

Puertas de Papel

Sistemas Lógicos y Electrónica 2D Basados en Grafos y Patrones de Grafito

Autor:

Sebastian Espinoza Dominguez

Damian Adair Rivas Estrada

Dylan Rempel Iglesias

Fecha: 10/11/2024

Índice general

1. Glosario	5
2. Introducción	7
3. Fundamentos Teóricos	9
3.1. Aplicabilidad en Electrónica Basada en Papel y Grafito	9
3.1.1. Beneficios y Limitaciones	9
3.2. Propiedades de los Materiales	10
3.2.1. Papel como Sustrato	10
3.2.2. Lápices de Grafito	10
3.2.3. Comparativa y Selección	10
4. Componentes electrónicos básicos	11
4.1. Tablas de resistencias	11
4.2. Lista de componentes existentes:	13
4.2.1. Transistor	13
4.2.2. Resistencias	13
4.2.3. Diodo	14
4.2.4. Condensadores	14
4.3. Componentes Secundarios	16
4.3.1. Fusible	16
4.3.2. Bobina	17
4.4. Limitaciones Actuales	18
5. Implementación Práctica y Resultados	19
5.1. Circuitos Básicos	19
5.2. Compuertas Lógicas	19
5.2.1. Compuerta NOT	19
5.2.2. Compuerta AND	19
5.2.3. Compuerta OR	19
5.2.4. Compuerta NAND	20
5.2.5. Compuerta NOR	20
5.2.6. Resumen	20
5.2.7. Conclusión	20

5.3. Circuitos Simples	22
5.4. Sistemas más Complejos	27
5.4.1. Seudo diseño de NE555	27
5.4.2. Memoria	31
6. Compilador	35
6.1. Introducción	35
6.2. Objetivos del Proyecto	35
6.3. Descripción del Compilador	35
6.4. Detalles del Diseño	36
6.5. Ejemplo de Uso	36
6.6. Versiones:	37
6.6.1. A)	37
6.6.2. B)	37
6.7. Generación de PDFs	38
6.8. Conclusiones	38
7. Actuadores de Papel Impreso Basados en Grafito	41
7.1. Componentes de un Actuador de Papel Impreso Basado en Grafito	41
7.2. Funcionamiento	42
7.2.1. Actuación Eléctrica	42
7.3. Tipos de Patrones en Actuadores Basados en Grafito	42
7.4. Importancia de los Patrones	43
7.5. Consumo Energético en Actuadores de Papel Impreso Basados en Grafito	44
7.5.1. Factores que Afectan el Consumo de Energía	44
7.5.2. Rango Estimado de Energía	45
7.5.3. Ejemplo de Cálculo Básico	45
7.5.4. Consideraciones de Eficiencia	45
8. Análisis y Discusión	47
9. Conclusiones y Futuras Aplicaciones	49
9.1. Conclusiones	49
9.1.1. Futuras Aplicaciones	49

Capítulo 1

Glosario

Término	Definición
Transistor	Dispositivo semiconductor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas.
Resistencia	Componente que limita el flujo de corriente eléctrica en un circuito.
Conexión	Líneas de grafito utilizadas para interconectar componentes en los circuitos.
Diodo	Componente que permite el paso de corriente en una sola dirección, bloqueando el paso en la dirección opuesta.
Bobina	Componente eléctrico que almacena energía en un campo magnético cuando pasa corriente a través de él.
Grafito	Material conductor utilizado para fabricar componentes en circuitos de papel, especialmente en la forma de lápices.
Término	Definición

Capítulo 2

Introducción

En la búsqueda de alternativas económicas y sostenibles para la creación de dispositivos electrónicos, la fabricación de transistores utilizando materiales accesibles como papel y grafito se posiciona como una solución prometedora. Este enfoque innovador aprovecha las propiedades conductoras del grafito, combinado con la versatilidad y bajo costo del papel, como un sustrato flexible y biodegradable.

El uso de grafito, un material ampliamente disponible y de bajo costo, como conductor en estos transistores, abre nuevas posibilidades para el diseño de circuitos electrónicos. Además, esta tecnología permite la integración de otras tintas conductoras o semiconductoras, ampliando su funcionalidad y posibilitando la creación de dispositivos electrónicos más avanzados. Estas tintas, que pueden incluir compuestos orgánicos o metálicos, hacen posible adaptar los circuitos convencionales a este tipo de tecnología innovadora, ofreciendo una transición hacia soluciones más económicas y accesibles.

Una de las principales ventajas de esta propuesta es su capacidad para reducir significativamente los costos de producción en comparación con los métodos tradicionales que requieren materiales costosos como el silicio. Esto no solo facilita la fabricación de dispositivos electrónicos en contextos con recursos limitados, sino que también fomenta un enfoque más sostenible al reducir el impacto ambiental asociado con los métodos de producción tradicionales.

En términos de aplicaciones, esta tecnología tiene el potencial de revolucionar diversas industrias. Por ejemplo, puede ser utilizada en el desarrollo de sensores, etiquetas inteligentes y dispositivos electrónicos portátiles, donde el bajo costo y la flexibilidad son factores clave. Asimismo, podría jugar un papel fundamental en la educación y la investigación, permitiendo a estudiantes e investigadores trabajar con prototipos funcionales sin los elevados costos de los materiales electrónicos convencionales.

En resumen, el diseño y fabricación de transistores basados en papel y grafito no solo permite crear dispositivos electrónicos avanzados a bajo costo, sino que también allana el camino hacia una electrónica más accesible, adaptable y sostenible, marcando un avance significativo en la tecnología moderna.

Capítulo 3

Fundamentos Teóricos

3.1. Aplicabilidad en Electrónica Basada en Papel y Grafito

Los glifos son los trazos conductores dibujados con lápices de grafito sobre papel. En este caso, las propiedades de los trazos (como resistencia eléctrica y forma geométrica) se traducen en pesos asociados a las aristas del grafo. Por ejemplo:

- - Los trazos realizados con lápices de mayor dureza (como 3H) tendrán pesos mayores debido a su mayor resistencia eléctrica.
- - Trazos realizados con lápices más blandos (como 9B) tendrán pesos significativamente menores, representando una mejor conductividad.
- - Las curvas o giros en los trazos se pueden modelar como nodos intermedios, donde la resistencia puede variar según la geometría del diseño.

Esta representación permite analizar el circuito como un grafo ponderado, facilitando el cálculo de parámetros clave como la resistencia total entre dos puntos, la distribución de corriente o incluso la identificación de cuellos de botella en el diseño.

3.1.1. Beneficios y Limitaciones

- **Visualización clara:** Permite simplificar el análisis y diseño de circuitos complejos.
- **Optimización:** Ayuda a identificar configuraciones eficientes, como rutas de baja resistencia para la conducción de corriente.
- **Adaptabilidad:** Puede extenderse a circuitos híbridos que incorporen otros materiales o tecnologías.

Sin embargo, las limitaciones de esta técnica radican en la precisión del modelo en comparación con la realidad física. Factores como irregularidades en los trazos, desgaste del papel o la variabilidad en las propiedades del grafito pueden introducir desviaciones entre el modelo teórico y el rendimiento práctico. A pesar de ello, los glifos siguen siendo una herramienta fundamental para avanzar en el diseño y análisis de circuitos electrónicos basados en papel y grafito.

3.2. Propiedades de los Materiales

Los materiales utilizados para la fabricación de estos componentes electrónicos son principalmente papel como sustrato y lápices de grafito de distintas durezas. Cada tipo de lápiz presenta una conductividad eléctrica diferente, lo que permite ajustar la resistencia de los trazos según las necesidades del diseño. A continuación, se describen las propiedades de estos materiales:

3.2.1. Papel como Sustrato

El papel actúa como un sustrato flexible, liviano y de bajo costo. Sus propiedades dieléctricas lo hacen adecuado para soportar trazos conductores sin interferencias significativas. Sin embargo, su naturaleza porosa y la posibilidad de degradación por humedad representan desafíos que deben considerarse en aplicaciones a largo plazo.

3.2.2. Lápices de Grafito

Los lápices de grafito son los conductores principales en esta tecnología. La resistencia eléctrica de los trazos depende de la dureza del lápiz, que está relacionada con la proporción de arcilla y grafito en su composición. Los datos experimentales obtenidos para diferentes durezas de lápices son los siguientes:

3.2.3. Comparativa y Selección

La elección del lápiz depende de la aplicación específica del componente. Para dispositivos que requieren alta conductividad, como contactos eléctricos o trazos principales, se prefieren lápices de dureza blanda (como 9B). Por otro lado, lápices más duros (como 3H) son útiles en aplicaciones donde una resistencia más alta es necesaria, como en el diseño de resistencias simples.

Estos materiales destacan no solo por su accesibilidad y bajo costo, sino también por la posibilidad de ajustar las propiedades eléctricas de los trazos de manera sencilla y práctica. Sin embargo, su estabilidad y durabilidad pueden variar dependiendo de factores ambientales y el método de aplicación, lo que plantea áreas para optimización futura.

Capítulo 4

Componentes electrónicos básicos

Principios de Funcionamiento y Limitaciones Actuales

*/Los componentes electrónicos básicos diseñados con materiales como papel y grafito operan siguiendo principios fundamentales de la electrónica, ajustados a las propiedades intrínsecas de estos materiales. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la conducción de corriente a través de trazos de grafito aplicados sobre un sustrato de papel. La resistencia eléctrica de cada trazo está determinada principalmente por factores como el grosor, la uniformidad y la densidad del grafito en el trazo.

Los parámetros clave que afectan el rendimiento incluyen:

- Grosor del trazo: Un trazo más grueso tiene menor resistencia debido a que permite una mayor cantidad de corriente a través de su sección transversal.
- Cantidad y calidad del grafito: La conductividad depende de la proporción de partículas de grafito que forman una red continua capaz de transportar carga. Un trazo irregular o con huecos aumenta la resistencia.
- Geometría del diseño: Las curvas, ángulos y trazos discontinuos pueden introducir cambios en la resistencia y afectar el flujo de corriente. Las zonas con radios de giro pequeños o ángulos pronunciados tienden a concentrar la resistencia, reduciendo la eficiencia.

Estos principios también permiten adaptar propiedades específicas al diseño, como variar la resistencia de un componente ajustando la densidad del grafito o el tamaño del trazo, lo que habilita la creación de resistencias, circuitos simples y otros elementos electrónicos.

