

**SISTEMA DE ELECTROESTIMULACIÓN POR TECNOLOGÍA DE
FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO**

DALYA JULIETH GALVIS PARADA

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA
BUCARAMANGA**

2015

**SISTEMA DE ELECTROESTIMULACIÓN POR TECNOLOGÍA DE
FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO**

AUTORA

DALYA JULIETH GALVIS PARADA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniera Mecatrónica**

DIRECTOR

Dr. Sc. Ing. ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ MONER Ph.D

SEMILLERO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA**

BUCARAMANGA

2015

Nota de Aceptación

Director
Antonio Faustino Muñoz M.

Jurado
Carlos Alberto Rey S.

Bucaramanga, Junio 11 de 2015

Éste logro va dedicado a mi persona favorita, mi héroe, mi ejemplo a seguir, mi papito. Nada hubiera sido posible sin ti.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de grado no habría sido posible sin la presencia e influencia de todas las personas a las que agradezco de corazón el haber estado a mi lado durante éste proceso, así como en el transcurso de mi vida.

Primordialmente agradecerle a Dios por haberme dado la fortaleza, energía y todo lo necesario para ir construyendo el camino que llevo.

A mi familia, por su constante apoyo y amor, por ser una base en mi vida, por cuidarme, preocuparse por mí, por demostrarme que la familia es lo más fuerte, lindo y satisfactorio que existe en éste mundo; pero especialmente a mi papito, Freddy Galvis, quien ha sido mi motor, mi guía, el que en momentos de desaliento me llena de energía, quien con sus sabias palabras me hace afrontar cualquier obstáculo y salir adelante frente a cualquier reto que se me presente. A él, quien hizo tantos sacrificios por querer lo mejor para mí y lograr que tuviera una excelente vida, te amo.

A mi novio, Jairo Bermúdez, agradecerle por apoyarme y estar tanto en los malos como bueno momentos durante esta etapa universitaria. Por su suma paciencia al entender cuando le daba prioridad a mis proyectos y actividades académicas y por brindarme lo mejor de él en cada instante.

A Verónica Galeano, por brindarme una amistad sincera y porque me hizo más llevaderos los asuntos académicos gracias a su compañía y a los momentos agradables que me hizo pasar. Amistades como la suya son pocas y únicas.

A mis amigos y compañeros por ser un apoyo en ésta locura en la que nos metimos, por haber compartido todos los momentos de alegrías, desespero, estrés, enojos, éxitos y sonrisas tras noches enteras de pasar en el laboratorio.

A mi director de proyecto de Grado, Doctor Antonio Faustino Muñoz.

A todos los que se me escapan en éstos momentos y saben que a mi memoria le gusta desactivarse a ratos, a todos ellos que hicieron de mí una mejor persona, a todos ustedes, gracias y mil gracias.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION | 2 |
| 2.1 | DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 2.2 | JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 3 | OBJETIVOS..... | 5 |
| 3.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 5 |
| 3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 4 | MARCO TEORICO..... | 6 |
| 4.1 | CORRIENTES DE ELECTROESTIMULACIÓN | 8 |
| 4.2 | BENEFICIOS DE LAS TERAPIAS DE ELECTROESTIMULACIÓN, VENTAJAS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN Y EL ELECTROSPINNING Y SU EVOLUCIÓN..... | 11 |
| 4.3 | DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ELECTROSPINNING..... | 12 |
| 4.4 | PARAMETROS DEL PROCESO DE ELECTROSPINNING | 14 |
| 4.5 | DIFERENCIA ENTRE MICROELECTRÓNICO Y NANO ELECTRÓNICA | 15 |
| 4.6 | DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE MEDICION DEL NANOSENSOR, NANOACTUADOR Y CONTROL INTELIGENTE (SMART CONTROL)..... | 16 |
| 4.6.1 | Nanoestructuras básicas | 18 |
| 4.7 | DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS BASADOS EN CNT | 24 |
| 4.7.1 | EL TRANSISTOR CNT | 24 |
| 4.8 | TRANSISTORES FET A NANOESCALA..... | 28 |
| 4.8.1 | Transistores de electrón único (electrónicos simples) (uni-electrón) | 30 |
| 4.8.2 | Metodología de clonación artificial a través del hardware evolutivo | 33 |
| 4.9 | PROCESO DE CLONACIÓN DEL SENSOR | 35 |
| 4.9.2 | Clonación artificial para prótesis mecatrónica de piel artificial con nanopartículas | 40 |
| 4.9.3 | Nanomanufactura y aplicaciones industriales de la nanotecnología para las técnicas top-down..... | 41 |
| 5 | DISEÑO METODOLOGICO..... | 43 |
| 5.1 | DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y ACCIONAMIENTO (MECANISMO EJECUTIVO) A ESCALA NANOTECNOLÓGICA. | 43 |
| 5.2 | DISEÑO DE LOS ALGORITMOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS (NANOSENSOR-CONTROLADOR-NANOACTUADOR) BASADOS EN LA TEORÍA CUÁNTICA, LAS RELACIONES DE COMPORTAMIENTO DE ESPINELECTRONES Y LOS CRITERIOS DE SEMEJANZA POR METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP-DOWN. | 44 |
| 5.2.1 | Esfera de Bloch..... | 44 |
| 5.2.2 | Qubits..... | 45 |

