de información a través de la interface.

- ATN (attention).- El controlador activa ATN en alto cuando utiliza las líneas de datos para enviar mandos y activa ATN en bajo cuando un emisor puede enviar mensajes de datos.
- IFC (interface clear). - El controlador del sistema activa la línea de IFC para inicializar el ducto y convertirse en el CIC.
- REN (remote enable). - El controlador del sistema activa la línea REN, la cual coloca los dispositivos en modo de programación remoto o local.
- SRQ (service request). - Cualquier dispositivo puede activar la línea SRQ para asincrónicamente solicitar un servicio del controlador.
- EOI (end or identify). - La línea EOI tiene dos propósitos. El emisor utiliza la línea EOI para marcar el final de una cadena de mensajes. El controlador utiliza la línea EOI para indicar a los dispositivos que respondan en una encuesta paralela.

## **Características Física y Eléctricas**

Usualmente se conectan los dispositivos con un cable de ensamble consistente en un conductor de 24 cables el cual tiene una terminal insertable y una receptora. Con este diseño, se puede enlazar múltiples dispositivos en una configuración lineal o de estrella, o en una combinación de ambas.

El conector estándar es el Cinch Serie 57 Microribbon o tipo Amp Champ (Fig. 7.0). Se puede utilizar un adaptador para cable con un cable no estándar y/o conector para aplicaciones con interconexiones especiales.

GPIB utiliza lógica negativa con niveles TTL. Cuando DAV es verdadero, por ejemplo, esto significa un nivel TTL bajo ( $\leq 0.8V$ ), y cuando DAV es falso, es un nivel TTL alto ( $\geq 2.0V$ ).