4.1. Tablas de resistencias

Acontinuacion se añade una tabla con el grado de lapiz y su respectiva Resistencia

Tipo de lápiz	Resistencia ($M\Omega$)	Descripción
9H	5.50	Lápiz extremadamente duro con alto contenido de arcilla, ofreciendo muy baja conductividad eléctrica.
6H	4.10	Dureza alta con una resistencia eléctrica elevada debido a su menor contenido de grafito.
3H	2.03	Presenta una resistencia alta debido a su mayor contenido de arcilla, lo que ofrece una menor conductividad.
H	1.80	Proporciona una dureza estándar con resistencia moderada; menor conductividad que los lápices más blandos.
HB	1.50	Lápiz equilibrado entre dureza y blandura, con conductividad intermedia.
2B	1.10	Contiene más grafito que HB, lo que mejora la conductividad eléctrica.
4B	1.37	Tiene una resistencia inter/media, ya que contiene más grafito que los lápices de dureza mayor (como H).
6B	0.50	Lápiz blando con alto contenido de grafito, proporcionando mayor conductividad.
9B	0.028	Exhibe una resistencia significativamente menor debido a su alto contenido de grafito, lo que lo hace adecuado para trazos de baja resistencia.

4.2. Lista de componentes existentes:

4.2.1. Transistor

El diseño del transistor en este sistema presenta una estructura que puede compararse con una combinación entre la letra "T" mayúscula y la letra griega "I" (ípsilon) mayúscula. Esta analogía se debe a la disposición de las terminales del transistor: colector, base y emisor, que interactúan de manera similar a los puntos de convergencia en estas letras. El principio de funcionamiento del transistor se fundamenta en las propiedades intrínsecas de las corrientes eléctricas y la relación entre voltaje y resistencia. En términos generales, la energía eléctrica siempre fluye desde un punto de mayor potencial hacia uno de menor potencial. La corriente eléctrica, a su vez, busca el camino de menor resistencia, desplazándose del colector al emisor en un transistor bipolar.

La base del transistor actúa como un punto de control que regula este flujo de corriente. Cuando se aplica un pequeño voltaje o corriente en la base, se modula la conductividad entre el colector y el emisor, permitiendo o restringiendo el paso de corriente a través del transistor. Esto significa que, si el potencial en la base cambia o varía significativamente, puede interrumpir o desviar el flujo de corriente hacia el punto objetivo, afectando la operación general del circuito. En términos prácticos, el transistor funciona como un interruptor o amplificador, dependiendo del contexto de su aplicación. En modo interruptor, puede abrir o cerrar el paso de corriente, mientras que, en modo amplificador, puede aumentar la señal de entrada. Su capacidad para controlar el flujo de corriente con precisión lo convierte en un componente esencial en la electrónica moderna, utilizado en circuitos de amplificación, conmutación y procesamiento de señales.

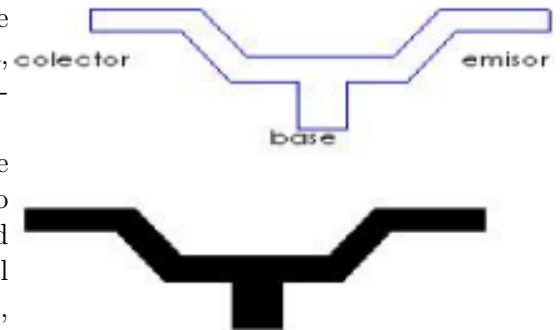


Figura 4.1: Diseño de transistor.

4.2.2. Resistencias

Las resistencias basadas en grafito funcionan utilizando las propiedades conductoras del material depositado por un lápiz. Su resistencia depende de dos factores principales: la dureza del lápiz y el tamaño del trazo. Los lápices duros (H) contienen menos grafito y más arcilla, lo que crea trazos menos conductivos y aumenta la resistencia, mientras que los lápices blandos (B) depositan más grafito, generando menor resistencia. Además, la longitud, el ancho y el grosor del trazo influyen directamente: un trazo más largo o delgado aumenta la resistencia, mientras que uno más ancho o grueso la reduce. En resumen, la resistencia varía según la cantidad de grafito y las dimensiones del trazo, lo que afecta la conductividad eléctrica.

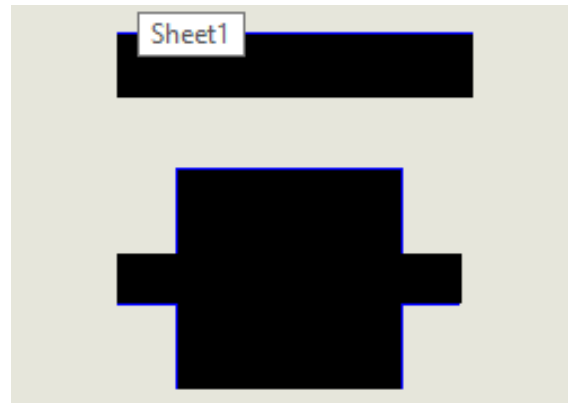


Figura 4.2: Resistencias de grafito: Ejemplo de trazo y conductividad.

4.2.3. Diodo

El diodo tiene un diseño que se asemeja a una letra "H" mayúscula, pero con la línea intermedia desplazada hacia arriba. Su función principal es permitir que la energía fluya en una sola dirección, del punto A al punto B. Este diseño especial crea una barrera que fuerza el flujo de corriente hacia adelante, impidiendo que regrese en la dirección opuesta. Debido a la posición de la línea intermedia, se genera una resistencia que aumenta el consumo de energía cuando se intenta forzar la corriente en sentido contrario. Como resultado, la energía tiene una probabilidad muy baja de regresar, ya que hacerlo requiere superar una mayor resistencia.

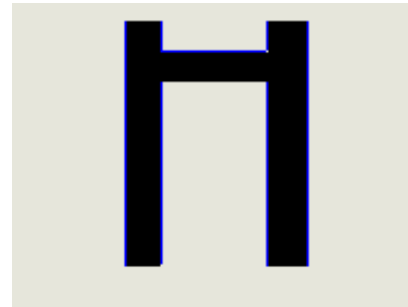


Figura 4.3: Diseño de diodo.

4.2.4. Condensadores

Existen dos diseños principales para condensadores en este sistema. El primero tiene una estructura plana, formada por dos "T" mayúsculas colocadas a 180 grados y en paralelo. La energía se almacena en el espacio entre estos dos puntos, utilizando una lámina de papel como dieléctrico para conservar la carga. Este diseño simple permite observar cómo la separación entre las placas y el material aislante influye en la capacidad de almacenamiento de energía.

El segundo diseño tiene una estructura tridimensional, con la forma de un hexágono partido a la mitad, separado por una pequeña distancia. La mitad izquierda del hexágono es ligeramente más pequeña que la derecha. Ambas mitades están conectadas por un terminal externo, y el interior del hexágono está completamente relleno con grafito, lo que actúa como conductor. Para formar el condensador, el hexágono se dobla sobre sí mismo, dejando un espacio entre ambas mitades donde se coloca cinta adhesiva o papel, que actúa como dieléctrico. Este material aislante permite almacenar energía electrostática entre las dos superficies conductoras.

En ambos casos, la función principal del condensador es almacenar y liberar energía en forma de carga eléctrica, dependiendo de la separación entre las placas y del material die-

léctrico utilizado. Esto ilustra cómo diferentes configuraciones pueden afectar la capacidad de almacenamiento y el comportamiento eléctrico del componente.

Existen dos diseños principales para condensadores en este sistema. El primero tiene una estructura plana, formada por dos "T" mayúsculas colocadas a 180 grados y en paralelo. La energía se almacena en el espacio entre estos dos puntos, utilizando una lámina de papel como dieléctrico para conservar la carga. Este diseño simple permite observar cómo la separación entre las placas y el material aislante influye en la capacidad de almacenamiento de energía.

El segundo diseño tiene una estructura tridimensional, con la forma de un hexágono partido a la mitad, separado por una pequeña distancia. La mitad izquierda del hexágono es ligeramente más pequeña que la derecha. Ambas mitades están conectadas por un terminal externo, y el interior del hexágono está completamente relleno con grafito, lo que actúa como conductor. Para formar el condensador, el hexágono se dobla sobre sí mismo, dejando un espacio entre ambas mitades donde se coloca cinta adhesiva o papel, que actúa como dieléctrico. Este material aislante permite almacenar energía electrostática entre las dos superficies conductoras.

En ambos casos, la función principal del condensador es almacenar y liberar energía en forma de carga eléctrica, dependiendo de la separación entre las placas y del material dieléctrico utilizado. Esto ilustra cómo diferentes configuraciones pueden afectar la capacidad de almacenamiento y el comportamiento eléctrico del componente.

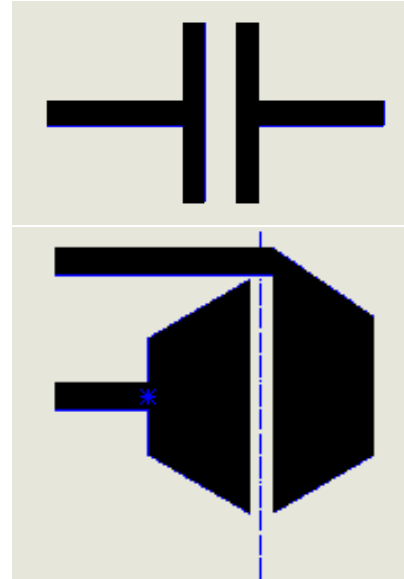


Figura 4.4: Diseños de condensadores.

4.3. Componentes Secundarios

4.3.1. Fusible

A diferencia de las resistencias, cuyo diseño y funcionalidad dependen en gran medida de la capacidad de disipar calor de manera eficiente, el área central de los fusibles es considerablemente más pequeña. Sin embargo, a pesar de esta reducción en tamaño, los fusibles no requieren un proceso intensivo de miniaturización para su correcto funcionamiento, debido a las características propias de su tecnología. Esto se debe a que los fusibles están diseñados para reaccionar de manera muy específica y rápida a cambios en la corriente eléctrica, sin la necesidad de componentes adicionales que impliquen complejidad o miniaturización avanzada.

El fusible, aunque compacto, sigue siendo un componente esencial en una gran variedad de sistemas eléctricos y electrónicos. Su función principal es proteger los circuitos al evitar que sobrecargas de corriente causen daños significativos a los equipos o incluso incendios. Esta protección se logra a través de la interrupción del flujo de corriente cuando detecta que el nivel de la misma ha superado un límite seguro. El material del fusible, generalmente una aleación metálica, se funde cuando la corriente excede un umbral específico, lo que corta el flujo eléctrico y evita que la sobrecarga dañe los componentes del sistema. Además, esta característica de protección es crucial tanto en aplicaciones domésticas como industriales, ya que permite mantener la seguridad y la fiabilidad de los dispositivos eléctricos, garantizando su funcionamiento adecuado y prolongando su vida útil.

Por su tamaño reducido y su eficiente método de protección, los fusibles son una solución económica y efectiva, a menudo preferida en situaciones donde el espacio es limitado, pero la seguridad sigue siendo una prioridad.

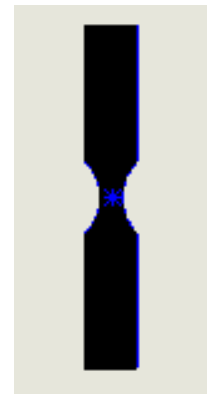


Figura 4.5: Diseño de diodo.