| | | |
|-------|---|--------------------------------------|
| 5.2.3 | Estados de Bell | 46 |
| 5.3 | PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEMBRANA SENSITIVA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE FABRICACIÓN DE ELECTROSPINNING DE NANOHILOS Y SU ENSAMBLE EN LA MEMBRANA CON CAPACIDAD GENERADORA DE ELECTROIMPULSOS PARA LA ELECTROESTIMULACIÓN..... | 47 |
| 5.3.1 | Creación de los clusters difusos utilizando fuzzy c-mean y experimentos de cauterización a partir de las señales del nanosensor | 50 |
| 5.4 | SIMULACIÓN EN MATLAB DEL SISTEMA NANOTECNOLÓGICO DE ELECTROESTIMULACIÓN BASADOS EN MODELOS CUÁNTICOS Y DE SEMEJANZA POR TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE DISEÑO..... | 51 |
| 6 | RESULTADOS | 53 |
| 6.1 | CIRCUITOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y ACCIONAMIENTO (MECANISMO EJECUTIVO) A ESCALA NANOTECNOLÓGICA..... | 53 |
| 6.1.1 | Modelo del circuito | 54 |
| 6.2 | ALGORITMOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS (NANOSENSOR-CONTROLADOR-NANOACTUADOR) BASADOS EN LA TEORÍA CUÁNTICA, LAS RELACIONES DE COMPORTAMIENTO DE ESPINELECTRONES Y LOS CRITERIOS DE SEMEJANZA POR METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP-DOWN..... | 59 |
| 6.2.1 | Pruebas teóricas para determinar distancias entre nodos | 74 |
| 6.3 | PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEMBRANA SENSITIVA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE FABRICACIÓN DE ELECTROSPINNING DE NANOHILOS Y SU ENSAMBLE EN LA MEMBRANA CON CAPACIDAD GENERADORA DE ELECTROIMPULSOS PARA LA ELECTROESTIMULACIÓN..... | 76 |
| 6.4 | SIMULACIÓN EN MATLAB EL SISTEMA NANOTECNOLÓGICO DE ELECTROESTIMULACIÓN BASADOS EN MODELOS CUÁNTICOS Y DE SEMEJANZA POR TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE DISEÑO..... | 91 |
| 6.4.1 | CARACTERÍSTICAS DEL NANOMATERIAL QUE SE UTILIZA EN EL NANOSISTEMA..... | 79 |
| 6.4.2 | Dualidad onda partícula | 79 |
| 6.4.3 | DISEÑO DE LOS MICROCIRCUITOS LÓGICOS MUTABLES | 84 |
| 6.5 | SIMULACIÓN DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS (NANOSENSOR-NANOACTUADOR) BASADOS EN LÓGICA FUZZY..... | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 7 | CONCLUSIONES | 97 |
| 8 | BIBLIOGRAFIA..... | 98 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág |
|---|-----|
| TABLA 4-1. COMPARACIÓN ENTRE TRANSISTORES MOSFET Y DISPOSITIVOS NANO ELECTRÓNICOS. | 16 |
| TABLA 4-2. PROPIEDADES DE LOS NANOTUBOS..... | 21 |
| TABLA 4-3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS NANOTUBOS DE CARBONO..... | 22 |
| TABLA 5-1. ESTADOS DE BELL QUE REPRESENTAN EL ENTRELAZAMIENTO DE DOS QUBITS | 47 |
| TABLA 6-1. ATENUACIÓN DE LA SEÑAL EN VARIOS OBJETOS [33] | 74 |
| TABLA 6-2. DISTANCIA VS POTENCIA..... | 75 |
| TABLA 6-3. VALOR DE VERDAD NAND [8]..... | 85 |
| TABLA 6-4. TABLA DE VERDAD NOR. [8]..... | 86 |
| TABLA 6-5. TABLA DE VERDAD PARA LA COMPUERTA MUTABLE NAND – NOR. [8] | 87 |
| TABLA 6-6. CAMBIO ARMÓNICO BINARIO. [8] | 89 |
| TABLA 6-7. SALIDAS DE LOS OPERADORES MUTABLES CON SUS MUTACIONES RESPECTIVAS. [8] | 89 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág |
|--|-----|
| FIGURA 4-1. ONDAS INTERRUMPIDAS..... | 10 |
| FIGURA 4-2. . EJEMPLOS DE ONDAS ALTERNAS A DIFERENTES FRECUENCIAS..... | 10 |
| FIGURA 4-3. MODELO DE ONDA INTERRUMPIDA ALTERNA..... | 11 |
| FIGURA 4-4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELECTROHILADO..... | 13 |
| FIGURA 4-5. UBICACIÓN DE LA MEMBRANA CON NANOHILOS PARA LA ELECTROESTIMULACIÓN EN LOS MÚSCULOS | 14 |
| FIGURA 4-6. ESTRUCTURAS DE FULLERENE..... | 18 |
| FIGURA 4-7. NANOTUBOS DE CARBONO SWNT..... | 20 |
| FIGURA 4-8. NANOTUBO ENROLLADO..... | 23 |
| FIGURA 4-9. PUNTOS CUÁNTICOS..... | 23 |
| FIGURA 4-10. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN SB-CNTFET..... | 26 |
| FIGURA 4-11. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MOSFET - CNT..... | 26 |
| FIGURA 4-12. COMPUERTAS LÓGICAS BINARIAS BASADAS EN TRANSISTORES CNT..... | 28 |
| FIGURA 4-13. EL TRANSISTOR MOSFET..... | 30 |
| FIGURA 4-14. EL MODELO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE A UNA ISLA METÁLICA DÉBILMENTE ACOPLADO A DOS ELECTRODOS METÁLICOS EN EL CUAL ES APLICADO UN VOLTAJE..... | 31 |
| FIGURA 4-15. (A) EL RÉGIMEN DE BLOQUEO DE COULUMB, Y (B) SUPERACIÓN DEL BLOQUEO DE COULUMB APLICANDO UN VOLTAJE SUFICIENTEMENTE ALTO..... | 31 |
| FIGURA 4-16. TIPOS DE FUNCIONAMIENTO..... | 34 |
| FIGURA 4-17. HARDWARE EVOLUTIVO..... | 36 |
| FIGURA 4-18. CURVAS DE SATURACIÓN PARA EL 2N2222. [8]..... | 38 |
| FIGURA 4-19. RECTA DE CARGA PARA EL TRANSISTOR EN SATURACIÓN. [8]..... | 39 |
| FIGURA 4-20. RECTAS DE RETARDO SEGÚN LA IC. [8]..... | 40 |
| FIGURA 4-21. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS P Y S. [21]..... | 41 |
| FIGURA 4-22. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN..... | 42 |
| FIGURA 5-1 DIMENSIONES DEL MODELO..... | 43 |
| FIGURA 5-2. REPRESENTACIÓN DE UN QUBIT POR MEDIO DE LA ESFERA DE BLOCH [17]..... | 45 |
| FIGURA 5-3. REPRESENTACIÓN DE UN QUBIT POR DOS NIVELES ELECTRÓNICOS EN UN ÁTOMO..... | 46 |
| FIGURA 5-4. METODOLOGÍA DE CLONACIÓN PROPUESTA..... | 48 |
| FIGURA 5-5. EL MECANISMO ELITISTA..... | 49 |
| FIGURA 5-6. CLUSTERIZACION..... | 50 |
| FIGURA 5-7. SEÑAL ORIGINAL DEL NANOSENSOR..... | 50 |
| FIGURA 6-1. NANOHILOS CRUZADOS CON CONEXIONES RANDÓMICAS..... | 54 |
| FIGURA 6-2. UN DISPOSITIVO AND ALEATORIO PARA PAQUETES CON UN ANCHO DE 3..... | 55 |
| FIGURA 6-3. AGRUPACIÓN DE PLEXORES CON $N=4$ Y $s=3/4$. [26]..... | 56 |
| FIGURA 6-4. UN EJEMPLO DE LA FORMULACIÓN DE UN DISEÑO DE CIRCUITO. [26]..... | 58 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 6-5. UN CIRCUITO SIMPLE. [26]..... | 58 |
| FIGURA 6-6. EJEMPLO DE CIRCUITO BASADO EN DATOS CUÁNTICOS. | 59 |
| FIGURA 6-7. EJEMPLO DE CIRCUITO DE ELIMINACIÓN DE INFORMACIÓN QUE GENERA INCERTIDUMBRE. | 59 |
| FIGURA 6-8. EJEMPLO DE CONCEPTO FUNCIONAL DE FREGE | 60 |
| FIGURA 6-9. DIAGRAMA PARA LA INFORMACIÓN DE LOS CIRCUITOS. | 61 |
| FIGURA 6-10. TIPOS DE QUBITS DE ACUERDO AL TIPO DE INFORMACIÓN | 63 |
| FIGURA 6-11. REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE UN QUBIT | 63 |
| FIGURA 6-12. MOVIMIENTO DEL SPIN DE UN ELECTRÓN. [13] | 64 |
| FIGURA 6-13. COMPUERTAS CUÁNTICAS. | 65 |
| FIGURA 6-14. OBSERVACIÓN DE LOS PROCESOS F1 Y F2 | 66 |
| FIGURA 6-15. REGLAS DE POSIBILIDADES DE DOS PROCESOS DE OBSERVACIÓN..... | 66 |
| FIGURA 6-16. EJEMPLO DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE POSIBILIDADES..... | 68 |
| FIGURA 6-17. PROPIEDADES DE UN MATERIAL DE ACUERDO A SU ESCALA. [3] | 69 |
| FIGURA 6-18. TAMAÑO DEL MATERIAL. [25] | 69 |
| FIGURA 6-19. ESCALA HACIA ABAJO [28] | 70 |
| FIGURA 6-20. NANOMATERIALES. | 70 |
| FIGURA 6-21. BARRA NANOMAGNÉTICA DE 200NM X 40NM, 25NM DE GRUESO. CON UN BIT ALMACENADO POR ELEMENTO ESTO CORRESPONDERÍA A UNA DENSIDAD DE ALMACENAMIENTO DE 27 GBIR POR PULGADA CUADRADA [31] | 72 |
| FIGURA 6-22. FACTOR N PARA DISTINTOS ENTORNOS [33]..... | 74 |
| FIGURA 6-23. CIRCUITO LÓGICO GENERAL | 76 |
| FIGURA 6-24. ESTADOS CUÁNTICOS. [17] | 81 |
| FIGURA 6-25. DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA DE LA ESTRUCTURA DEL CNT..... | 82 |
| FIGURA 6-26. CIRCUITO OPERADOR EVOLUTIVO NAND Y NOR [8] | 85 |
| FIGURA 6-27. CIRCUITO OPERADOR LÓGICO NOR [8]..... | 86 |
| FIGURA 6-28. SÍMBOLO OPERADOR LÓGICO MUTABLE NAND NOR. [8]..... | 87 |
| FIGURA 6-29. CIRCUITO DE ACOPLE DE NIVEL LÓGICO. [8]..... | 88 |
| FIGURA 6-30. CIRCUITO CÉLULA MADRE ELECTRÓNICA. [8] | 90 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág |
|--|-----|
| ANEXO 1. NANOTECNOLOGÍA, BIOSEGURIDAD Y BIOÉTICA | 109 |

