

# Nombre del Proyecto en Puestión

EDISON ABADO ANCCOVCCCCCCCCCCCCC  
Universidad Nacional de San  
Antonio abad del Cusco  
Escuela profesional de  
Ingeniería Electrónica

EDISON ABADO ANCCO  
Universidad Nacional de San  
Antonio abad del Cusco  
Escuela profesional de  
Ingeniería Electrónica

EDISON ABADO ANCCOCVCVCVCVCV  
Universidad Nacional de San  
Antonio abad del Cusco  
Escuela profesional de  
Ingeniería Electrónica

EDISON ABADO ANCCO  
Universidad Nacional de San  
Antonio abad del Cusco  
Escuela profesional de  
Ingeniería Electrónica

EDISON ABADO ANCCO  
Universidad Nacional de San  
Antonio abad del Cusco  
Escuela profesional de  
Ingeniería Electrónica

**Resumen**—MicroMouse es un dispositivo en el que se aplica principios de ciencias de la computación, principios ópticos, mecánicos, electrónicos y la integración de tecnologías de software y hardware. Lo que se pretende cubrir es la solución de un laberinto usando algoritmos de reconocimiento, almacenamiento, solución y retroalimentación con condiciones iniciales constantes en el tiempo.

**Términos Clave**— Introducimos nuestros términos clave en orden alfabético, separado por comas. Para una lista de sugerencias de palabras o términos clave visitar [http://www.ieee.org/organizations/pubs/ani\\_prod/keyword98.txt](http://www.ieee.org/organizations/pubs/ani_prod/keyword98.txt)

## I. FET DE NANOTUBOS DE CARBONO

Las necesidades de eficiencia nos llevan a buscar nuevas maneras de realizar tareas con el fin de aumentar la eficiencia, partiendo de ello se tiene a un dispositivo electrónico cuya composición se gestó en 1991 por Sumio Iijima (un nanotubo multicapa) y en 1993 con Donal Bethude que produjo nanotubos de Carbono de una sola capa.

Desde entonces, se fueron desarrollando nanotubos de carbono para diferentes aplicaciones, entre ellas, la que más nos interesa, los nanotubos de carbono para aplicaciones de semiconductores, para ser más específicos, el CNFET o CNTFET (Carbon Nanotube FET) cuyo diámetro de circunferencia va desde  $< 1nm$  hasta  $50nm$  [1] para aplicaciones de nuestro interés.

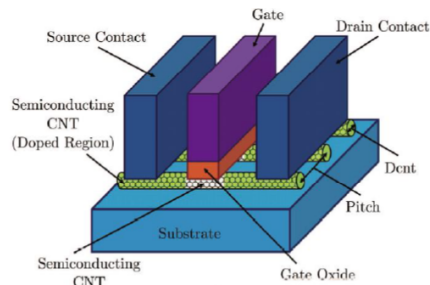


Figura 1. Diseño de un CNFET como un MOSFET [2]

### I-A. Clasificación de nanotubos de carbono

La principal clasificación se da por el tipo de distribución de las celdas hexagonales.

1. Nanotubo de una sola capa (SWNT).
2. Nanotubo Multicapa (MWNT).
3. Nanotubo Mixto.

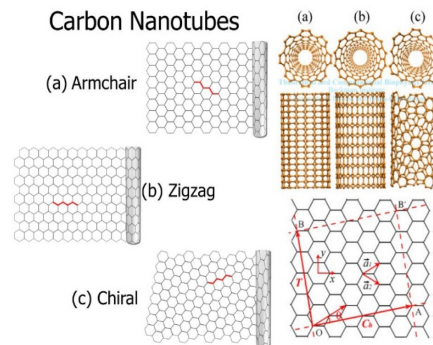


Figura 2. Los principios de construcción del CNT de planchas de grafeno [3].

La estructura interna de CNFET es muy parecida al del MOSFET, requiere de tres pines, y también la compuerta (Gate) controla el flujo de corriente a través del canal. el switching de la compuerta habilita la corriente del canal [3]. La construcción se muestra en la figura 3

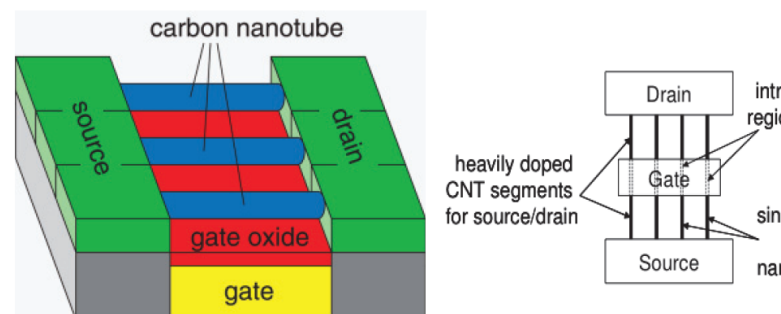


Figura 3. Estructura del CNFET [4].