4.3.2. Bobina

La bobina es un componente fundamental en la electrónica, utilizado en una amplia gama de aplicaciones debido a sus propiedades magnéticas y eléctricas. Su estructura básica consiste en un hilo conductor enrollado en espiral, generalmente de cobre, que forma una serie de vueltas alrededor de un núcleo. Este diseño permite que la bobina almacene energía en un campo magnético cuando una corriente eléctrica fluye a través de ella.

En términos de funcionamiento, las bobinas se basan en el principio de inductancia, que es la capacidad de un conductor de generar un campo magnético en respuesta al paso de una corriente eléctrica. La inductancia de una bobina depende de varios factores, como el número de vueltas, el diámetro del alambre, el material del núcleo y la frecuencia de la corriente que la atraviesa. Cuanto mayor sea el número de vueltas en el alambre, mayor será la inductancia, lo que permite que la bobina almacene más energía magnética.

Las bobinas son esenciales en el diseño de circuitos electrónicos, ya que tienen la capacidad de filtrar señales, bloquear ciertas frecuencias o almacenar energía temporalmente. En aplicaciones como transformadores, motores eléctricos y fuentes de alimentación, las bobinas permiten la conversión de energía, la regulación de voltajes y la protección contra picos de corriente. En los filtros de frecuencias, por ejemplo, las bobinas se utilizan para eliminar interferencias de alta frecuencia, permitiendo que solo las señales deseadas pasen a través del circuito.

Una de las características importantes de las bobinas es su comportamiento ante la corriente alterna (CA). En estos casos, la bobina resiste los cambios rápidos de corriente, lo que le permite controlar la variación en las señales eléctricas. Esta propiedad es crucial en aplicaciones como radios, televisores, y equipos de comunicación, donde las señales de alta frecuencia deben ser gestionadas adecuadamente.

En resumen, las bobinas son componentes versátiles y esenciales en la electrónica, con aplicaciones que van desde la generación de campos magnéticos hasta la regulación de señales y el almacenamiento de energía. Su diseño y funcionamiento basados en la inductancia las convierten en elementos clave en el diseño y la protección de circuitos electrónicos modernos.



Figura 4.6: Diseño de diodo.

4.4. Limitaciones Actuales

A pesar de las prometedoras aplicaciones de los diseños basados en papel y grafito, existen varias limitaciones tecnológicas que restringen su rendimiento:

- **Baja conductividad del grafito:** Aunque el grafito es un conductor económico y accesible, su conductividad eléctrica es considerablemente inferior a la de metales como el cobre o el oro. Esta característica limita la cantidad de corriente que puede transportar sin generar pérdidas significativas de energía.
- **Fragilidad estructural:** Los trazos de grafito son susceptibles al desgaste y la rotura física, lo que compromete la durabilidad y estabilidad de los circuitos a largo plazo.
- **Restricciones bidimensionales:** Los diseños actuales están limitados a un solo plano, ya que tanto el papel como los trazos de grafito no permiten configuraciones tridimensionales complejas. Esto restringe la capacidad de miniaturización y la densidad de los componentes.
- **Variabilidad en la uniformidad de los trazos:** Garantizar una distribución homogénea de grafito en los trazos es complicado, especialmente cuando se utilizan métodos manuales o herramientas no especializadas. Esta falta de uniformidad puede provocar inconsistencias en el rendimiento de los circuitos.
- **Dificultades en la integración con otros materiales:** Aunque es posible incorporar tintas conductoras o semiconductoras, la compatibilidad química y mecánica entre el grafito, el papel y otros materiales puede ser un desafío. Esta limitación es aún más relevante en aplicaciones avanzadas donde se requieren combinaciones de materiales precisas y de alta eficiencia.

Con el avance de las técnicas de fabricación, como la mejora de las herramientas de impresión o el desarrollo de nuevas formulaciones de grafito combinado con otros conductores, es posible que estas limitaciones puedan mitigarse parcialmente. No obstante, la naturaleza inherente del grafito como material y las restricciones del enfoque bidimensional seguirán definiendo los límites de rendimiento de esta tecnología.

Capítulo 5

Implementación Práctica y Resultados

5.1. Circuitos Básicos

5.2. Compuertas Lógicas

Las compuertas lógicas son bloques fundamentales en la electrónica digital. Cada compuerta realiza una operación booleana específica que depende de sus entradas y produce una salida en función de una regla lógica. A continuación, se describen algunas de las compuertas más comunes:

5.2.1. Compuerta NOT

La compuerta **NOT**, también conocida como inversor, tiene una sola entrada y su salida es el valor inverso de la entrada. Es decir, si la entrada es 1, la salida será 0, y si la entrada es 0, la salida será 1.

$$\text{NOT}(A) = \bar{A}$$

5.2.2. Compuerta AND

La compuerta **AND** tiene dos o más entradas y su salida será 1 solo si todas las entradas son 1. En cualquier otro caso, la salida será 0.

$$\text{AND}(A, B) = A \cdot B$$

5.2.3. Compuerta OR

La compuerta **OR** también tiene dos o más entradas. Su salida será 1 si al menos una de las entradas es 1. Solo será 0 si todas las entradas son 0.

$$\text{OR}(A, B) = A + B$$

5.2.4. Compuerta NAND

La compuerta **NAND** es una versión inversa de la compuerta AND. Su salida será 0 solo cuando todas las entradas sean 1. En cualquier otro caso, la salida será 1.

$$\text{NAND}(A, B) = \overline{A \cdot B}$$

5.2.5. Compuerta NOR

La compuerta **NOR** es la inversa de la compuerta OR. Su salida será 1 solo cuando todas las entradas sean 0. Si alguna de las entradas es 1, la salida será 0.

$$\text{NOR}(A, B) = \overline{A + B}$$

5.2.6. Resumen

A continuación, se presentan las tablas de verdad para cada una de estas compuertas lógicas:

A	B	AND(A, B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Cuadro 5.1: Tabla de verdad para la compuerta AND

A	B	OR(A, B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Cuadro 5.2: Tabla de verdad para la compuerta OR

A	B	NAND(A, B)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Cuadro 5.3: Tabla de verdad para la compuerta NAND

5.2.7. Conclusión

Las compuertas lógicas son esenciales para el diseño de circuitos digitales. A través de combinaciones de estas compuertas, se pueden implementar operaciones lógicas más

A	B	NOR(A, B)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Cuadro 5.4: Tabla de verdad para la compuerta NOR

A	B	NOT(A)
0	-	1
1	-	0

Cuadro 5.5: Tabla de verdad para la compuerta NOT

complejas, como sumas y multiplicaciones binarias, lo que constituye la base de los sistemas computacionales.

5.3. Circuitos Simples

1. Compuerta NOT

La compuerta NOT, también conocida como inversor, es una de las compuertas lógicas más simples dentro de la teoría de circuitos digitales. Su principal función es invertir el valor lógico de la señal que recibe en su entrada. Esto significa que si la entrada es un 1 (o verdadero), la salida será un 0 (falso), y si la entrada es un 0 (falso), la salida será un 1 (verdadero). En otras palabras, el comportamiento de esta compuerta puede representarse mediante la fórmula lógica:

$$\text{Salida} = \neg(\text{Entrada})$$

Por ejemplo, si la entrada de la compuerta es 0, su salida será 1, y si la entrada es 1, la salida será 0. Esta compuerta es fundamental para la construcción de circuitos lógicos más complejos, ya que actúa como el bloque básico para la inversión de señales.

2. Compuerta NAND

La compuerta NAND es una de las compuertas lógicas combinacionales más utilizadas, y se considera la negación de la compuerta AND. Mientras que la compuerta AND produce una salida de 1 solo cuando ambas entradas son 1, la compuerta NAND invierte este comportamiento: su salida será 0 únicamente cuando ambas entradas sean 1. En cualquier otro caso (cuando una o ambas entradas son 0), la salida será 1. Esta operación lógica se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{Salida} = \neg(\text{Entrada}_1 \wedge \text{Entrada}_2)$$

La compuerta NAND es de suma importancia en la electrónica digital porque, debido a su capacidad para realizar la operación de negación sobre una compuerta AND, puede ser utilizada para implementar cualquier otra compuerta lógica (como NOT, AND y OR), lo que la convierte en una "compuerta universal". Además, en la práctica, es muy eficiente en términos de recursos y se utiliza ampliamente en la fabricación de circuitos integrados.

3. Compuerta NOR

La compuerta NOR es otra compuerta lógica fundamental que realiza la negación de la operación lógica OR. Mientras que la compuerta OR produce una salida de 1 cuando al menos una de sus entradas es 1, la compuerta NOR invierte este comportamiento: su salida será 1 únicamente cuando ambas entradas sean 0. En todos los demás casos (cuando al menos una entrada es 1), la salida será 0. Esta operación lógica se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Salida} = \neg(\text{Entrada}_1 \vee \text{Entrada}_2)$$

Al igual que la compuerta NAND, la compuerta NOR también se considera una compuerta universal, lo que significa que puede ser utilizada para construir otras compuertas lógicas básicas, como AND, OR y NOT. El uso de compuertas NOR en circuitos integrados y

sistemas digitales es común debido a su simplicidad y a la facilidad con la que se pueden combinar para formar circuitos más complejos.