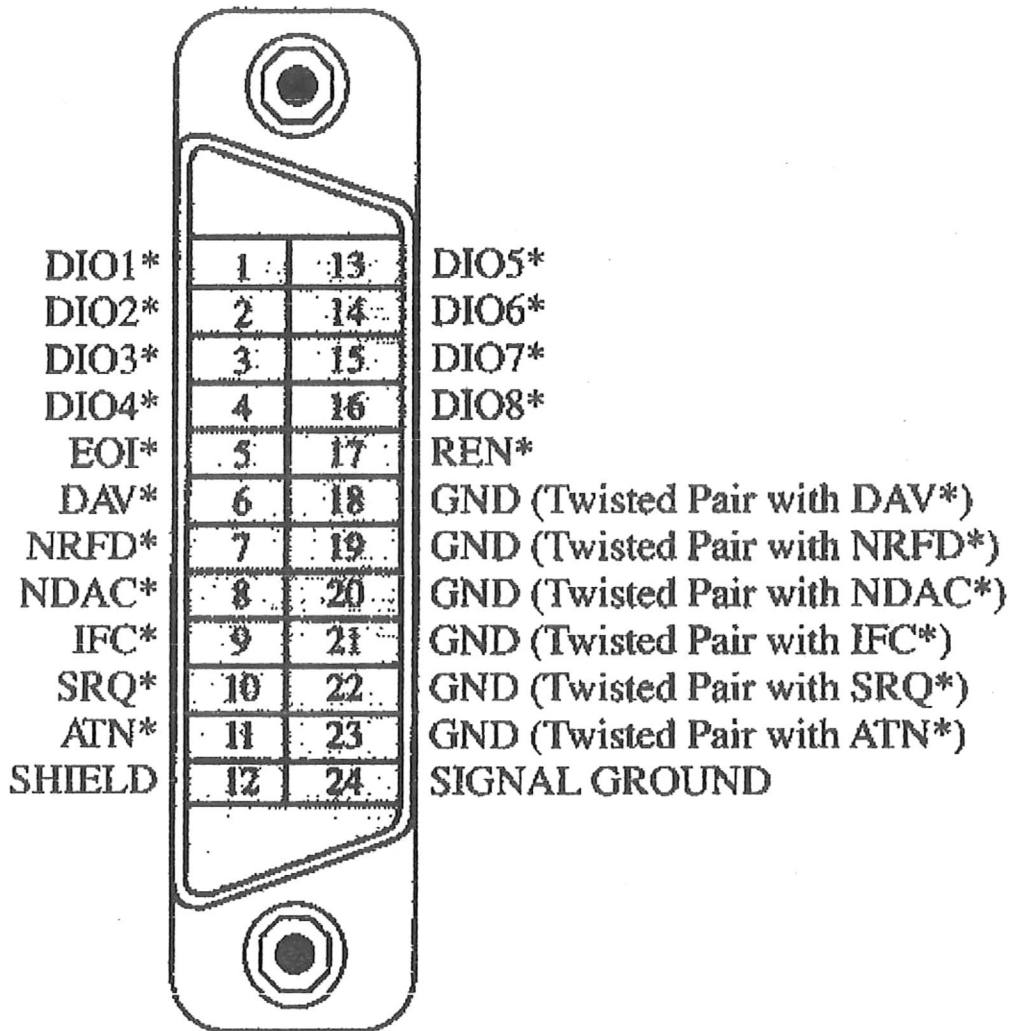


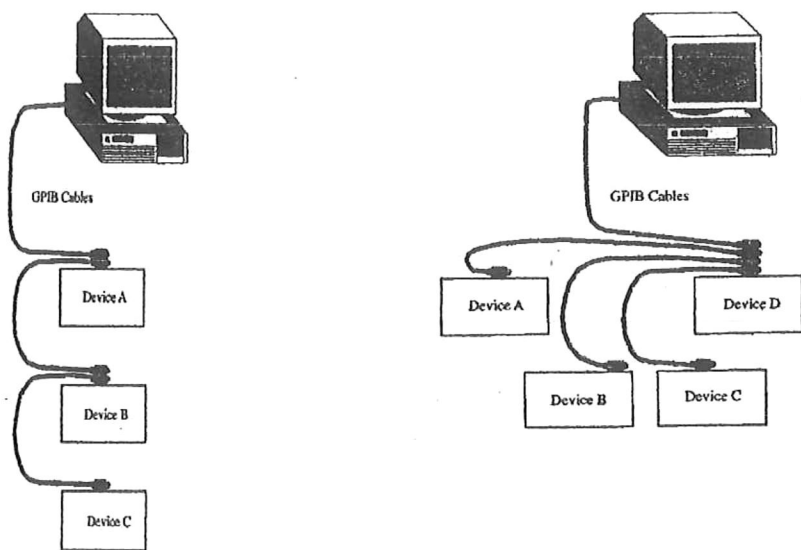
Fig. 7.0 Conector GPIB

## Requerimientos de Configuración

Para conseguir una tasa alta de transferencia de datos para el cual GPIB fue diseñado, la distancia física entre dispositivos y el número de dispositivos en el ducto debe respetar los siguientes lineamientos.

- Deberá haber una separación máxima de 4m entre cualquiera de los dos dispositivos y un promedio de separación de 2m entre el total del ducto, es decir puede haber dispositivos con diferentes separaciones (1/2 m., 2m, hasta 4m.) pero el promedio de todas estas longitudes no debe exceder los dos metros (Fig.7.1).
- Deberá haber un máximo total de 20m de longitud en el cable
- No deberá haber más de 15 dispositivos conectados a cada ducto, con al menos dos terceras partes de los dispositivos encendidos. Esto garantiza la transferencia de las instrucciones de una manera eficiente.

Fig. 7.1 Configuraciones para la conexión de dispositivos con duct.o GPIB



## Aplicación

### Objetivo

En un enlace de fibra óptica real, la luz viaja por muchos lugares, esto genera en la fibra una multitud de torsiones, las cuales afectan su geometría inicial. Los vectores de campo eléctrico que componen el haz luminoso, los cuales definen la polarización, sufren innumerables modificaciones.

El objetivo de la aplicación práctica de este proyecto consiste en simular un sistema de comunicaciones real, al instrumentar un dispositivo que genere el mayor número de polarizaciones posibles de manera aleatoria. Gráficamente esto se puede visualizar en la esfera de Poincare de manera sencilla; en la superficie de la esfera se marca un punto por cada polarización registrada por el Analizador de Polarización, por lo que, cuando se llena por completo de marcas la esfera de Poincare se puede afirmar que se han alcanzado todas las polarizaciones posibles.