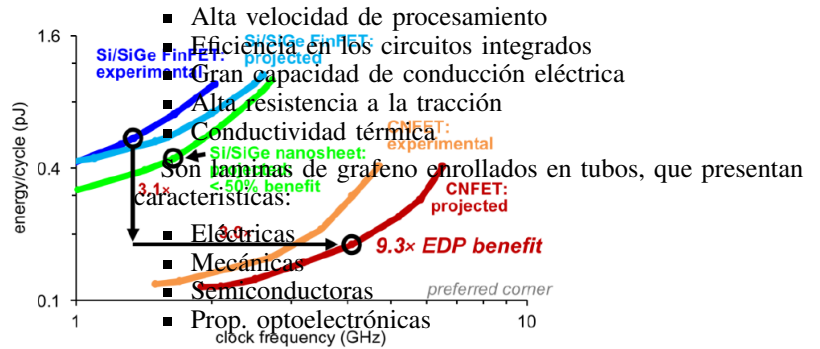
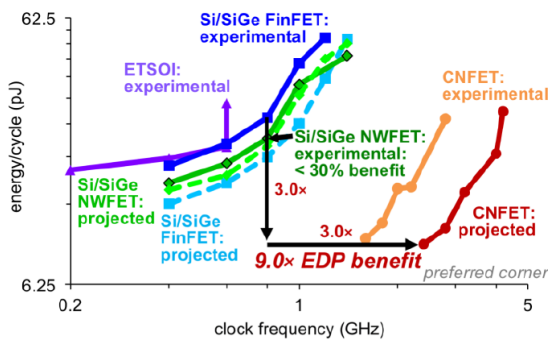
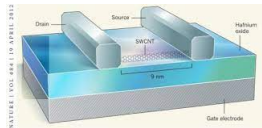


Figura 4. Comparación de otros dispositivos con CNFET de 7nm y 5nm [5]

### Nanotransistores

1. FET basados en nanotubos de carbono pueden operar más rápido y con un voltaje de suministro menor que sus equivalentes basados en silicio.
2. Con una tensión de alimentación de 0,4 voltios, la corriente que fluye a través del transistor de nanotubos de carbono es mayor que la que obtendrían los mejores transistores CMOS de silicio a una tensión de alimentación de 0.7 V.



Cuadro I

NANOTUBOS DE CARBONO EN COMPARACIÓN CON LOS CMOS

### CMOS

1. FET basados en silicio
2. Los dispositivos de tamaño nanométrico

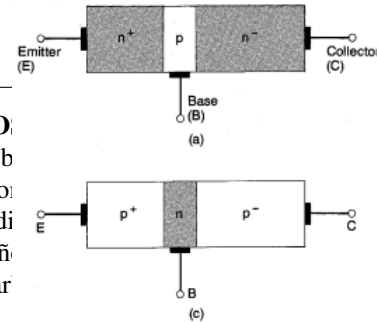


Figura 5. Estructura interna de los nanotubos de carbono [8]

De acuerdo a la figura 5, podemos observar que presenta 2 formas:

- Single wall carbene nanotube (SWCNT)
- Multi wall carbene nanotube (MWCNT)

Diametro de los nanotubos

$$D_{CNT} = \frac{\sqrt{3}a_0}{\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + mn} \quad (1)$$

Donde:

- n,m son los valores de vectores de quiralidad del nanotubo
- $a_0$  distancia interatómica entre cada átomo de carbono

Voltaje umbral

$$V_{th} \approx \frac{E_g}{2e} = \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{aV_{\pi}}{eD_{CNT}} \quad (2)$$

- $a = 2,49 \text{ \AA}$ , distancia de carbono a átomo de carbono
- $V_{\pi} = 3,033 \text{ eV}$  energía de enlace del carbono
- $e$ , es el valor de la carga del electrón

Ancho de banda

$$W = (N - 1)S + D_{CNT} \quad (3)$$

- N, números de CNTs
- S, es la distancia entre el centro de dos CNTs (factor importante para el diseño)