RESUMEN

El presente trabajo contempla la investigación y el desarrollo de una nueva metodología el desarrollo de modelos nanotecnológicos de acuerdo a una metodología de diseño, implementación de recubrimientos y mantenimiento, para la captura, transformación, almacenamiento y extracción de datos, de un electroestimulador con nanoinstrumentación fabricada por electrohilado. Éste proyecto de investigación incluye un electroestimulador inteligente, que utiliza electrodos y aplica una metodología basada en la clonación artificial de nanosensores y nanocontroladores automáticos, extendida a equipos biomédicos, con transmisión inalámbrica, por membrana de película delgada asociadas a las señales eléctricas de electroestimulación.

PALABRAS CLAVE: Algoritmos de simulación, clonación de sensores y controladores, corrientes de electroestimulación, diseño, electrohilado, impulsos eléctricos, medición a nanoescala, simulación, técnica Top-Down, teoría cuántica.

1 INTRODUCCIÓN

La nanotecnología se ha establecido como prioridad en el área de la investigación de muchos países debido al gran auge de fabricación de estructuras y dispositivos a nivel molecular con el fin de sanar, tratar o recuperar partes del cuerpo del ser humano a partir de investigaciones.

El método de electrospinning permite, mediante la electroestática, la formación de fibras en la escala de los nanómetros, con un fluido cargado con un campo eléctrico. Ésta cantidad de fibras obtenidas en el colector van a una membrana a escala nanométrica para ser utilizada actualmente en músculos con fines terapéuticos mediante la electroestimulación.

Brasileiro et. Al., definen la electroestimulación como la acción de estímulos eléctricos terapéuticos aplicados sobre el tejido muscular a través del sistema nervioso periférico, a condición de su integridad. Este impulso eléctrico, produce potenciales de acción sobre las células excitables como lo hace el cerebro. Esto es, la acción emitida por el cerebro se propaga a gran velocidad hasta alcanzar la terminación axónica, donde la liberación del neurotransmisor acetilcolina, genera cambios en el interior de la célula, resultando en la contracción muscular. El uso de la electroestimulación es muy extendido en el campo de la rehabilitación y del acondicionamiento físico, tanto deportivo, como estético [25].

Para el presente documento, se desea diseñar una membrana basada en nanotecnología con la ayuda del conocimiento de las células madres biológicas que orientan la implementación de una célula madre electrónica, basada en las compuertas lógicas para generar los circuitos que permitirán el funcionamiento de la membrana mencionada anteriormente a partir de los procesos de clonación de sensores y del hardware evolutivo; las ecuaciones que regirán el comportamiento de los sistemas nanotecnológicos a trabajar estarán basadas en la teoría cuántica y, se realizará la simulación del sistema nanotecnológico basado en la lógica fuzzy.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La electroestimulación muscular es una rama fisioterapéutica en la cual se hace pasar electricidad por el cuerpo humano. La electricidad provoca el fenómeno natural de la excitación del nervio a lo que las fibras musculares responden con una unidad de trabajo, una sacudida, que sumada a otras, a una cierta frecuencia, provocará una contracción. La electroestimulación muscular es pues, el medio de imponer a las fibras musculares un trabajo, y éstas progresan gracias al trabajo que realizan.

Actualmente, en gran parte del mundo se está presentando la moda de la utilización de la electroestimulación tanto para fines terapéuticos como para el deporte y hasta la estética. Sin embargo, no sobra decir que ésta técnica tiene tanto ventajas como desventajas, contraindicaciones que llegan a resultar problemáticas para los pacientes o personas que la usen como en el caso de los electrodos o de la acupuntura, que son los medios invasivos en la piel que se utilizan actualmente para practicar ésta técnica.

Las personas que tienen prohibido utilizar un electroestimulador son todas aquellas que tienen marcapasos, sufren de epilepsia, tienen la piel lesionada por cualquier tipo de herida, poseen tumores o metástasis, tienen varices muy pronunciadas, tienen trombosis, poseen procesos hemorrágicos, tienen fiebre, alteraciones de la sensibilidad, enfermedad cardiaca o arritmia, a las embarazadas, tampoco se puede usar en el trayecto de la arteria carótida, ni usar si tiene hernia en abdomen o región inguinal.

Además, el uso de electroestimuladores musculares tiene efectos secundarios diversos, en personas con tendencias a ciertas patologías, como la mala circulación en miembros inferiores, por lo que no es recomendable esta forma de entrenamiento alternativo. El uso de electrodos de electroestimulación, pueden ser causa de arañitas en las pernas.

Existen en el mercado variados equipos de electroestimulación, que aplican generalmente técnicas invasivas por electrodos y/o agujas, además presentan desajustes que obligan a calibraciones frecuentes por desviaciones de tiempos de pulso y reposo, en el momento de controlar las frecuencias, lo que impide una correcta utilización de la electroestimulación y podría en algunos casos causar lesiones; asimismo, la mayoría de los

equipos existentes, por utilizar medios invasivos para la transmisión de los impulsos provocan al entrar en contacto con la piel, irritaciones o quemaduras, estas pueden ser químicas o por calor generado, las cuales pueden ser superficiales y en algunos casos alcanza la dermis.