En este caso particular (Fig. 8.0), la esfera no se ha llenado por completo, pero el número de muestras son suficientes para obtener resultados significativos.

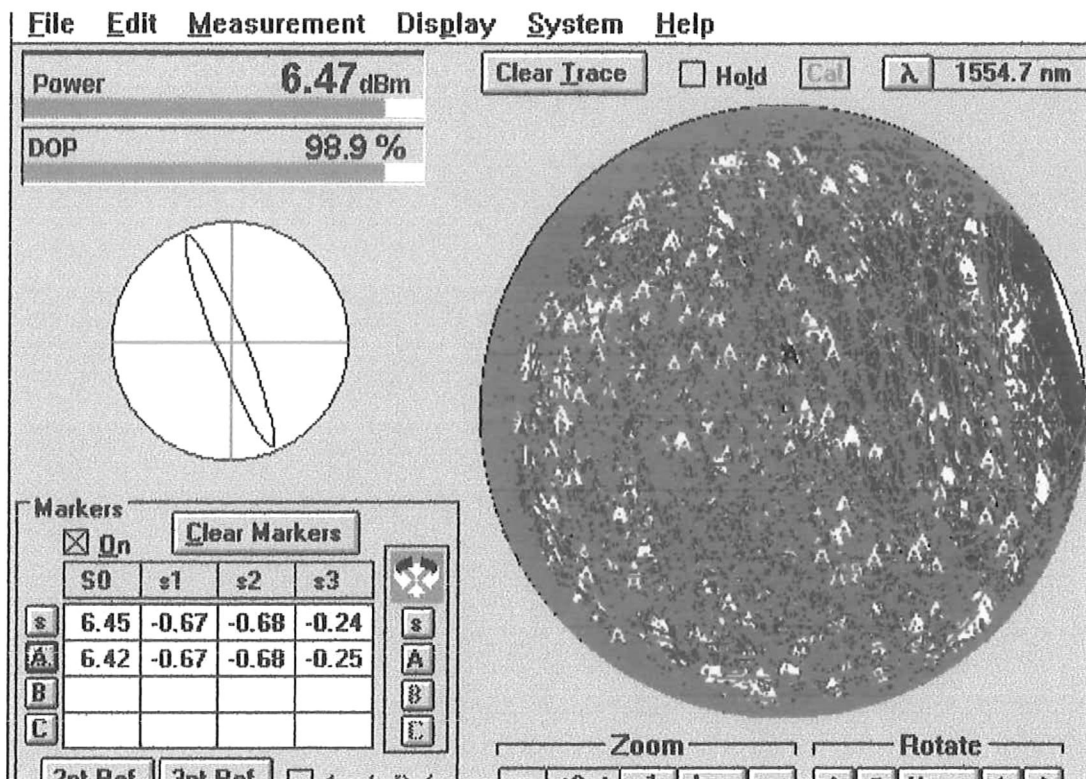


Fig. 8.0 Esfera de Poincare después de la toma de muestras

## Descripción de la Aplicación

El generador de polarizaciones aleatorias se utilizó para caracterizar la respuesta de un amplificador óptico de semiconductor.

Se aplicó una potencia constante a la entrada del dispositivo, y de acuerdo a los cambios en la polarización de la luz, realizados con los compensadores de Lefevre, se registraron las variaciones correspondientes en la potencia de salida. Por lo que los resultados nos indican la dependencia de la ganancia del amplificador con respecto a la polarización de la luz incidente

Eventualmente, con el generador de polarizaciones aleatorias, se podría caracterizar cualquier dispositivo, cuya respuesta fuese sensible a la polarización de la luz incidente.

Las mediciones fueron realizadas integrando diversos sistemas (Fig. 8.1) que a continuación se describirán.