La influencia de varios parámetros de CNTFET, N, S y  $D_{CNT}$

### III. FUENTES DE CORRIENTES

Algunas fuentes de corrientes

- Fuente de corriente constante cascode
- Fuente de corriente constante con FET(Mosfet)

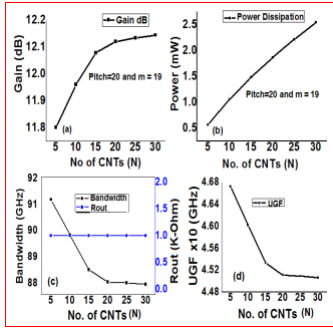


Figura 6. Variación de (a) Ganancia de corriente (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con N en la propuesta basada en CNT-DA [6]

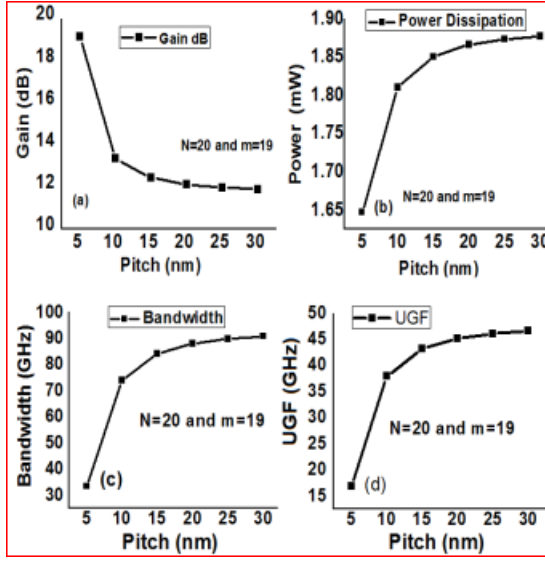


Figura 7. Variación de (a) ganancia de corriente (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con respecto al tono de CNT-DA [6]

### III-A. Fuente de corriente constante cascode

Una forma de eliminar la disparidad de  $V_{DS}$  es usar la configuración cascode:  $V_{DD}$  tal que  $V_X = V_Y$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_3 = \left(\frac{W}{L}\right)_2 = \left(\frac{W}{L}\right)_0 = \left(\frac{W}{L}\right)_1$$

donde

W: ancho de puerta  
L: longitud de la puerta

$$V_{P_{min}} = V_{DS_{sat2}} + V_{DS_{sat3}} \quad (4)$$

$$V_{P_{min}} = (V_{GS0} - V_{TH0}) + (V_{GS1} - V_{TH1}) \quad (5)$$

$$V_{P_{min}} = 2V_{DS_{sat}} + V_{TH3} = 2V_{OD} + V_{TH} \quad (6)$$

$$(7)$$

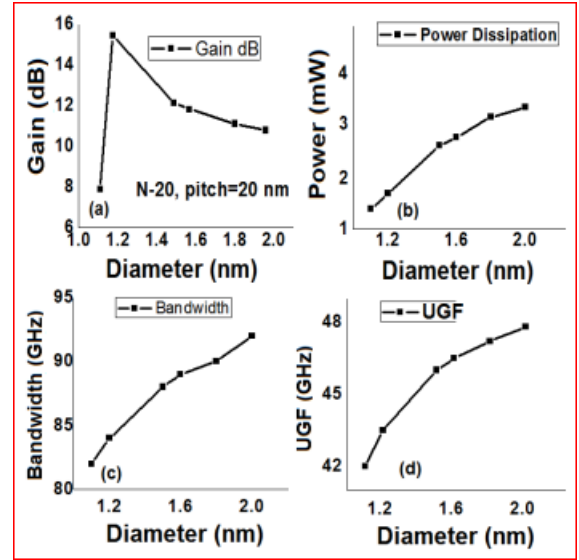
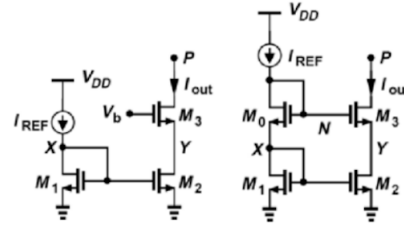


Figura 8. Variación de (a) Ganancia (b) Disipación de potencia (c) Ancho de banda (d) Frecuencia de ganancia unitaria con respecto al diámetro de CNT-DA [6]

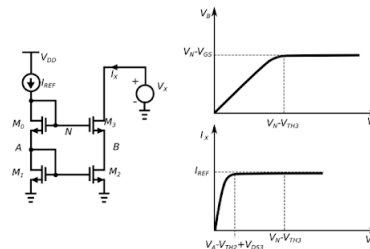


Dimensionando correctamente los transistores logramos que  $M_3$  absorba las variaciones de  $V_P$  y mantenga  $V_X = V_Y$ .