El presente proyecto **sistema de electroestimulación por tecnología de fabricación de electrohilado** pretende resolver y responder varias preguntas relacionadas con el problema planteado ¿Cómo desarrollar el diseño de un sistema de electroestimulación que no utilice medios invasivos para la electroterapia? ¿Qué medios disponibles con la aplicación de nanomateriales permitiría generar los impulsos eléctricos de electroestimulación con utilización de membrana? ¿Cuáles serían los procedimientos del método de fabricación por electrospinning de los nanohilos y su inserción en la membrana generadora de electroimpulsos para la electroestimulación? ¿Qué modelos de sistemas nanotecnológicos nanosensor-controlador-nanoactuador permitiría regular el régimen de terapia de acuerdo a las especificidades de esta técnica de tratamiento de discapacidades motoras?

2.2 JUSTIFICACIÓN

El acelerado desarrollo de los sistemas inteligentes, la tecnología dedicada a la medicina a lo largo de los últimos años ha impulsado el desarrollo de aplicaciones con alta interacción con el mundo externo, que funciona en diferentes ambientes y con autonomía en la realización de sus acciones. Los sistemas de electroestimulación abarcan ramas desde la terapia, el deporte y la estética, donde en la primera rama, se desea impulsar más investigaciones, proyectos, tecnologías y más que ayuden a los pacientes a recuperar, tratar y demás los músculos que se encuentran lastimados, limitados o que necesiten terapia para su pronta recuperación.

Los paradigmas de desarrollo de tecnologías que aplican la genética y la clonación artificial en ingeniería, surgen como una alternativa para la construcción de medios y sistemas de alta precisión, que permitan dar cumplimiento a este tipo de exigencias, combinando tecnologías existentes como es la inteligencia artificial con el electrohilado y el diseño de circuitos lógicos mutables.

La justificación de la necesidad de la investigación tiene como antecedentes que en la investigaciones de la UNAB en área de Bioequipos se han ejecutado varios proyectos como las prótesis de mano y pierna, un electroestimulador por acupuntura, el exoesqueleto mecatrónico entre otros la mayoría han sido proyectos aprobados y

cofinanciados por Colciencias, el presente proyecto se justifica porque está orientado a continuar las investigaciones en bioequipos y nanotecnología como parte de la prospectiva de los planes de desarrollo de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas en sus proyectos del nuevo programa de pregrado de Ingeniería Biomédica, el Proyecto FOSUNAB, Proyectos del Doctorado en Ingeniería Red Mutis, de la Maestría en Ingeniería y en los Programas de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería de Sistemas, los resultados contribuirán con nuevos conocimientos para la electiva de profundización en Aplicación de Sistemas nanotecnológicos en Ingeniería, para las investigadores del Semillero de Instrumentación y control y de la Especialización en Automatización Industrial y del actual pregrado de Ingeniería Mecatrónica.

Además, la nanotecnología se ocupa de adquirir, desarrollar, implementar, evaluar y controlar los materiales o componentes que trabajen a escala nanométrica con el fin fundamental de generar progreso y valor permanente para la organización que lo produce, usa o comercializa.

Para los proyectos enfocados en nanotecnología se puede: tomar decisiones técnicas que impliquen desarrollar, transferir, controlar o aplicar tecnología de materiales o productos nanométricos. También se pueden diseñar e implementar modelos productivos a partir del uso de la nanotecnología. Asimismo, diagnosticar y proponer ideas de renovación o actualización tecnológica a escala nanométrica y que impliquen consideraciones éticas o económicas. Igualmente, formular, ejecutar y participar en procesos de transferencia tecnológica con estrategias de innovación y desarrollo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar sistemas nanotecnológicos de electroestimulación basados en modelos cuánticos y de semejanza por tecnología de fabricación de Electrohilado (Electrospinning).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar los circuitos de medición, control y accionamiento (mecanismo ejecutivo) a escala nanotecnológica.
2. Generar los algoritmos de simulación de sistemas nanotecnológicos (nanosensor-controlador-nanoactuador) basados en la teoría cuántica, las relaciones de comportamiento de espinelectrones y los criterios de semejanza por metodología de diseño Top-down.
3. Realizar los procedimientos de diseño de membrana sensitiva obtenida por el método de fabricación de electrospinning de nanohilos y su ensamble en la membrana con capacidad generadora de electroimpulsos para la electroestimulación.
4. Simular en Matlab el sistema nanotecnológico de electroestimulación basados en modelos cuánticos y de semejanza por tecnología de fabricación de Electrohilado para verificar las condiciones de diseño.

4 MARCO TEORICO

La electroestimulación es la técnica que utiliza corriente eléctrica controlada en tiempo, forma y modo de aplicación, para provocar contracciones musculares, con el fin de prevenir, entrenar o tratar músculos; buscando un propósito terapéutico, de recuperación, analgésico y/o gimnasia pasiva.

Dicha técnica se realiza por medio de un dispositivo llamado electroestimulador, el cual produce una serie de impulsos eléctricos con suficiente energía para generar una excitación en las células musculares y/o nerviosas y de esta forma modificar su estado habitual.

En la actualidad existen empresas internacionales que han basado sus investigaciones en la rama de la electroestimulación, permitiendo así una variedad de dispositivos para prevenir, entrenar o tratar los músculos, buscando una finalidad terapéutica o una mejora de su rendimiento. Indudablemente en el comercio se consiguen electroestimuladores creados por empresas norteamericanas, Europeas, Asiáticas; uno de estos casos CEFAR, compañía sueca dedicada a la electroterapia desde hace más de 30 años. Como es lógico, esta empresa posee estudios suficientes como la importancia del tipo de onda, de su duración, de su amplitud y de su frecuencia, esencial a la hora de obtener resultados satisfactorios con la electroestimulación y garantizar la seguridad en su utilización.

La electroestimulación es una técnica cuya función es causar una contracción muscular por medio de una corriente eléctrica, la finalidad de esta estimulación es acoplar los músculos, ya sea como método para la prevención, ejercitación, o como una finalidad terapéutica o mejora en el rendimiento de los mismos.

Esta técnica ha sido utilizada con frecuencia y desde hace mucho tiempo; además de ser más manejada en el campo donde los pacientes se encuentran en rehabilitación; debido a que aporta significativos beneficios en las áreas de la prevención y el tratamiento de la atrofia muscular, la potenciación, las contracturas, el aumento de la fuerza para la estabilidad articular, la profilaxis de la trombosis, y la estimulación de los músculos paralizados, entre otros, y también para el tratamiento del dolor.

Este proyecto contiene la teoría, metodología y diseño de sistemas nanotecnológicos de electroestimulación por tecnología de fabricación de Electrohilado (Electrospinning) y surge a partir de una propuesta interna de investigación aprobada para el periodo 2014-

2015 titulada Diseño, Modelación y Simulación de sistemas nanotecnológicos de electroestimulación por tecnología de fabricación de Electrohilado (Electrospinning) del Grupo de Control y Mecatrónica GICYM ,cuyo investigador principal es el Prof. ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ MONER actual tutor del proyecto de grado con el título de SISTEMA DE ELECTROESTIMULACIÓN POR TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO registrado en el semillero de Instrumentación y Control y aprobado como proyecto de grado que incluye otros resultados; cuyos resultados y alcances se constituyeron en objetivos del proyecto mencionado.

Entre los proyectos relacionados con electrospinning y la electroestimulación se encuentra el titulado Prototipo automatizado para la implementación de la técnica "electrospinning" en aplicaciones farmacológicas.¹ En este proyecto se diseñó y construyó un prototipo electromecánico automatizado que controla las variables físicas que intervienen en la producción de fibras de forma homogénea y estándar como resultado final del proyecto "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRO-MECÁNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA "ELECTROSPINNING" EN APLICACIONES FARMACOLÓGICAS" financiado por Colciencias y la Fundación Cardiovascular de Colombia.