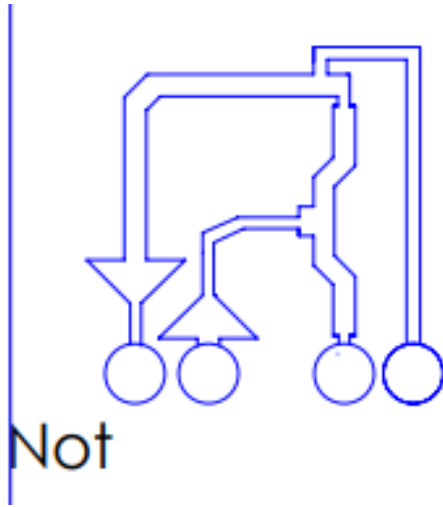


Figura 5.1: *
a) Circuito básico 1

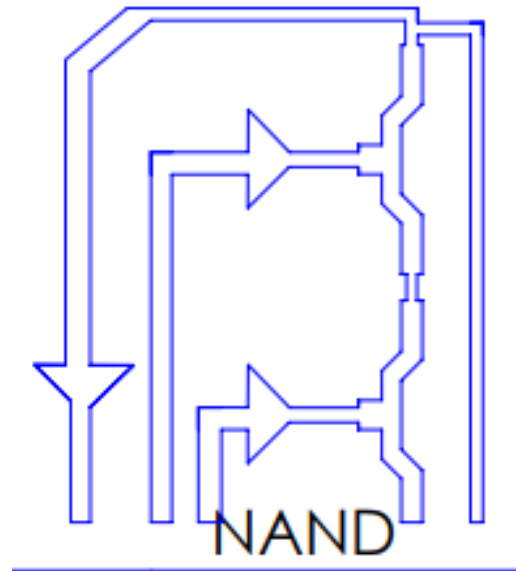


Figura 5.2: *
b) Circuito básico 2

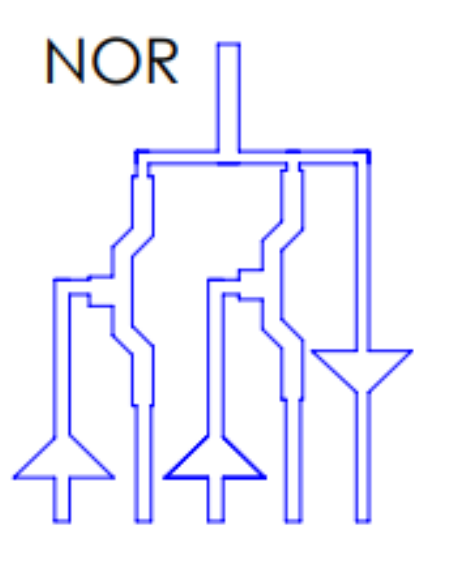


Figura 5.3: *
c) Circuito básico 3

Figura 5.4: Representación de circuitos básicos utilizando compuertas lógicas

4. Compuerta OR

La compuerta OR es una compuerta lógica de dos entradas cuya función es producir una salida de 1 si al menos una de las entradas es 1. Solo producirá una salida de 0 cuando ambas entradas sean 0. Este comportamiento puede ser expresado mediante la siguiente fórmula lógica:

$$\text{Salida} = \text{Entrada}_1 \vee \text{Entrada}_2$$

En otras palabras, la salida de la compuerta OR será 1 en los siguientes casos: cuando la primera entrada es 1 y la segunda es 0, cuando la primera entrada es 0 y la segunda es 1, o cuando ambas entradas son 1. Solo en el caso en que ambas entradas sean 0, la salida será 0. La compuerta OR es ampliamente utilizada en la creación de circuitos que necesitan detectar cualquier entrada activa, es decir, cualquier entrada que sea 1.

5. Compuerta AND

La compuerta AND es una compuerta lógica también de dos entradas. Su salida será 1 únicamente cuando ambas entradas sean 1. En cualquier otro caso (cuando al menos una de las entradas es 0), la salida será 0. Este comportamiento puede ser representado de la siguiente manera:

$$\text{Salida} = \text{Entrada}_1 \wedge \text{Entrada}_2$$

Esto implica que, si ambas entradas son 1, la salida será 1, pero si alguna de las entradas es 0, la salida será 0. La compuerta AND es fundamental en la construcción de circuitos donde es necesario que ambas condiciones (entradas) sean verdaderas para que se obtenga una salida positiva. Es utilizada en una gran variedad de aplicaciones, como en la implementación de condiciones de activación simultánea en sistemas digitales.

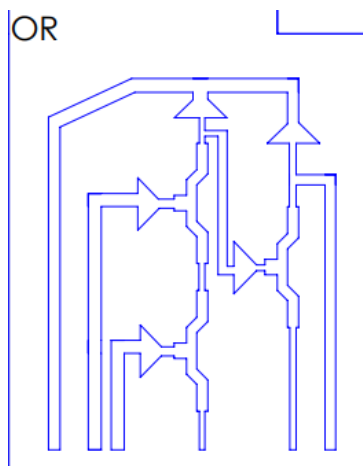


Figura 5.5: *

a) Circuito con compuerta OR

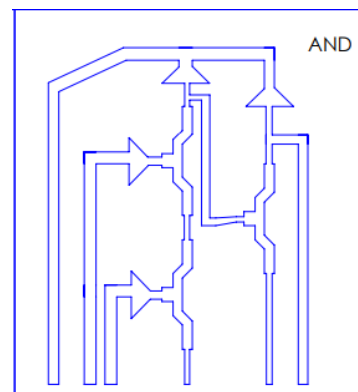


Figura 5.6: *

b) Circuito con compuerta AND

Figura 5.7: Implementación de un circuito lógico con compuertas OR y AND

6. Interruptor para Emisor de Luz Controlado mediante un Transistor

Un interruptor para un emisor de luz controlado mediante un transistor es un ejemplo de cómo se pueden usar componentes electrónicos para controlar el flujo de corriente a dispositivos como bombillas o LEDs. En este caso, el transistor actúa como un interruptor que permite o bloquea el paso de corriente eléctrica hacia el emisor de luz, dependiendo de la señal de control aplicada a su base.

Funcionamiento del Transistor como Interruptor Los transistores, que son dispositivos semiconductores, tienen tres terminales: base (B), colector (C) y emisor (E). Cuando se aplica una corriente pequeña en la base del transistor, se produce una variación en la conductividad entre el colector y el emisor. Este fenómeno permite que el transistor funcione como un interruptor que puede encender o apagar el emisor de luz.

- ****Cuando el transistor está en modo conducción (encendido)**:** Si se aplica una corriente suficiente a la base del transistor (en el caso de un transistor NPN, por ejemplo, se aplica una pequeña corriente positiva), el transistor permite el paso de corriente desde el colector al emisor. Esto hace que el emisor de luz (como un LED o una bombilla) se ilumine, ya que el flujo de corriente hacia el emisor de luz está habilitado.

- ****Cuando el transistor está en modo corte (apagado)**:** Si no se aplica corriente suficiente a la base del transistor, este actúa como un interruptor abierto, bloqueando el paso de corriente desde el colector al emisor. Como resultado, el emisor de luz no recibe corriente y permanece apagado.

Esquema de Conexión El esquema básico de un circuito que utiliza un transistor como interruptor para controlar un emisor de luz (LED, por ejemplo) es el siguiente:

- El emisor de luz (LED) está conectado en serie con una resistencia limitadora de corriente, la cual asegura que no circule más corriente de la necesaria para proteger el componente.
- El colector del transistor está conectado a uno de los terminales del emisor de luz.
- El otro terminal del emisor de luz está conectado a la fuente de alimentación (por ejemplo, una batería o fuente de voltaje positivo).
- La base del transistor está conectada a un interruptor o a un circuito de control, a través de una resistencia limitadora de corriente para proteger la base del transistor.
- El emisor del transistor se conecta a tierra (o al terminal negativo de la fuente de alimentación).

Fórmulas y Consideraciones Para que el transistor funcione correctamente como interruptor, se deben tener en cuenta algunas consideraciones importantes:

- La corriente base I_B debe ser suficientemente alta para que el transistor entre en saturación y permita el paso de corriente entre el colector y el emisor. Esto se puede calcular utilizando la relación entre las corrientes de base y colector $I_C = \beta \cdot I_B$, donde β

es el factor de ganancia del transistor. - La corriente de colector I_C debe estar limitada para evitar dañar el transistor o el emisor de luz. Esto se hace usando una resistencia limitadora en serie con el LED o bombilla. - En un transistor NPN, cuando se aplica una corriente positiva en la base, el transistor permite el paso de corriente entre el colector y el emisor, activando así el emisor de luz. Para un transistor PNP, el principio es similar, pero la corriente en la base debe ser negativa.

Aplicaciones Este tipo de configuración es útil en una variedad de aplicaciones, como: - ****Sistemas de iluminación automatizados****: Donde la corriente a una bombilla o LED se controla automáticamente según ciertas condiciones (como la luz ambiental o el tiempo). - ****Sistemas de control remoto****: Usando señales de control, como las de un microcontrolador, para encender o apagar luces o dispositivos eléctricos. - ****Proyectos de electrónica de bajo costo****: Debido a la simplicidad y eficiencia del transistor como interruptor, es una solución económica para controlar dispositivos.

El uso de un transistor como interruptor es una de las formas más comunes de controlar cargas eléctricas en sistemas de electrónica, proporcionando una forma sencilla, confiable y eficiente de manejar dispositivos como emisores de luz.

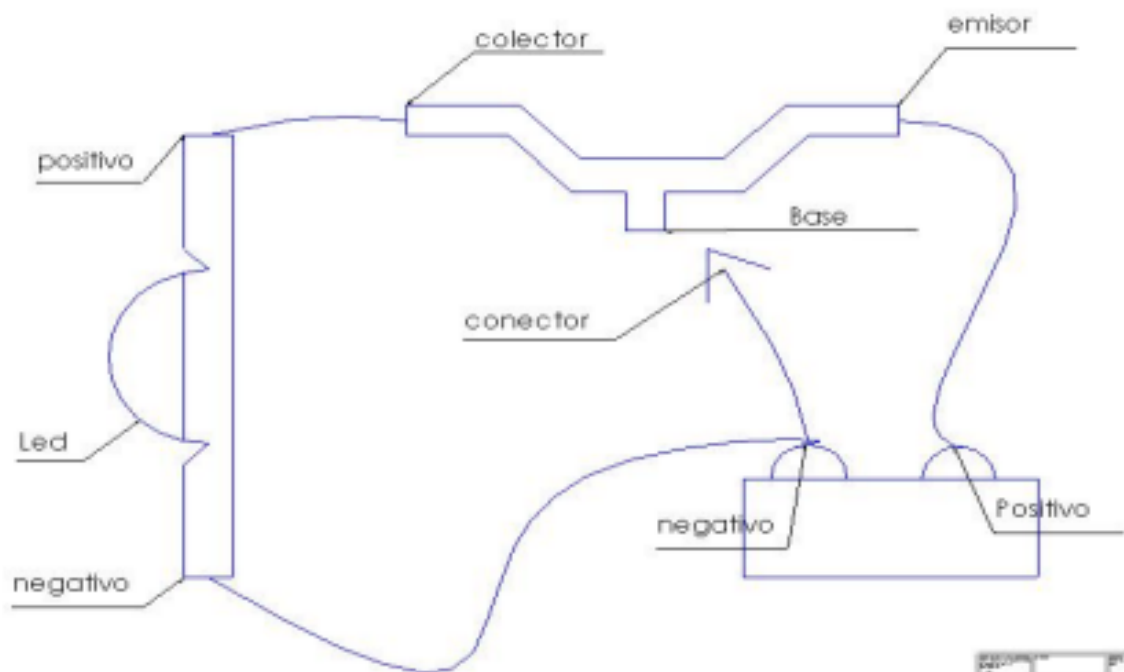


Figura 5.8: Ejemplo de un sistema interruptor sencillo

5.4. Sistemas más Complejos

Los transistores son componentes fundamentales en la electrónica moderna, ya que permiten la creación de sistemas cada vez más sofisticados. Gracias a su capacidad para controlar y amplificar señales eléctricas con alta precisión, los transistores desempeñan un papel crucial en el desarrollo de dispositivos electrónicos avanzados. A continuación, se exploran algunas de las formas en que los transistores contribuyen a la evolución de sistemas más complejos.