La fuente luminosa es un láser de semiconductor a una frecuencia de 1550 nm., el cual es manejado mediante un amplificador de erbio. A la salida del amplificador se acopló un filtro pasabanda, el cual rechaza la emisión espontánea proveniente del amplificador de erbio.

El acoplador es el encargado de canalizar la señal hacia el amplificador óptico de semiconductor y hacia el analizador de polarización. Se agregó otro filtro pasabanda a la salida del amplificador óptico de semiconductor, que al igual que el anterior rechaza la emisión espontánea de la etapa anterior.

La señal óptica se convierte en señal eléctrica en el fotoreceptor y se envía para su visualización al osciloscopio.

La computadora personal cumple dos funciones, almacenar los datos provenientes del osciloscopio, los cuales corresponden al nivel de amplificación de la señal óptica y almacenar los parámetros de Stokes correspondientes a la polarización de la señal de entrada al amplificador.

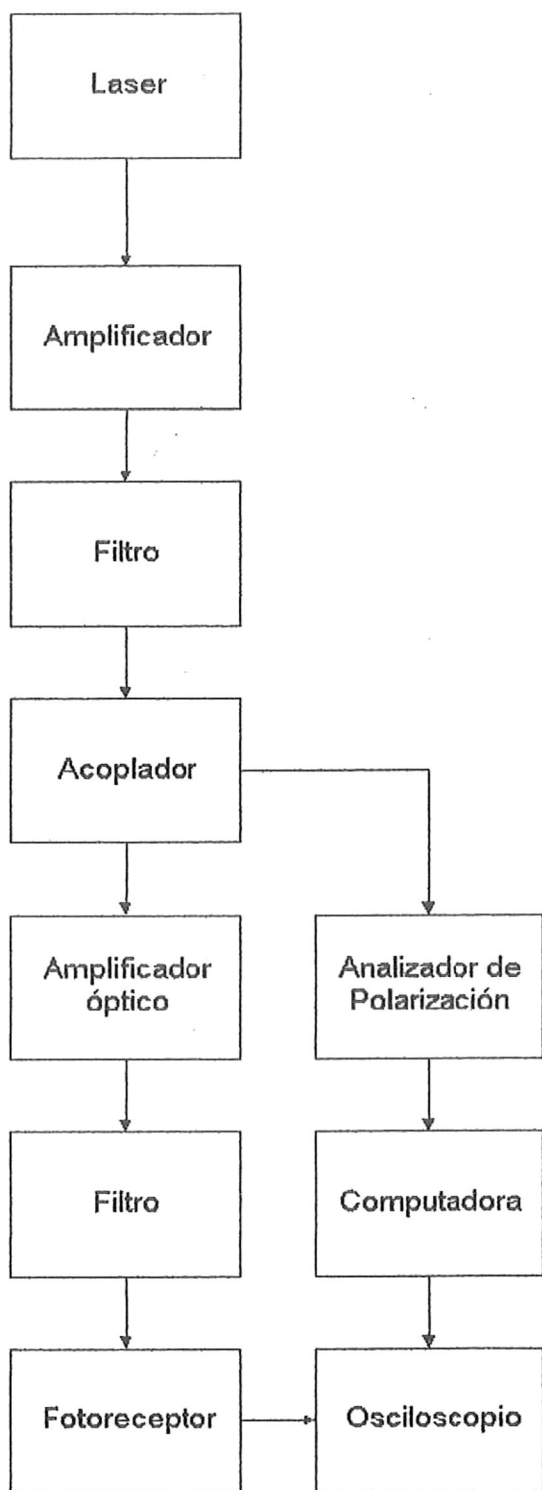


Fig. 8.1 Diagrama de flujo del sistema para caracterizar un amplificador de semiconductor óptico con respecto a su polarización de entrada

## Resultados

Las gráficas de resultados siguientes nos muestran las relación de los parámetros de Stokes (S0, S1,S2 y S3) con respecto al voltaje (Vdc) obtenido del fotoreceptor (Fig. 2.0)