Lo que se va a extraer de este proyecto es principalmente la descripción del proceso que realizan durante el proceso de electrospinning usando una fuente de alto voltaje, el sistema de inyección, los inyectores, los posicionadores, los sensores y la banda transportadora. También se tendrá en cuenta de este proyecto la información que se tiene respecto al marco teórico del electrohilado.

Otro de los proyectos es el del Electroestimulador inteligente y sistema de clonación artificial de sensores de movimiento y control adaptativo-predictivo, por acupuntura con agujas-electrodos y transmisión inalámbrica, evaluado en un diseño de prototipo construido. ². La electroestimulación es desde hace mucho tiempo, una herramienta de "terapia ocupacional"; la mayor parte de las patologías necesitan un tratamiento sensitivo y un tratamiento motor (fortalecimiento y/o estiramiento de los músculos). Entre las investigaciones que se realizan en el Laboratorio de Computo Especializado- LCE de la UNAB, por el Grupo de Control y Mecatrónica reconocido por Colciencias, en este proyecto de investigación sobre un electroestimulador inteligente, que utiliza como electrodos, las agujas de acupuntura y aplica una metodología basada en la clonación artificial de sensores y controladores automáticos, extendida a equipos biomédicos, con transmisión inalámbrica, de las señales eléctricas de electroestimulación. De este proyecto

¹ Monografía de Jorge Humberto Rodríguez Pacheco para optar al título de Especialista en Automatización Industrial en la UNAB del 2010

² Proyecto de Ing. Esp.(c) Edgar Mauricio Jaimes Moreno Joven Investigador COLCIENCIAS de la UNAB

se extraerá lo que representa la clonación artificial en ingeniería, además, el proceso de clusterización, la lógica fuzzy que utilizaron y el hardware evolutivo que crearon.

4.1 CORRIENTES DE ELECTROESTIMULACIÓN

Son aquellas corrientes eléctricas que son capaces de generar actividad muscular, dicho en otros términos es una corriente que incita a los músculos a contraerse.

Las corrientes terapéuticas son clasificadas según su frecuencia en:

- Corrientes de baja frecuencia, estas frecuencias no superan los 800 Hz.
- Las Corrientes de frecuencia media que oscilan entre 800 y 5.000 Hz. Esta frecuencia es utilizada por las ondas de interferencia y las corrientes rusas³.
- Corrientes de alta frecuencia, cuya frecuencia supera los 5.000 Hz. Dejan de poseer efecto excitomotriz en forma gradual cuando se acercan a 10.000 Hz.

Parte de las corrientes de baja frecuencia son las corrientes dinámicas que se caracterizan por ser corrientes de electroestimulación muscular. Las corrientes eléctricas actúan directamente sobre la membrana celular del músculo, despolarizándola, activando de esta manera el mecanismo contráctil. El efecto más importante es la capacidad de producir excitación neuromuscular. Independientemente del tipo de corriente utilizada, para poder producir una contracción muscular, debe cumplir ciertos requisitos⁴:

- Intensidad: la intensidad del estímulo debe alcanzar el umbral de despolarización de la fibra nerviosa. Un estímulo mayor a este valor no hará que la contracción de esa fibra sea más vigorosa, pero si aumentará la fuerza de contracción del músculo estimulado por mayor reclutamiento de unidades motoras.
- Tiempo de duración del impulso: el impulso de estimulación debe tener la duración suficiente para despolarizar la membrana, y debe tener un ritmo de ascenso suficiente.

³ El objetivo de estas corrientes es buscar la potenciación muscular reduciendo al máximo las molestias al paciente. Tomado de la página web: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aFmaahUMrQcl:www.medestetica.com.ar/docs/001049/Diadinamicas.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

⁴ Tomado de la página web mencionada en la nota anterior.

- Frecuencia: los fenómenos de excitación neuromuscular aumentan a medida que aumenta la frecuencia de corriente empleada, hasta un valor determinado (+/- 2500 Hz.), a partir de donde la respuesta va disminuyendo.

En la electroterapia se puede clasificar las corrientes según la metodología, el efecto que genera, la frecuencia y la forma.

- Según metodología: Todas las corrientes se aplican de acuerdo a cuatro métodos regulables en los dispositivos existentes, éstos son:
 - Pulsos aislados
 - En trenes de pulsos o ráfagas
 - Frecuencia Constante
 - Modulaciones o cambios constantes y repetitivos
- Según los efectos generados: Al aplicar electroterapia en cualquiera de sus dimensiones, se buscan cambios o efectos de tipo:
 - Bioquímicos
 - Estímulo sensitivo en fibra nerviosa
 - Estímulo motor en fibra nerviosa o fibra muscular
 - Aporte energético (el organismo absorbe la energía y la aprovecha en cambios metabólicos).
- Según las frecuencias.
 - Baja Frecuencia
 - Media Frecuencia
 - Baja Frecuencia
- Según las formas: existen diferentes formas de onda; las más utilizadas en la medicina son:
 - Galvánica: “La corriente galvánica es una corriente continua, de valor constante, en el tiempo útil.”⁵ Se encuentra constituida por 3 intervalos:
 - Tiempo de establecimiento: es el tiempo que tarda la corriente en establecer su valor máximo. La corriente empieza a circular y su valor va aumentando poco a poco.
 - Régimen permanente: en este intervalo de tiempo, la corriente ha alcanzado su valor máximo y permanece constante.

⁵ http://www.demox.com.ar/corr_galvanicas/corrientes_galvanicas.htm

- Tiempo de caída: es el tiempo que demora la corriente en alcanzar su valor de 0V, desde el momento en que se decidió terminar con la aplicación.
- Interrumpidas galvánicas: Son aquellas ondas que se encuentran conformadas por pulsos positivos o negativos, pero en mismo sentido, poseen polaridad. Los pulsos pueden ser de diferentes formas y frecuencias, así como agrupados en trenes, impulsos aislados, modulados o frecuencia fija.

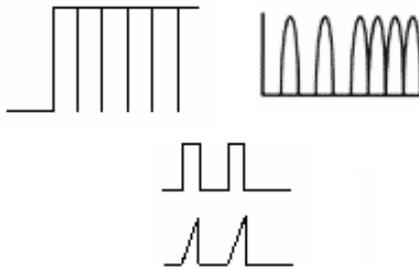


Figura 4-1. Ondas Interrumpidas.⁶

- Alternas: Reciben el nombre de alternas porque su característica fundamental se manifiesta en el constante cambio de polaridad, en consecuencia, no poseen polaridad. La forma más característica es la sinusoidal perfecta de mayor o menor frecuencia. Existen otras corrientes cuya frecuencia no es la típica sinusoidal, denominadas bifásicas.