- **Eficiencia energética:** Los transistores de tamaño reducido consumen menos energía durante su funcionamiento, lo que mejora la eficiencia de los dispositivos. Esto permite realizar operaciones más complejas sin afectar el rendimiento, lo que resulta esencial para el desarrollo de dispositivos potentes y de bajo consumo energético.
- **Escalabilidad:** Los transistores pueden organizarse en configuraciones complejas para formar circuitos digitales escalables. De esta forma, a medida que aumenta la demanda de mayor capacidad de procesamiento, es posible agregar más transistores o mejorar su rendimiento para satisfacer esas necesidades, sin la necesidad de rediseñar todo el sistema desde cero.
- **Base de los circuitos lógicos:** Los transistores son la base de los circuitos lógicos, fundamentales para la creación de sistemas digitales. Al combinar transistores en diversas configuraciones, como puertas lógicas (AND, OR, NOT, etc.), se pueden realizar operaciones complejas que constituyen la base de los cálculos computacionales. Esto permite el diseño de procesadores capaces de ejecutar desde tareas simples hasta algoritmos altamente complejos.

5.4.1. Seudo diseño de NE555

El NE555 es uno de los circuitos integrados más populares y versátiles en electrónica, utilizado comúnmente como temporizador, oscilador o generador de pulsos. Este IC (integrated circuit) se emplea en una amplia variedad de aplicaciones, desde circuitos de temporización hasta generación de señales de frecuencia. El NE555 se caracteriza por su sencillez, fiabilidad y bajo costo, lo que lo hace ideal tanto para principiantes como para profesionales en electrónica.

Principio de Funcionamiento El NE555 puede operar en tres modos principales: **monostable**, **astable** y **bistable**.

1. **Modo Monostable** En este modo, el NE555 funciona como un temporizador de una sola duración. Cuando se aplica un pulso a su entrada de disparo (pin 2), el NE555 cambia su salida (pin 3) de 0 a 1 durante un intervalo de tiempo determinado, después de lo cual vuelve a 0. El tiempo que permanece en el estado alto está determinado por un resistor y un condensador conectados al IC, y puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$T = 1,1 \cdot R \cdot C$$

donde: - T es el tiempo de salida en segundos, - R es la resistencia conectada al pin 7 (descarga), - C es la capacidad conectada al pin 6 (umbral).

2. Modo Astable En el modo astable, el NE555 actúa como un generador de pulsos o una onda cuadrada. En este modo, no es necesario aplicar un pulso de entrada, ya que el NE555 genera automáticamente una señal continua de salida. La frecuencia de la señal de salida depende de los valores de las resistencias y el condensador conectados al circuito, y se calcula de la siguiente forma:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2) \cdot C}$$

donde: - f es la frecuencia de salida en Hertz (Hz), - R_1 y R_2 son las resistencias conectadas al NE555, - C es el condensador conectado al pin 6 (umbral).

3. Modo Bistable En este modo, el NE555 funciona como un flip-flop, con dos estados estables. La salida puede ser 1 o 0, dependiendo de las señales de disparo y reinicio (pins 2 y 4). Este modo se utiliza para aplicaciones como interruptores electrónicos o memoria de estado.

Conexión y Pinout El NE555 tiene 8 pines, con las siguientes funciones:

- **Pin 1 (GND):** Conexión a tierra.
- **Pin 2 (Trigger):** Entrada de disparo. Un pulso negativo en este pin activa el temporizador.
- **Pin 3 (Output):** Salida del temporizador. Emite la señal de salida, que puede ser de 0 o 1.
- **Pin 4 (Reset):** Entrada de reinicio. Un pulso negativo en este pin reinicia el temporizador.
- **Pin 5 (Control):** Entrada de control de voltaje. Usada para modificar el voltaje de umbral, pero no siempre es necesaria.
- **Pin 6 (Threshold):** Umbral. Detecta el voltaje en el condensador para determinar cuándo se debe cambiar el estado de la salida.
- **Pin 7 (Discharge):** Descarga. Conectado al condensador en el modo monostable y astable, descarga el condensador durante una parte del ciclo.
- **Pin 8 (VCC):** Conexión a la fuente de voltaje positiva.

Aplicaciones Comunes El NE555 es utilizado en una gran cantidad de aplicaciones, tales como:

- **Generadores de pulsos y ondas cuadradas:** Usado en circuitos de reloj, control de motores y aplicaciones de modulación.
- **Temporizadores:** Para encender o apagar dispositivos después de un cierto tiempo, como en alarmas, sistemas de control, o retardo de encendido.

- **Modulación de ancho de pulso (PWM):** Para controlar la velocidad de motores o la intensidad de luces mediante el ajuste del ciclo de trabajo de la señal.
- **Osciladores:** Para generar señales periódicas para otras aplicaciones electrónicas, como en pruebas y mediciones.
- **Detectores de frecuencia:** En sistemas que necesitan detectar señales de frecuencia específica.

Ventajas y Desventajas ****Ventajas:****

- Sencillez en el diseño de circuitos.
- Bajo costo y alta disponibilidad.
- Gran versatilidad y uso en múltiples aplicaciones.
- Estabilidad y fiabilidad.

****Desventajas:****

- Precisión limitada, especialmente en el modo astable, debido a la tolerancia de los componentes externos.
- Limitaciones en aplicaciones de alta frecuencia.

Conclusión El NE555 es uno de los circuitos integrados más utilizados en electrónica debido a su versatilidad, bajo costo y facilidad de uso. Puede configurarse en varios modos para diferentes aplicaciones, desde temporizadores hasta generadores de señales, y es una herramienta fundamental para la construcción de proyectos electrónicos tanto simples como complejos.

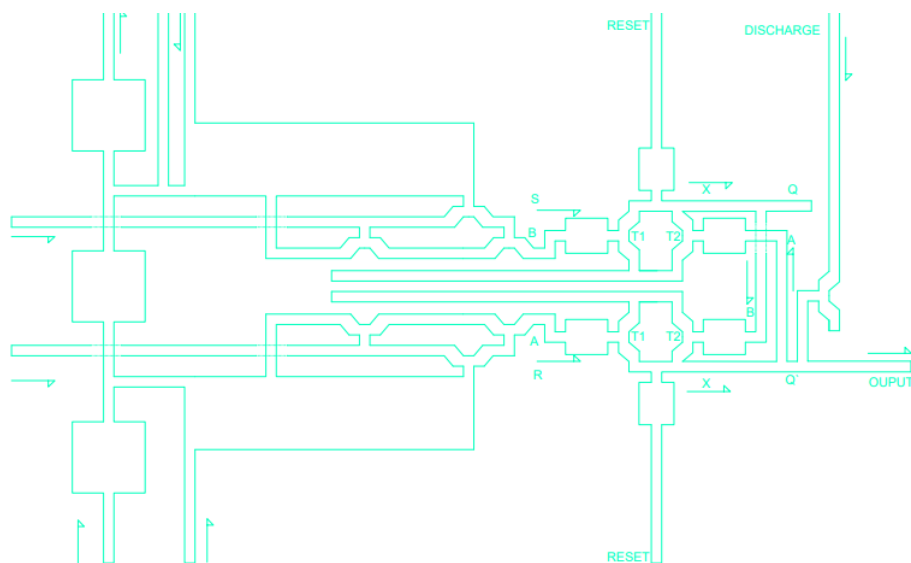


Figura 5.9: Seudo diseño para el IC NE555.

Compuerta NOR

La compuerta NOR es una compuerta lógica de dos entradas que realiza la negación de la operación lógica OR. Su salida es 1 solo cuando ambas entradas son 0, y su salida es 0 en cualquier otro caso. En otras palabras, la compuerta NOR es un OR invertido, y su comportamiento se puede describir mediante la siguiente expresión lógica:

Propiedades y Características

- ****Comportamiento de negación****: La compuerta NOR es la combinación de una compuerta OR seguida de una compuerta NOT, lo que significa que realiza una operación OR entre sus entradas y luego niega el resultado.
- ****Combinación de operaciones lógicas****: Al ser una negación de la compuerta OR, la compuerta NOR es una compuerta universal, lo que significa que con ella se pueden implementar otras compuertas lógicas como AND, OR y NOT, utilizando únicamente compuertas NOR.
- ****Simplicidad en diseño****: Debido a su capacidad de realizar operaciones lógicas básicas de forma independiente, las compuertas NOR son útiles en el diseño de circuitos complejos y sistemas digitales.

Aplicaciones

Las compuertas NOR se utilizan en diversas aplicaciones electrónicas y digitales, tales como:

- ****Construcción de circuitos universales****: Dado que las compuertas NOR son universales, pueden ser usadas para implementar otras compuertas lógicas (como AND, OR, y NOT), lo que facilita el diseño de circuitos lógicos complejos con un solo tipo de compuerta.
- ****Circuitos de memoria****: Las compuertas NOR son la base para la implementación de celdas de memoria en tecnologías como la memoria RAM estática (SRAM).
- ****Generadores de pulsos****: Usadas en circuitos osciladores y generadores de pulsos, donde se requieren señales que alternen entre 0 y 1.
- ****Inversores lógicos****: Aunque la compuerta NOT es la forma más directa de obtener una inversión lógica, las compuertas NOR también pueden usarse como inversores (ya que una entrada puede ser conectada a tierra).

Implementación con Otros Componentes

Al igual que con otras compuertas universales, el uso de una compuerta NOR permite la implementación de sistemas lógicos más complejos. Por ejemplo, se puede usar una sola compuerta NOR para realizar las funciones de una compuerta AND, combinando las entradas de manera adecuada:

- Para implementar una función AND utilizando solo NOR, las entradas se conectan primero a una compuerta NOR, luego el resultado de esa compuerta se conecta a otras compuertas NOR que sirven para invertir el resultado y combinar las señales de forma adecuada.

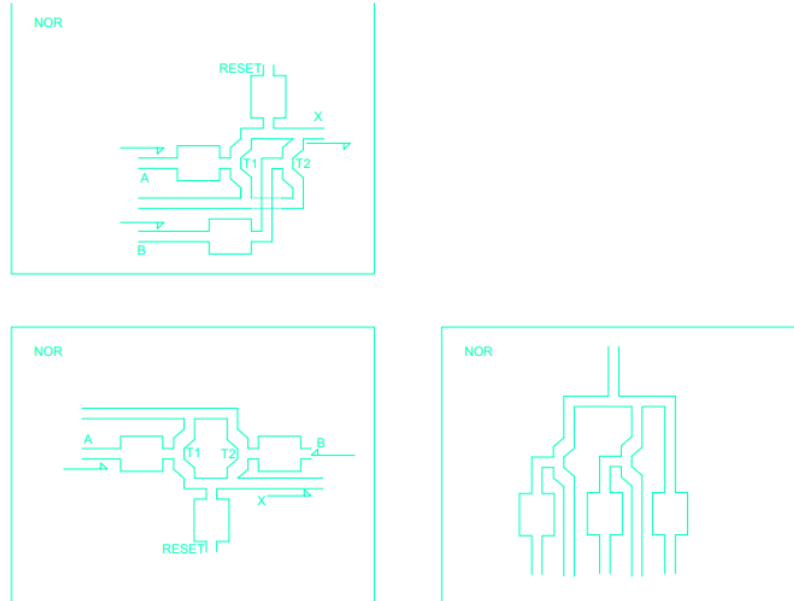


Figura 5.10: Rediseños para la compuerta logica NOR.