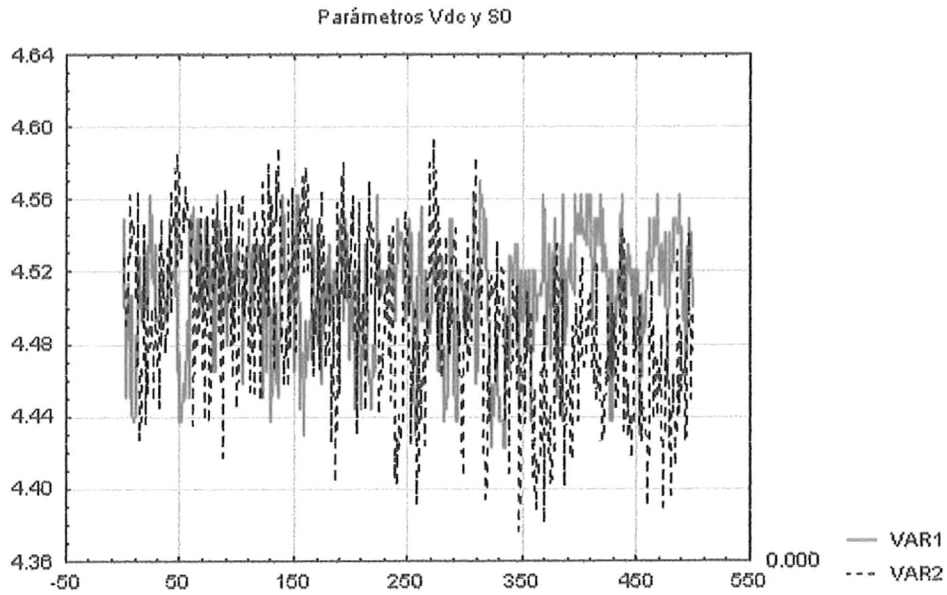


Fig. 8.3 Gráfica de voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S0

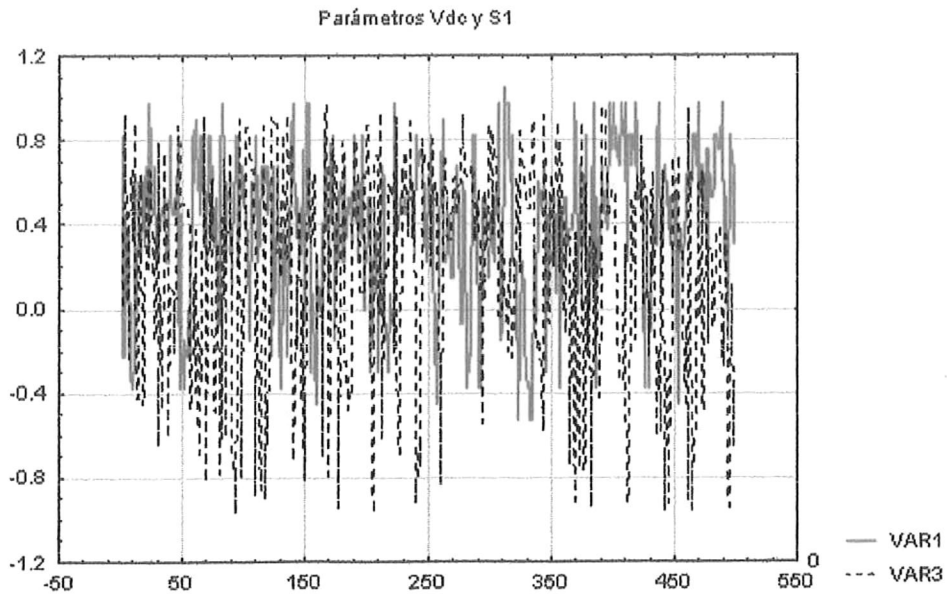


Fig. 8.3 Gráfica de voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S1

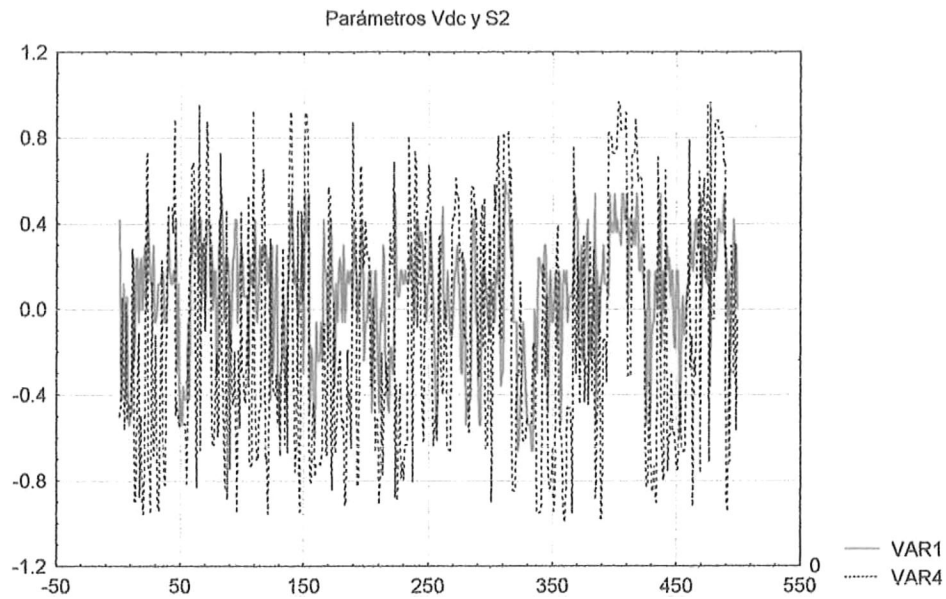


Fig. 8.4 Gráfica del voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S2

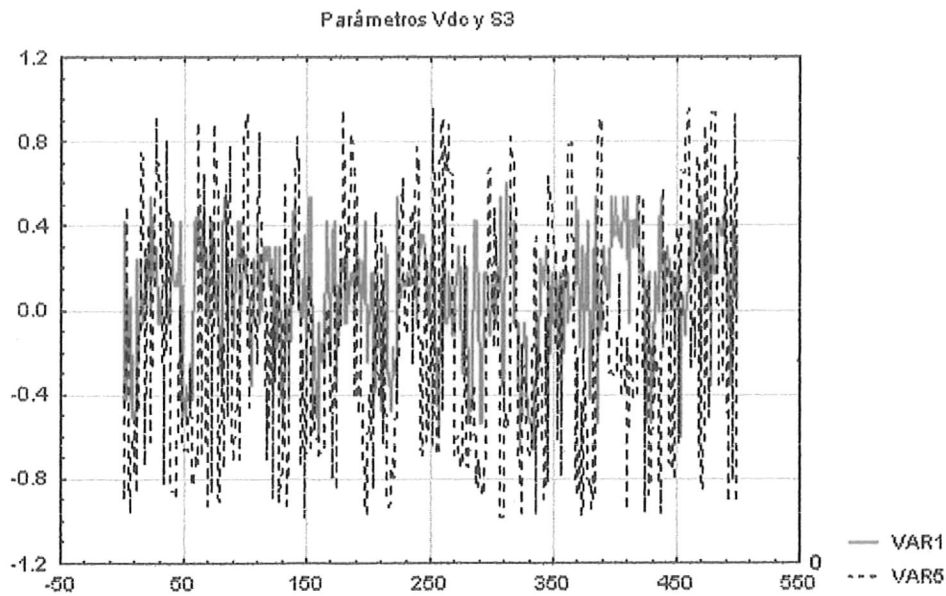


Fig. 8.5 Gráfica del voltaje a la salida del amplificador y parámetro de Stokes S3

Realizando un somero análisis de los resultados máximos y mínimos a la salida del amplificador, podemos darnos cuenta que el punto de amplificación mínima corresponde aproximadamente a una polarización horizontal, al contrario de una polarización aproximadamente vertical, la cual corresponde a uno de los puntos máximos. Otra polarización típica que presenta un punto de amplificación máxima corresponde aproximadamente a una polarización circular izquierda.