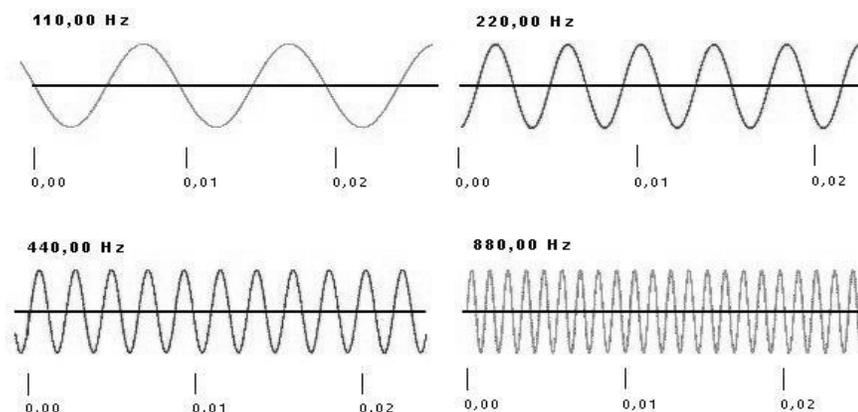


Figura 4-2. . Ejemplos de ondas alternas a diferentes frecuencias.⁷

⁶ Tomado de la página web: <http://www.monografias.com/trabajos88/electro-estimulador-muscular/electro-estimulador-muscular.shtml>

- Interrumpidas alternas: En este grupo entran un gran conjunto de corrientes no bien definidas y difíciles de clasificar, pero que normalmente consisten en aplicar interrupciones en una alterna para formar pequeñas ráfagas o paquetes denominados pulsos. Es muy frecuente encontrar estos pequeños paquetes de alterna en magnetoterapia, alta frecuencia.



Figura 4-3. Modelo de onda interrumpida alterna

4.2 BENEFICIOS DE LAS TERAPIAS DE ELECTROESTIMULACIÓN, VENTAJAS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN Y EL ELECTROSPINNING Y SU EVOLUCIÓN

Las terapias de electroestimulación traen consigo consecuencias benéficas para el paciente, algunas de éstas se resumen en los siguientes ítems.⁸

- Incrementos de volumen muscular por la mayor intensidad que se aplica desde el inicio del programa.
- Mayor regeneración tisular de gran ayuda en el caso de artrosis, artritis y/o osteoporosis.
- Acelerar los procesos de recuperación en caso de lesiones y/o después de actividades fatigantes por la cómoda reducción del ácido láctico y la posterior recuperación de los microtraumatismos intramusculares provocados por el entrenamiento (deportivo y físico) voluntario y/o por el inducido por la EEM.

Las siguientes son algunas de las ventajas de la electroestimulación.

- Acelera los logros (disminución del porcentaje de grasa, aumento de tono, incremento del volumen muscular, aumento de la fuerza, etc.)

⁷ Tomado de la página web: [//www.monografias.com/trabajos15/reparacion-pc/reparacion-pc.shtml](http://www.monografias.com/trabajos15/reparacion-pc/reparacion-pc.shtml)

⁸ Tomado de la página web: <http://www.entrenamientos.org/entrenamiento-fisico/item/70-fitness-y-electroestimulacion>

- Incrementa la motivación y rentabiliza el tiempo.
- Hace posible un trabajo de fuerza sin involucrar las articulaciones que revertirá en mantener su “capital óseo-muscular”.

El término electrospinning es reciente y deriva de spinning electroestático. Se hizo uso de él por primera vez en 1994, pero la idea científica es original de los años 30. La patente por el electrospinning se registró en el 1934 por Formhals. Se describía un dispositivo experimental para la producción de filamentos de polímero empleando un campo electrostático.

A lo largo de los últimos 20 años, pero más significativamente los últimos años se han dedicado más esfuerzos al electrospinning. Esta tendencia podría atribuirse al interés actual en las microfibras y nanofibras que se pueden obtener por este proceso.

Se han conseguido producir fibras finas para electrospinning a partir de más de cincuenta polímeros, entre disoluciones y polímeros fundidos. Esta cifra muestra el potencial que este proceso está generando. Aun así, la comprensión de los fundamentos del proceso es aún muy prematura y la literatura relativa a la física del proceso de electrospinning es limitada.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ELECTROSPINNING

Un campo electrostático lo suficientemente fuerte, es aplicado entre dos polos opuestos, conformados por una aguja o sistema de inyección y una placa metálica o colector, (el cual está a potencial 0), donde se depositan las fibras nanométricas formando un tejido con textura, color, y densidad características.

La disolución del polímero previamente preparada, se carga en una jeringa de inyecciones que, mediante un tubo de plástico inerte, se conecta a una aguja. Una bomba de infusión o perfusión unida al émbolo de la jeringuilla genera una presión y un flujo constante que a través del tubo se trasmite a la disolución del polímero en la aguja. Por el efecto de la polarización y la carga originadas por el campo eléctrico, la solución es arrojada en forma de jet hacia una superficie conductora conectado con tierra (por lo general una pantalla metálica) a una distancia entre los 5 y 30cm del cono o aguja. Durante la creación del jet, el solvente gradualmente se evapora, y el producto obtenido se deposita en forma de manta de fibra no-tejida compuesta de nano fibras con diámetros entre 50 nm y 10 μ m.

En el flujo electro-hidrodinámico del jet, las cargas son inducidas en el fluido a través de la distancia de separación de los electrodos (punta de aguja y colector metálico), rompiéndose la tensión superficial a través del campo eléctrico y descomponiéndose en una tangencial (t) y una normal (n), formando el cono de Taylor.

A medida que el jet adquiere una aceleración significativa, su diámetro disminuye en magnitud; finalmente el jet se solidifica convirtiéndose en una fibra de medidas nanométricas y presentándose una corriente del orden de micro Amperios sobre el jet.

La corriente sobre el jet proporciona la información sobre la densidad de la superficie de carga, que es un parámetro importante en el momento de determinar la estabilidad del jet.

La gota líquida está sujeta al extremo de la aguja por su tensión superficial hasta que la repulsión mutua de las cargas en la superficie de la gota es más fuerte y provoca una fuerza en sentido contrario a la contracción de la gota. La superficie de la gota sufre progresivamente el efecto de esta fuerza hasta que comienza a alargarse y a formar un cono inverso, llamado cono de Taylor. El proceso de elongación llega a un límite en el que la concentración de la carga es tan elevada que sobrepasa a la tensión superficial y da lugar a un haz en la punta del cono. El haz recorre varias trayectorias inestables durante las cuales se alarga, reduce su diámetro y pierde todo el disolvente (o se solidifica).

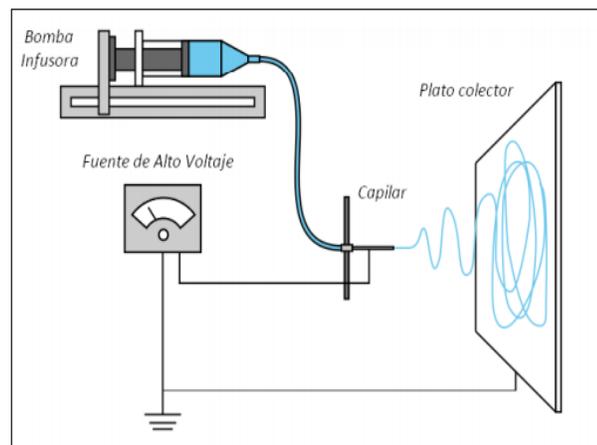


Figura 4-4. Descripción del proceso de electrohilado.⁹

⁹ Tomado de la página web: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE13/duque.pdf>