5.4.2. Memoria

9. Memoria Flip-Flop SR (Set-Reset)

El flip-flop SR, también conocido como latch SR, es un tipo de circuito secuencial utilizado para almacenar un bit de información. Este dispositivo tiene dos entradas, **Set** (S) y **Reset** (R), y dos salidas, Q y \bar{Q} (Q negada). Su funcionamiento se basa en el principio de que mantiene su estado hasta que se le indique cambiar, por lo que se clasifica como un dispositivo de memoria.

Funcionamiento Básico El flip-flop SR tiene dos entradas: - ****S (Set)****: Si esta entrada recibe un valor alto (1), establece la salida Q en 1, independientemente del valor de la entrada R. - ****R (Reset)****: Si esta entrada recibe un valor alto (1), pone la salida Q en 0, independientemente del valor de la entrada S.

Las salidas Q y \bar{Q} son complementarias, es decir, siempre que Q sea 1, \bar{Q} será 0, y viceversa.

Tabla de Verdades La tabla de verdad de un flip-flop SR es la siguiente:

S	R	Q(Salida)	\bar{Q} (Salida Negada)
0	0	Sin Cambio	Sin Cambio
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Indeterminado	Indeterminado

Explicación de los Estados: - $S = 0, R = 0$: El flip-flop no cambia su estado actual, es decir, mantiene la salida anterior (memoria). - $S = 0, R = 1$: El flip-flop se reinicia, estableciendo la salida Q a 0 y \overline{Q} a 1. - $S = 1, R = 0$: El flip-flop se establece, poniendo Q en 1 y \overline{Q} en 0. - $S = 1, R = 1$: Este estado es indeterminado o prohibido, ya que ambas entradas son activas, lo que genera una contradicción. En un diseño real, este estado nunca debe ocurrir.

Propiedades

- **Memoria:** El flip-flop SR actúa como un dispositivo de memoria, lo que significa que puede almacenar un bit de información. Su salida Q retiene su valor (0 o 1) hasta que se reciba una señal de cambio (Set o Reset).
- **Estado indeterminado:** La combinación de $S = 1$ y $R = 1$ es indeseada, ya que no tiene un comportamiento predecible. Los diseñadores de circuitos evitan este estado para garantizar que el flip-flop funcione de manera confiable.

Implementación

El flip-flop SR se puede implementar utilizando compuertas lógicas NAND o NOR. Existen dos versiones comunes de flip-flop SR:

1. **SR con compuertas NOR:** En este caso, las entradas S y R se conectan a las entradas de las compuertas NOR, lo que genera una salida complementaria y estable.
2. **SR con compuertas NAND:** Similar al caso anterior, pero utilizando compuertas NAND para obtener las salidas.

Aplicaciones

El flip-flop SR se utiliza principalmente en circuitos de almacenamiento de un bit de información. Algunas de sus aplicaciones incluyen:

- **Memoria básica:** En sistemas digitales donde se necesita almacenar un valor binario (0 o 1).
- **Contadores y registros:** En circuitos que requieren almacenamiento y manipulación de datos, como en contadores digitales o registros.
- **Circuitos de control:** Como interruptores de encendido y apagado en sistemas lógicos.

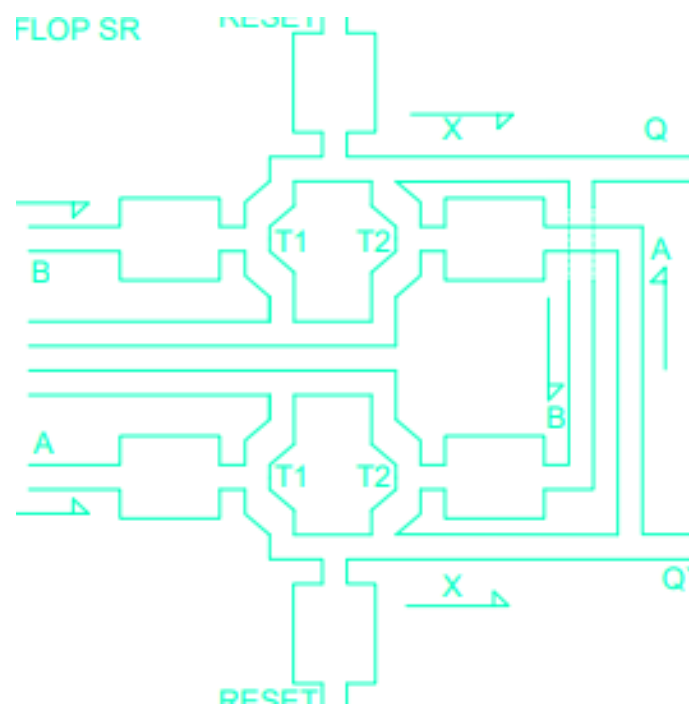


Figura 5.11: Memoria de 1 bit

Capítulo 6

Compilador

6.1. Introducción

En este capítulo se describe el proceso de creación de un compilador de texto a imagen basado en Python. Este compilador toma como entrada líneas de texto, que conforman un nuevo lenguaje de programación diseñado específicamente para la creación de patrones complejos en 2D. El objetivo es generar imágenes precisas y detalladas de patrones mediante una sencilla sintaxis textual. Al compilarse, el compilador produce un archivo PDF con el patrón solicitado.

El propósito de este proyecto es facilitar la creación de patrones complejos de manera accesible, utilizando un lenguaje fácil de entender, y automatizar la generación de imágenes en formato PDF.

6.2. Objetivos del Proyecto

El principal objetivo de este compilador es ofrecer una herramienta que permita a los diseñadores y programadores generar patrones para nuestra tecnología de forma sencilla a través de un lenguaje de texto. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Crear un lenguaje de programación simple y eficiente para definir patrones.
- Implementar un compilador que traduzca el código fuente en imágenes.
- Generar un archivo PDF con el patrón representado visualmente.
- Asegurar que el sistema sea modular y fácil de extender.

6.3. Descripción del Compilador

El compilador en cuestión está basado en Python y utiliza varias bibliotecas para facilitar la creación de gráficos e imágenes, como `matplotlib` y `Pillow`. El compilador toma líneas de texto que siguen una sintaxis predefinida, interpretándolas y generando una representación gráfica del patrón solicitado. Los patrones pueden incluir formas geométricas,

líneas, colores, y otros elementos gráficos. El resultado final se presenta en un archivo PDF, lo que permite su visualización e impresión.

6.4. Detalles del Diseño

El diseño del compilador se basa en tres componentes principales:

1. **Analizador Léxico (Lexer)**: Se encarga de leer el código fuente y dividirlo en tokens, que son unidades de significado, como palabras clave, símbolos y literales.
2. **Analizador Sintáctico (Parser)**: Toma los tokens producidos por el lexer y los organiza en una estructura jerárquica (un árbol de sintaxis abstracta) que refleja la gramática del lenguaje.
3. **Generador de Imágenes (Backend)**: Utiliza los datos del árbol de sintaxis para generar las imágenes en formato 2D. El generador también se encarga de convertir las imágenes a un archivo PDF usando herramientas como `matplotlib`.
4. **Interfaz Gráfica** Se intentó optimizar la interfaz para facilitar el trabajo de los usuarios

6.5. Ejemplo de Uso

Un ejemplo típico de entrada para el compilador podría ser el siguiente código de texto:

```
rectangulo(7)[0, posicion(x=25, y=15)]
circulo(4)[0, posicion(x=33, y=20)]
triangulo(3)[0, posicion(x=33, y=19)]
pentagono(3)[0, posicion(x=33, y=20)]
hexagono(2)[0, posicion(x=33, y=20)]
```

Este código compila un pequeño patrón de figuras geométricas simples que funciona como base para el trabajo

6.6. Versiones:

6.6.1. A)

Esta fue la versión que más trabajo requirió debido a su alta robustez y complejidad. La razón principal de esto es que involucra un análisis sintáctico avanzado, lo cual no solo permite calcular el movimiento, sino también representar de manera precisa los diferentes componentes del sistema. Este análisis es fundamental para garantizar que cada parte se dibuje correctamente, lo que a su vez implica una gestión eficiente de los recursos computacionales.

El sistema es considerablemente más largo en comparación con otras versiones, pero esta extensión viene acompañada de una mayor eficiencia en términos de rendimiento. Esto se debe a que el diseño permite un cálculo preciso de las escalas, y cada componente se agrega de manera efectiva. El proceso de integración de los componentes se lleva a cabo de manera ordenada y completa, lo que optimiza tanto la ejecución como la precisión de los resultados obtenidos.

Sin embargo, a pesar de la efectividad y eficiencia del sistema, la complejidad del diseño puede generar algunas dificultades a la hora de comprender su funcionamiento en su totalidad. La manera en que se manejan los movimientos y escalas, así como la interacción entre los componentes, hace que el sistema sea altamente eficaz, pero también más desafiante de entender en detalle para quienes no están familiarizados con los principios que lo sustentan.

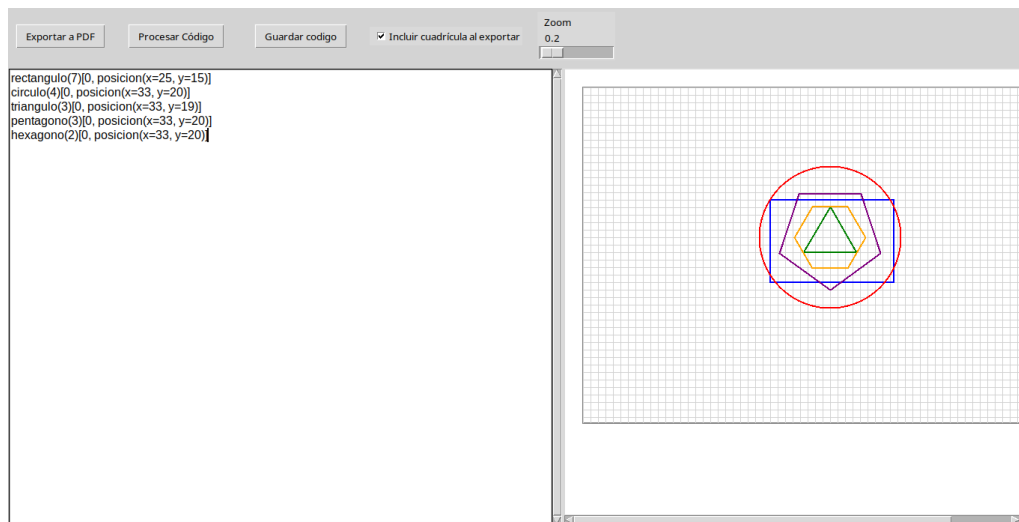


Figura 6.1: Sistema de mayor complejidad

6.6.2. B)

Este sistema es considerablemente más sencillo en comparación con la versión anterior, lo que lo hace más escalable y fácil de entender. Su estructura y funcionamiento están diseñados para ser accesibles, lo que facilita su implementación y adaptación. Sin embargo, esta simplicidad viene acompañada de ciertas limitaciones, especialmente en términos de

eficiencia. A diferencia de la versión anterior, que utiliza un análisis sintáctico complejo para gestionar los componentes, el sistema B se basa en un enfoque más directo y menos preciso.