No de muestra	Vdc	S0	S1	S2	S3	Polarización aprox.	
334	0.056	4.444	0.898	-0.165	0.317	Lineal Horizontal	Mínimo
094	0.169	4.480	-0.971	-0.193	0.220	Lineal Vertical	Máximo
410	0.181	4.509	-0.187	0.147	-0.957	Circular Izquierdo	Máximo

Fig. 8.6 Tabla de resultados significativos.

## Conclusiones

Para lograr una mejor comprensión de las funciones necesarias en el sistema, se realizaron estudios referentes a las características mas significativas de la luz. Dentro de estas características se le dio un mayor énfasis a la polarización de la luz, su definición, los diferentes tipos de polarización, su representación en la esfera de Poincare y mediante los parámetros de Stokes.

Para tener un control preciso de los estados de polarización en una fibra se utilizaron compensadores de Lefevre, se obtuvo su función de transferencia mediante la caracterización de los diversos estados de polarización registrados a la salida de la fibra.

Se adaptaron a la estructura de los compensadores motores de pasos para, mediante un manejador de hardware y software, automatizar totalmente el sistema.

El control automático de polarización obtiene, mediante los compensadores de Lefevre, el analizador de polarización, el manejador y la PC, la polarización seleccionada de entre las siguientes seis opciones: lineal vertical, lineal horizontal, circular derecha, circular izquierda, lineal a  $45^\circ$  y lineal a  $135^\circ$ .

Para poder operar el sistema se automatizaron los siguientes equipos de medición: analizador de polarización, analizador de espectros óptico, analizador de espectros eléctrico, osciloscopio digital y controlador del láser. Estos equipos son los encargados de la toma de datos, los mismos que utiliza el algoritmo para la toma de decisiones.

Se implementó un generador de polarizaciones aleatorias el cual simula los esfuerzos a los que se ve sometida la fibra en un sistema de comunicaciones ópticas real, al cambiar la polarización de la luz de manera aleatoria en un intervalo definido de tiempo. Esta aplicación resuelve una necesidad real en el laboratorio de comunicaciones ópticas, ya que se puede caracterizar la respuesta de diversos dispositivos sensibles a la polarización.

Se caracterizó la respuesta un amplificador óptico de semiconductor, con respecto a su polarización de entrada, mediante el generador de polarizaciones aleatorias. Se analizaron los datos referentes a los puntos de menor y mayor amplificación y su correspondiente estado de polarización..

## **Trabajo a Futuro**

Optimizar el algoritmo del control automático de polarización, para de esta manera reducir el número de iteraciones y el tiempo de compensación necesario para obtener una polarización determinada.

Proponer un modelo matemático que caracterice al sistema, que incluya la función de transferencia de la señal después de cada uno de los compensadores de Lefevre.

Implementar una retroalimentación, la cual realice una compensación automática de la polarización a la entrada del sistema.

Implementar un generador de polarizaciones pseudoaleatorio, el cual asegure se obtengan la totalidad de las polarizaciones, de entre un número preestablecido de opciones.

## Bibliografía

- Bahaa E.A. Saleh, Malvin Carl Teich  
Fundamentals of Photonics  
John Wiley & Sons. Inc.
- Collet Edward  
Polarized Light: Fundamentals and Applications  
Marcel Dekker Inc. NY
- Hecht Zajac  
Optica  
Addison Wesley Longman
- Hentshel Christian  
Fiber Optics Handbook  
Hewlett Packard
- Clifford Martin  
Modern Electric / Electronic Motors  
Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ
- Graf Rudolf  
Modern Dictionary of Electronics  
Howard W. Sons &Co. Inc.
- National Instruments  
Lab View 4.1 Tutorial
- Borella Michael, Jue Jason P., Banerjee Dhritiman, Ramamurthy Byrav,  
Mukherjee Biswanath  
“Optical Components for WDM Lightwave Networks”  
IEEE, Vol. 85, No. 8, August 1997
- Garcilazo Ortiz Oscar de Jesus  
“Polarización en Comunicaciones Ópticas Coherentes”  
CICESE