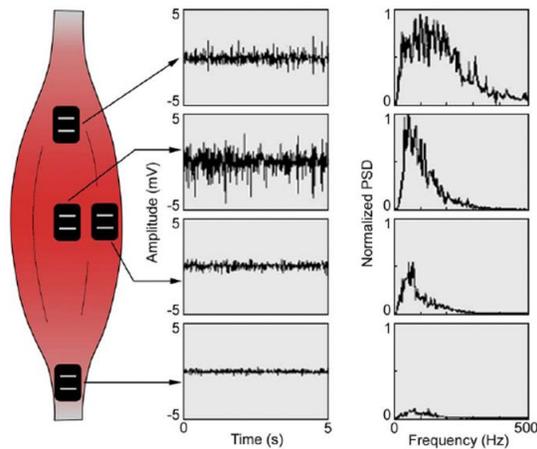


Figura 4-5. Ubicación de la membrana con nanohilos para la electroestimulación en los músculos¹⁰

4.4 PARAMETROS DEL PROCESO DE ELECTROSPINNING

Una de las principales variables cuantificables del proceso electrospinning es el diámetro de las fibras. Esta variable depende en su mayor parte del tamaño del haz y de la concentración de polímero que éste contenga. Según los fundamentos físicos publicados sobre el electrospinning, no hay un consenso total del proceso que el haz sufre en el recorrido entre la punta y el colector. Puede ser o no, que el haz se divida en más haces y que estos resulten en diferentes diámetros de fibras. En el caso de que no haya esta partición, la viscosidad se convierte en una de las variables más determinantes para el diámetro de las fibras.

Cuando los polímeros se disuelven, la viscosidad de la disolución es proporcional a la concentración de polímero. Por tanto, cuanto más alta sea la concentración, mayor será el diámetro de las fibras resultantes. El voltaje también es un parámetro respecto al cual el diámetro de las fibras es directamente proporcional, debido a que generalmente hay más disolución en el haz.

Las fibras producidas por electrospinning, a menudo, presentan defectos como son los poros y las aglomeraciones. La literatura indica que la concentración de polímero afecta la formación de aglomeraciones de tal manera que cuanto más concentrada en polímero sea la disolución para electrospinning, menos aglomeraciones presentarán las fibras. Algunas

¹⁰ Tomado de la página web: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE13/duque.pdf>

investigaciones han desarrollado ideas de los parámetros de los cuales depende la formación de aglomeraciones.

Algunos investigadores atribuyen el hecho de que no se formen aglomeraciones a la baja tensión superficial. Otros relacionan la baja concentración superficial en la concentración de polímero. Cabe destacar que la tensión superficial varía en función del disolvente y por este motivo el electrospinning no siempre es óptimo a tensiones superficiales bajas.

4.5 DIFERENCIA ENTRE MICROELECTRÓNICO Y NANO ELECTRÓNICA

Las dos ciencias, la microelectrónica como la nanoelectrónica, son ramas de la electrónica dedicadas al diseño y construcción de circuitos integrados, para cualquier aplicación. Estas pueden ser muy complejas o muy sencillas, muy precisas o simplemente repetitivas, de operación en ambientes inhóspitos o ambientes cotidianos, etcétera. Siempre habrá un CI (circuito integrado) que se pueda diseñar y fabricar para cualquier aplicación, y por lo tanto, encontramos CIs muy simples, de sólo unos cuantos transistores, hasta CIs de millones de componentes, como en un microprocesador de computadora personal.

La diferencia entre estas dos ciencias son las siguientes: la microelectrónica trabaja en escalas milimétricas o hasta en cientos de nanómetros, se basa en las propiedades físicas tradicionales de los elementos a macroescala es decir, estos elementos funcionan basados en corriente, voltaje, u en general como estos chips se basan en transistores, estos deben regirse a las propiedades tradicionales de los TBJ o los MOSFET. Además se basa en el silicio como principal elementos de desempeño de los circuitos integrados.

La nanoelectrónica trabaja en escalas nanométricas, es decir, centenas hasta unidades de nanómetro, las propiedades físicas corresponden al mundo atómico y subatómico, rige la mecánica cuántica y toda la electrónica tradicional desaparece, aquí ya no existen conceptos de voltaje o corriente como se los conoce, estos en cambio aparecen bajo el uso de campos eléctricos y magnéticos, así como fuerzas atómicas. Otra diferencia radica en el uso de carbono y sustancias biológicas para crear estos elementos, en sí, lo único que tienen en común con sus antepasados electrónicos son los nombres, porque en cierto sentido pueden funcionar muy similar a un conmutador on/off hecho con un FET, pero en realidad son otro tipo de elementos.

A continuación se realiza una comparación entre transistores MOSFET y nanoelectrónicos, utilizados para la creación de circuitos integrados.

Tabla 4-1. Comparación entre transistores MOSFET y dispositivos nanoelectrónicos.

| CARACTERÍSTICAS/ELEMENTO | TRANSISTOR MOSFET | TRANSISTOR BASADO EN NANOTUBOS DE CARBONO | TRANSISTOR DE ELECTRÓN ÚNICO |
|-------------------------------|------------------------------|--|--|
| Temperatura | 0 a 80°C | Desde temperatura ambiente | Desde temperatura ambiente |
| Ancho de banda | En microcircuitos hasta 3GHz | En el orden decenas de TeraHertz | En el orden decenas de TeraHertz |
| Forma de activación | Mediante corriente y voltaje | Mediante la manipulación de la mecánica cuántica | Mediante la manipulación de la mecánica cuántica |
| Tamaño | 40 millones por chip | 1.4 gigas por chip | 1.4 gigas por chip |
| Fuente mínima de alimentación | 1.5 Voltios | 0.5 Voltios | 0.5 Voltios |
| Se basan en partículas | Silicio | Carbono | Carbono |

4.6 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE MEDICION DEL NANOSENSOR, NANOACTUADOR Y CONTROL INTELIGENTE (SMART CONTROL)

Los nanomateriales son atractivos por sus propiedades, especialmente todos los que están basados en las estructuras del carbono; aquí se presentan los nanotubos y otras estructuras que son los elementos básicos de la nanoelectrónica, y de los cuales se espera a futuro aprovechar y explorar sus sorprendentes propiedades.

Existen tres áreas interdependientes en la nanotecnología:

1. Nanotecnología Húmeda (wet) es la ciencia que estudia los sistemas biológicos que existen en el agua. Las nanoestructuras de interés a este nivel son los materiales genéticos, membranas, enzimas, y otros componentes celulares; la nanotecnología permite demostrar que existen organismos vivos cuyas funciones son reguladas por la interacción de estructuras a nivel nanométrico.
2. Nanotecnología Seca (Dry) es la ciencia que se encarga de la fabricación de las estructuras de carbono, silicio y otros materiales inorgánicos. Esta ciencia se basa en la física y química, y sus aplicaciones principalmente sobre metales y

semiconductores, mediante la interacción de los electrones sobre estos tipos de materiales inorgánicas; son una gran promesa como elementos electrónicos, magnéticos y ópticos. Muchas industrias buscan lograr desarrollar nanoelementos que trabajen tanto a nivel orgánico como inorgánico.

3. Nanotecnología Computaciones es la ciencia que modela y simula complejas estructuras a nivel nano. La gran capacidad de cálculo predictivo y analítico es crítico para un buen trabajo en la nanotecnología.

El presente epígrafe se enfoca en la nanotecnología Seca y en estructuras de carbono. Las nanopartículas pueden ser usadas para desarrollar materiales con propiedades únicas. El carbono elemental es el elemento más simple que se utiliza en nanotecnología. Los investigadores Robert F Curl, Harold W. Kroto en 1985 descubren el fullerene, una molécula formada por 60 átomos de carbono en forma de balón de fútbol a la que han denominado C60 buckyball.