En lugar de realizar un análisis exhaustivo de los componentes, así como calcular su ubicación y escala, el sistema B recurre a la inclusión de imágenes predefinidas almacenadas en una carpeta externa. Este enfoque simplifica considerablemente el proceso, permitiendo que los componentes se añadan de forma rápida y sencilla. Sin embargo, esta estrategia tiene su precio: al no contar con un análisis detallado y un control preciso de las escalas y posiciones, el sistema tiende a generar más errores, lo que impacta negativamente en la precisión y fiabilidad de los resultados.

En resumen, aunque el sistema B es más fácil de implementar y entender, y presenta una mayor escalabilidad, su falta de un análisis sintáctico profundo y su dependencia de imágenes predefinidas lo hacen menos eficiente y propenso a errores. Este enfoque ofrece ventajas en términos de simplicidad, pero sacrifica la precisión y estabilidad que caracterizan al sistema más complejo.

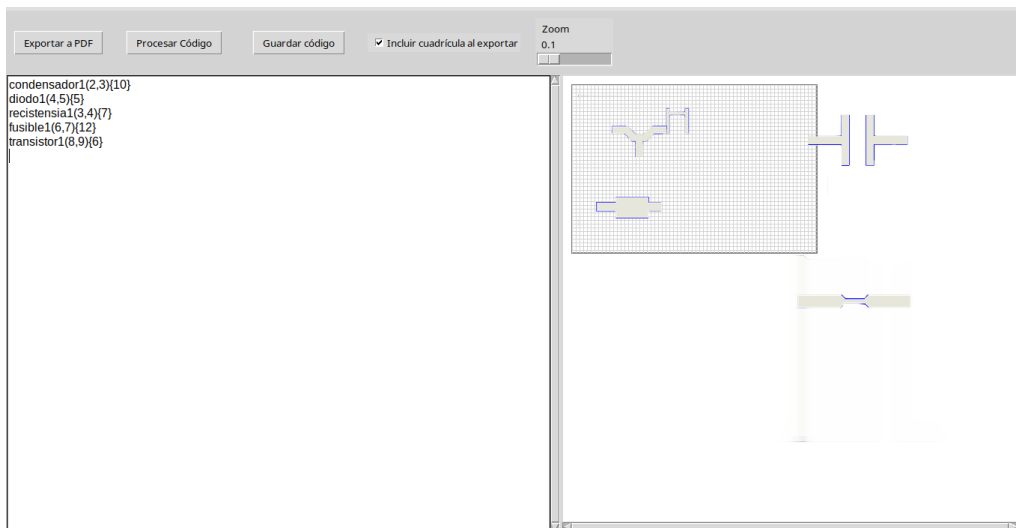


Figura 6.2: Sistema de menor complejidad

6.7. Generación de PDFs

El compilador utiliza la biblioteca `matplotlib` para generar gráficos e imágenes en formato 2D. Estos gráficos se almacenan en un archivo PDF utilizando `PdfPages` de la misma biblioteca. El archivo PDF resultante puede ser visualizado e impreso, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una salida física del patrón generado.

6.8. Conclusiones

Este compilador ofrece una forma sencilla y flexible de crear patrones gráficos complejos a partir de un lenguaje de texto. La implementación en Python facilita la extensión y personalización del compilador, permitiendo agregar nuevos tipos de patrones o características

en el futuro. El uso de `matplotlib` y `Pillow` asegura que los patrones sean visualmente atractivos y fáciles de manipular.

La principal ventaja de este enfoque es su simplicidad y accesibilidad. Los diseñadores pueden generar patrones complejos sin necesidad de aprender lenguajes de programación

Capítulo 7

Actuadores de Papel Impreso Basados en Grafito

Los actuadores de papel impreso basados en grafito son puestos que lamentablemente no pude comprobar debido lamentablemente a mis limitaciones y es un trabajo principalmente echo por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) siendo que se basan en materiales flexibles, livianos y conductores de grafito para crear mecanismos que se activan en sustratos de papel. Estos actuadores aprovechan la conductividad eléctrica y la flexibilidad mecánica del grafito para generar movimiento o cambios de forma cuando se estimulan mediante una entrada externa, como electricidad, calor o humedad. A continuación se detalla el funcionamiento y las posibles aplicaciones de este concepto.

7.1. Componentes de un Actuador de Papel Impreso Basado en Grafito

1. **Sustrato (Papel):** El material base es papel, elegido por ser liviano, flexible y biodegradable. El papel actúa como la base estructural sobre la que se imprime o deposita el actuador.
2. **Capa de Grafito:** El grafito, conocido por su conductividad eléctrica y facilidad de aplicación, se imprime o recubre sobre el papel en patrones específicos, formando la capa activa del actuador. Esto se puede lograr mediante técnicas de impresión como la serigrafía o el uso de plantillas. La conductividad del grafito le permite actuar tanto como un elemento calefactor como una parte estructural del actuador.
3. **Mecanismo de Actuación:**
 - **Estimulación Eléctrica:** Cuando una corriente eléctrica pasa a través de la capa de grafito, esta se calienta debido a la resistencia eléctrica. Este calentamiento puede inducir un efecto de flexión o curvatura en el papel, funcionando como un actuador.
 - **Expansión Térmica:** El calentamiento causa una expansión térmica diferencial entre la capa de grafito y el sustrato de papel, lo que genera movimiento.

- **Sensibilidad a la Humedad:** Algunos sistemas combinan las propiedades hidrofóbicas del grafito con la tendencia natural del papel a absorber humedad, permitiendo que la activación ocurra por cambios en la humedad ambiental.
4. **Fuente de Energía:** Generalmente, el actuador requiere una fuente de energía de bajo voltaje para generar calor o activar el movimiento mediante otros estímulos ambientales, como cambios en la temperatura o la humedad.

7.2. Funcionamiento

7.2.1. Actuación Eléctrica

Cuando se aplica un voltaje, la corriente pasa a través del papel recubierto de grafito, lo que genera calor. Debido a la diferencia en la expansión térmica entre el papel y la capa de grafito, el actuador se dobla o deforma de manera predecible, dependiendo de la geometría del patrón de grafito impreso.

Cuando hablamos de patrones en los actuadores de papel impreso basados en grafito, nos referimos a las formas y geometrías específicas en las que el grafito se imprime o deposita sobre el papel. Estos patrones determinan cómo se comporta el actuador cuando es estimulado (ya sea por electricidad, calor o humedad). La elección del patrón es crucial porque afecta la dirección y magnitud del movimiento del actuador. A continuación se describen algunos tipos comunes de patrones y cómo influyen en el funcionamiento.

7.3. Tipos de Patrones en Actuadores Basados en Grafito

1. Líneas Rectas o Tiras

- **Descripción:** El grafito se imprime en líneas rectas o tiras sobre el papel.
- **Efecto:** Cuando se aplica calor o electricidad, el papel tiende a curvarse o doblarse a lo largo de las líneas. Si las tiras de grafito están en un solo lado del papel, el actuador se doblará hacia el lado opuesto al calentarse.
- **Aplicación:** Este patrón es útil para movimientos simples de curvatura, como en pinzas flexibles o en actuadores que deben cerrar o abrirse en respuesta a una señal.

2. Patrones en Zigzag

- **Descripción:** El grafito se imprime en forma de zigzag o en una disposición ondulada.
- **Efecto:** Este patrón genera un movimiento más complejo. Cuando se aplica electricidad, el material se contrae y expande de manera irregular, lo que puede provocar movimientos ondulares o plegados.
- **Aplicación:** Es útil para obtener movimientos más suaves y complejos, como en sistemas que requieren movimientos de flexión progresiva o en estructuras desplegadas.

3. Patrones Circulares o Espirales

- **Descripción:** El grafito se imprime en formas circulares o espirales.
- **Efecto:** Cuando se estimula, este patrón puede generar torsión o un movimiento de enrollamiento, ya que las diferentes partes de la espiral se calientan a distintas velocidades, produciendo un efecto de giro o rotación.
- **Aplicación:** Ideal para actuadores rotatorios, dispositivos que necesiten girar o enrollarse, como en mecanismos de válvulas o pequeñas turbinas.

4. Patrones Asimétricos

- **Descripción:** El grafito se imprime de manera irregular o asimétrica, es decir, las capas o parches de grafito no están distribuidos uniformemente en el papel.
- **Efecto:** Esto provoca un comportamiento desigual, donde algunas áreas se expanden más rápido que otras, creando movimientos complejos, como torsiones, dobleces irregulares o pliegues no lineales.
- **Aplicación:** Útil en aplicaciones donde se requieren movimientos multidireccionales o deformaciones no predecibles, como en dispositivos que simulan movimientos biológicos o en origami robótico.

5. Patrones Intercalados o en Cuadrícula

- **Descripción:** El grafito se imprime en una cuadrícula o patrón de malla.
- **Efecto:** Dependiendo de la forma en que la corriente pase a través del grafito, el movimiento puede ser controlado para activar diferentes secciones del actuador en momentos específicos. Esto permite un control más preciso y secuencial del movimiento.
- **Aplicación:** Se usa en sistemas que necesitan actuar en múltiples etapas o que requieren un control específico de cada parte del actuador, como en sistemas robóticos con múltiples articulaciones.

6. Capas Superpuestas

- **Descripción:** Se pueden imprimir múltiples capas de grafito en diferentes patrones superpuestos sobre el papel.
- **Efecto:** Al estimular cada capa de manera independiente, se pueden generar movimientos más complejos y tridimensionales. Cada capa puede responder de manera diferente, produciendo combinaciones de dobleces y torsiones.
- **Aplicación:** Este tipo de patrón es útil para crear actuadores que requieren varios grados de libertad o movimientos tridimensionales complejos.

7.4. Importancia de los Patrones

La distribución y el diseño del patrón de grafito afectan directamente el tipo de movimiento que el actuador puede realizar. Al variar los patrones, se pueden controlar aspectos como:

- **Dirección del movimiento:** Curvas, torsiones, dobleces.
- **Magnitud del movimiento:** Pequeñas deformaciones o grandes desplazamientos.
- **Velocidad de respuesta:** Algunas zonas pueden reaccionar más rápido que otras dependiendo del grosor y la distribución del grafito.