Por debajo de la tensión mínima de salida,  $M_3$  ya no puede absorber las diferencias de  $V_{DS}$  y  $V_B$  y será distinto a  $V_A$ , volviendo a los problemas de espejo simple. Para tensiones muy bajas, la resistencia de salida se degrada.

### III-B. Fuente con FET

- El par diferencial básico consta de dos MOSFET de enriquecimiento acoplados ( $Q_1$  y  $Q_2$ ), polarizados con una fuente de corriente constante; esta ultima suele ser una configuración de espejo de corriente similar a la utilizada con BJT's. desde luego se supone que el circuito de carga es tal que los dos MOSFET que conforman el par, se encuentran operando en la región de saturación.



- El MOSFET es frecuentemente usado como amplificador de potencia y ofrece como ventaja una resistencia de entrada alta, prácticamente infinita en la compuerta y una corriente de polarización de entrada casi cero.
- Existen dos razones fundamentales por las cuales se prefieren los amplificadores diferenciales sobre los de un solo extremo: son sensibles a la interferencia y no necesitan capacitores de paso y acoplamiento.

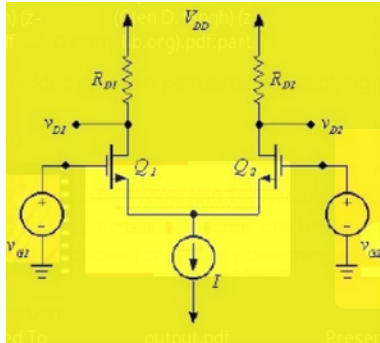


Figura 9. Amplificador diferencial con FETs

#### IV. CONCLUSIONES

- Las fuentes de corrientes basados en nanotubos de carbono y FETs tienen ventajas por encima que los BJTs: no dependen de  $\beta$ , por ende no se verán afectados por la temperatura.
- Las fuentes de corrientes se usan en los amplificadores de corriente como un elemento de amplificador, ya que fijará un valor constante para el punto de operación del amplificador diferencial.

#### REFERENCIAS

- [1] M. S. Akhoun, A. G. Alharbi, M. A. Bhat, S. A. Suandi, J. Ashraf, and S. A. Loan, "Design and simulation of carbon nanotube based current source load differential amplifier," in *2021 International Conference on Microelectronics (ICM)*, pp. 140–143, 2021.
- [2] Z. Liu, T. Pan, S. Jia, and U. Wang, "Design of a novel ternary sram sense amplifier using cnfet," in *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*, pp. 207–210, 2017.
- [3] S. Waykole and V. S. Bendre, "Performance analysis of classical two stage opamp using cmos and cnfet at 32nm technology," in *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCCUBEA)*, pp. 1–6, 2018.
- [4] S. M. Turkane and A. K. Kureshi, "Performance investigation of emerging nano devices for low power analog circuits," in *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICADOT)*, pp. 718–722, 2016.
- [5] G. Hills, M. G. Bardon, G. Doornbos, D. Yakimets, P. Schuddinck, R. Baert, D. Jang, L. Mattii, S. M. Y. Sherazi, D. Rodopoulos, R. Ritzenthaler, C.-S. Lee, A. V.-Y. Thean, I. Radu, A. Spessot, P. Debacker, F. Cathoor, P. Raghavan, M. M. Shulaker, H.-S. P. Wong, and S. Mitra, "Understanding energy efficiency benefits of carbon nanotube field-effect transistors for digital vlsi," *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 17, no. 6, pp. 1259–1269, 2018.
- [6] M. S. Akhoun, A. G. Alharbi, M. A. Bhat, S. A. Suandi, J. Ashraf, and S. A. Loan, "Design and simulation of carbon nanotube based current source load differential amplifier," in *2021 International Conference on Microelectronics (ICM)*, pp. 140–143, 2021.
- [7] Z. Liu, T. Pan, S. Jia, and U. Wang, "Design of a novel ternary sram sense amplifier using cnfet," in *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*, pp. 207–210, 2017.
- [8] D. Prasad, Mainuddin, Laxya, and S. S. Islam, "Low power low voltage cntfet-based current differencing buffered amplifier," in *2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, pp. 115–120, 2017.