En resumen, los patrones no son arbitrarios; son cuidadosamente diseñados para lograr un tipo específico de movimiento o comportamiento en el actuador. Esto hace que el diseño del patrón sea un factor clave para optimizar el rendimiento en aplicaciones como la robótica blanda, dispositivos vestibles, o sistemas de origami dinámico.

7.5. Consumo Energético en Actuadores de Papel Impreso Basados en Grafito

La energía necesaria para activar un actuador de papel impreso basado en grafito depende de varios factores, como el tamaño del actuador, el grosor de la capa de grafito, el tipo de estimulación (eléctrica o térmica), y la cantidad de movimiento o deformación que se desea generar. A continuación, se describen los aspectos clave que determinan el consumo energético en estos actuadores.

7.5.1. Factores que Afectan el Consumo de Energía

1. **Resistencia Eléctrica del Grafito:** El grafito es un conductor relativamente bueno, pero tiene una resistencia eléctrica moderada. Cuanta más corriente se aplique a través de la capa de grafito, mayor será la cantidad de calor generado, lo que a su vez provocará la deformación del papel. La resistencia eléctrica del grafito varía en función del grosor de la capa y de su uniformidad.
2. **Tamaño del Actuador:** Actuadores más grandes necesitan más energía para ser activados, ya que se requiere una mayor cantidad de corriente para calentar uniformemente toda la superficie del grafito impreso.
3. **Geometría del Patrón de Grafito:** Los patrones más complejos, como los espirales o los zigzags, que cubren más superficie, necesitan más energía porque requieren una mayor distribución del calor para activar la deformación en toda el área. Sin embargo, si el patrón tiene zonas pequeñas y localizadas, la cantidad de energía necesaria puede ser menor.
4. **Diferencia de Temperatura Necesaria:** El actuador necesita alcanzar una cierta temperatura para que se produzca una expansión térmica o un cambio de forma apreciable en el papel. La cantidad de energía necesaria depende de cuánto calor debe generarse para alcanzar esa temperatura.
5. **Humedad (si aplica):** Si el actuador funciona mediante absorción de humedad, no se necesita energía eléctrica para activarlo, ya que la propia variación en la humedad del ambiente genera el cambio de forma.

7.5.2. Rango Estimado de Energía

El consumo de energía para este tipo de actuadores puede variar significativamente, pero en general, para actuadores pequeños y ligeros, la energía requerida suele estar en el rango de:

- **Voltaje:** Entre 3 y 12 voltios (baja tensión).
- **Corriente:** En el rango de miliamperios (mA) a amperios (A), dependiendo del tamaño del actuador y la resistencia del grafito.
- **Potencia:** En total, el consumo de energía suele ser bajo, en el rango de milivatios (mW) a unos pocos vatios (W).

7.5.3. Ejemplo de Cálculo Básico

Para un actuador pequeño con una resistencia de grafito de 10 ohmios y una corriente de 0,1 amperios:

$$P = I^2 R = (0,1A)^2 \times 10\Omega = 0,1W = 100mW$$

Esto significa que el actuador requeriría aproximadamente 100 milivatios para funcionar durante el tiempo de activación. Si se activa durante 10 segundos, el consumo total de energía sería de 1 joule ($E = P \times t = 0,1W \times 10s$).

7.5.4. Consideraciones de Eficiencia

- **Aislamiento Térmico:** Para reducir el consumo de energía, es posible aislar el actuador para evitar pérdidas de calor al ambiente. Esto aumenta la eficiencia, ya que menos energía se disipa y más se usa para producir el movimiento.
- **Tiempo de Activación:** Los actuadores que requieren mantenerse activados por largos períodos necesitarán más energía en total. Sin embargo, algunos actuadores pueden requerir solo una breve pulsación de energía para generar el movimiento, lo que reduce el consumo total.
- **Respuesta a Estímulos Ambientales:** Los actuadores basados en humedad pueden ser completamente pasivos, lo que significa que no requieren ninguna entrada de energía eléctrica. Solo dependen de cambios en el ambiente, como la humedad o la temperatura.

Capítulo 8

Análisis y Discusión

El análisis de la tecnología de dispositivos electrónicos hechos a partir de papel y grafito revela tres ventajas clave que la hacen una opción atractiva para diversas aplicaciones. A continuación se presentan estas ventajas, que se detallan a continuación:

- **Disponibilidad de materiales:** Uno de los aspectos más destacados de esta tecnología es la accesibilidad de los materiales básicos. El papel y el lápiz, componentes esenciales para la creación de estos dispositivos, son elementos que se encuentran en cualquier parte del mundo. Esta disponibilidad no está limitada a mercados específicos o regiones con alta tecnología, sino que está al alcance de cualquier persona, incluso en áreas donde los recursos electrónicos convencionales pueden ser limitados. Este acceso universal no solo facilita el desarrollo de proyectos de bajo costo, sino que también promueve la inclusión tecnológica, ya que cualquiera puede aprender y experimentar con este tipo de dispositivos, independientemente de su ubicación geográfica o capacidad económica.
- **Fácil de entender:** En la actualidad, vivimos en una era en la que la microtecnología ha alcanzado niveles de complejidad asombrosos. Sin embargo, el crecimiento exponencial de esta tecnología no ha sido igual de accesible para todas las personas, y muchos sistemas avanzados siguen siendo inaccesibles o difíciles de comprender para aquellos sin formación especializada. Sin embargo, esta tecnología de papel y grafito se presenta como una alternativa práctica y educativa. Su simplicidad en términos de materiales y conceptos permite que sea fácilmente comprensible, lo que facilita su integración en el ámbito educativo. Los estudiantes pueden comprender los principios de la electrónica de manera tangible y visual, lo que refuerza el aprendizaje práctico y la creatividad. De esta manera, la tecnología no solo es accesible desde una perspectiva económica, sino que también promueve un aprendizaje interactivo que no depende de costosos equipos o herramientas sofisticadas.
- **Barato:** En términos de costos, esta tecnología es extremadamente económica. Comparada con las soluciones electrónicas tradicionales, que a menudo requieren componentes costosos, la creación de dispositivos de papel y grafito representa una fracción del costo. Esto no solo la hace accesible a estudiantes, aficionados y comunidades de

bajos recursos, sino que también abre la puerta a la experimentación y el desarrollo en sectores donde los presupuestos son limitados. Al ser una opción tan asequible, esta tecnología tiene el potencial de democratizar la creación de dispositivos electrónicos y fomentar la innovación en áreas desfavorecidas, donde la tecnología convencional a menudo está fuera de alcance. Esto también puede generar un impacto significativo en el diseño de soluciones sostenibles y ecológicas, dado que el papel es un material reciclable y biodegradable, lo que puede contribuir a la reducción de residuos electrónicos.

En resumen, la tecnología de dispositivos electrónicos hechos de papel y grafito no solo ofrece ventajas en cuanto a disponibilidad, facilidad de comprensión y bajo costo, sino que también representa un paso importante hacia la inclusión digital y la sostenibilidad. Con estas tres características fundamentales, este enfoque ofrece un futuro prometedor para la educación y la innovación tecnológica, abriendo nuevas posibilidades para comunidades de todo el mundo.

Capítulo 9

Conclusiones y Futuras Aplicaciones

9.1. Conclusiones

La tecnología de transistores de bajo costo basados en papel y grafito presenta una alternativa innovadora y prometedora para la creación de dispositivos electrónicos accesibles y sostenibles. El uso de materiales económicos y fácilmente disponibles, como el papel y los lápices de grafito, permite la fabricación de circuitos electrónicos simples pero funcionales, sin la necesidad de metales costosos ni procesos industriales complejos.

Los principios de funcionamiento de estos dispositivos se basan en las propiedades conductoras del grafito y la resistencia ajustable de los trazos, que varían según la dureza del lápiz de grafito utilizado. A través de este enfoque, es posible diseñar circuitos de bajo costo para diversas aplicaciones, con la flexibilidad de adaptarse a diferentes requisitos de resistencia y conductividad. A pesar de las limitaciones inherentes a la resistencia natural del grafito y la bidimensionalidad del diseño, esta tecnología representa un avance significativo hacia la miniaturización y la simplificación de dispositivos electrónicos.

La utilización de grafos para modelar estos circuitos añade una capa de optimización y análisis, permitiendo visualizar el comportamiento de los componentes y realizar ajustes precisos en los diseños para mejorar su rendimiento. Sin embargo, es importante reconocer que las condiciones físicas del material, como el desgaste o la humedad, pueden influir en el rendimiento a largo plazo, lo que exige una mayor investigación y desarrollo para superar estos desafíos.

9.1.1. Futuras Aplicaciones

Las posibilidades de expansión de esta tecnología son vastas, y su adaptabilidad abre nuevas puertas para aplicaciones en diversas áreas. Algunas de las futuras aplicaciones más destacadas incluyen:

- **Dispositivos Electrónicos Flexibles:** Gracias a la flexibilidad del papel como sustrato, es posible crear dispositivos electrónicos que se adapten a superficies curvas o irregulares, lo que resulta útil en la fabricación de pantallas flexibles, sensores portátiles o dispositivos wearables.

- **Electrónica en la Educación:** El bajo costo y la facilidad de fabricación de circuitos basados en papel y grafito los hace ideales para aplicaciones educativas, donde los estudiantes pueden experimentar directamente con la creación y el diseño de circuitos electrónicos simples sin incurrir en altos costos de materiales.
- **Sensores y Etiquetas Inteligentes:** Esta tecnología puede ser aplicada en el diseño de sensores de bajo costo, etiquetas inteligentes para seguimiento de productos o dispositivos de monitoreo ambiental. Los circuitos impresos con grafito podrían ser integrados en productos para realizar funciones básicas, como la medición de temperatura, humedad o presión.
- **Electrónica Sostenible:** Al utilizar materiales reciclables y fácilmente obtenibles como el papel y el grafito, esta tecnología podría contribuir a la creación de dispositivos electrónicos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Además, su bajo costo permitiría la democratización de la tecnología electrónica, especialmente en regiones con recursos limitados.
- **Circuitos Adaptativos:** A medida que se avance en la investigación sobre la incorporación de tintas conductoras o semiconductoras en el diseño, los circuitos basados en grafito podrían evolucionar para permitir funciones más avanzadas, como la integración con circuitos convencionales y la adaptación a diversas tecnologías emergentes como la electrónica impresa y la nanotecnología.

En conclusión, aunque la tecnología de transistores de grafito y papel aún enfrenta varios desafíos, su potencial para revolucionar la electrónica a bajo costo y de manera sostenible es innegable. Con el continuo avance en técnicas de impresión, nuevos materiales y mejores procesos de fabricación, este enfoque podría transformar la forma en que diseñamos y producimos dispositivos electrónicos en el futuro cercano.