En el año 1990 Richard Smalley postuló que una estructura fullerene tubular, debe ser posible, esto se debe a que los dos hemisferios del C60 están conectados entre sí mediante un tubo, este está formado por unidades hexagonales.

Cada fullerene por ejemplo C60, C70 y C80, tienen las características del carbono puro, cada átomo se enlaza con otros tres como el grafito, la diferencia con el grafito es que las moléculas fullerene tienen 12 caras pentagonales con algunas caras hexagonales por ejemplo buckyball tiene 20 caras hexagonales. Un nanotubo es una estructura fullerene con un número atómico elevado por ejemplo C100, C540; se puede afirmar que son macromoleculares. Un nanotubo de carbono puro forman cadenas de enlaces hexagonales para formar cilindros cóncavos, estos materiales constituyen un nuevo tipo de polímeros en base a carbono puro. En la siguiente figura se observa algunos nanotubos basados en carbono que han sido producto de la investigación de estructuras fullerene (carbono utilizado en nanotecnología).

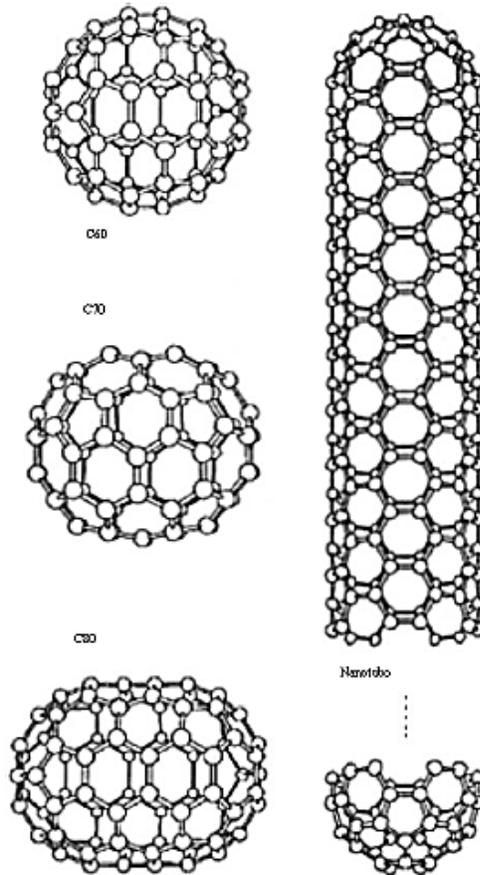


Figura 4-6. Estructuras de Fullerene

Las estructuras a nanoescala son investigadas experimentalmente utilizando microscopios electrón (SEM – scanning electrón microscopy – y SMT scanning tuneling microscopy) y microscopios de fuerza atómica (AFM). Estas herramientas se analizan más adelante.

4.6.1 Nanoestructuras básicas

A continuación se describen las nanoestructuras básicas, entre las cuales se encuentran los nanotubos de carbono y los puntos cuánticos.

4.6.1.1 NANOTUBOS DE CARBONO

Estas estructuras también son conocidas como SWCNT (single Wall carbono nanotubes), o SWNT (single Wall nanotubes); a partir del año 1990 se han realizado investigaciones en torno a estos elementos.

Los nanotubos de carbono consisten en capas de grafito muy parecidos a cilindros, estas estructuras cilíndricas tienen un diámetro en torno a 1nm. Ver la siguiente figura. La formulación molecular de un nanotubo único de carbono requiere que cada átomo debe ser colocado en el lugar correcto, el mismo que tendrá propiedades únicas. Un SWNT basado en carbono puede ser de tipo metálico o semiconductor, esto ofrece posibilidades interesantes para crear elementos, circuitos y computadoras nanoelectrónicas.

Los nanotubos de carbono son macromoléculas de carbono. Diferentes tipos de nanotubos son definidos por el diámetro, longitud y estructuras mellizas; en forma adicional un nanotubo cilíndrico SWNT también tiene múltiples nanotubos (NWNT) con cilindros dentro de los otros cilindros. La longitud del nanotubo puede ser millones de veces mayor que su diámetro (la longitud de un nanotubo es de 1 a 2nm). En recientes investigaciones para agrandar los nanotubos han llegado a longitudes de media pulgada.

Los enlaces de carbono soportan a la perfección las moléculas de los nanotubos, las que se transforman en alótopos con propiedades conductivas como conductividad termal, dureza, robustez, resistencia. Los nuevos tipos de materiales de carbono están formados de cadenas de carbono cerradas, organizadas en base a doce pentágonos y cualquier número de hexágonos. En SWNT el electrón libre que ha sido donado por cada átomo de carbono libre para moverse por toda la estructura, dando como resultado la primera molécula con conductividad eléctrica de tipo metálico. Las altas frecuencias a las que puede vibrar el enlace de carbono proporcionan una conductividad termal que es mayor que la conductividad del diamante. En el diamante la conductividad termal es la misma en todas las direcciones; en SWNT se conduce e calor por el eje del cilindro.

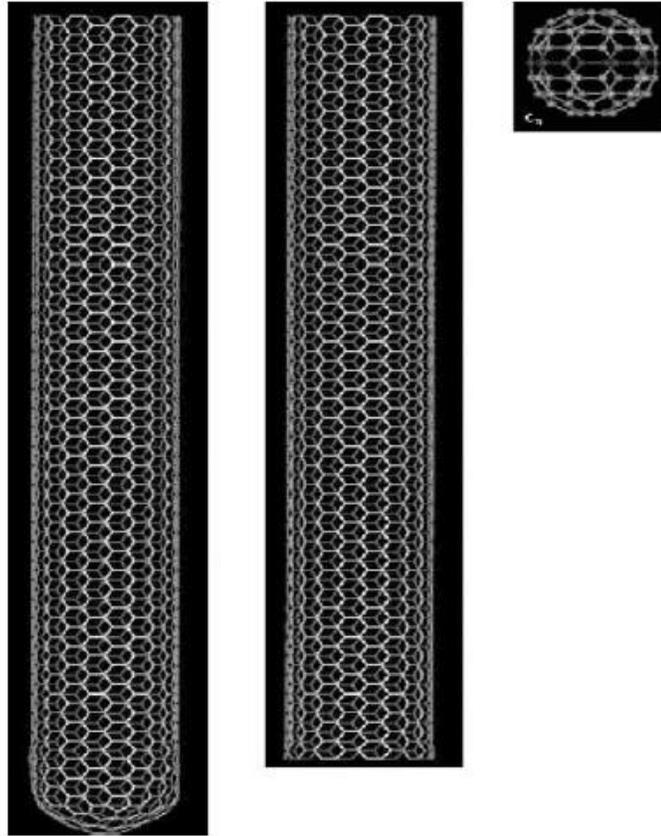


Figura 4-7. Nanotubos de carbono SWNT

Los átomos de grafito regular están colocados uno encima de otro, sin embargo pueden ser separados fácilmente. Cuando se forman arreglos de carbono tipo bobina éstos llegan a ser muy fuertes. Los nanotubos de carbono tienen propiedades físicas muy útiles, por ejemplo son cien veces más fuertes y seis veces más ligeros que las estructuras de carbono normales, los nanotubos son mucho más resistentes que los materiales conocidos, son muy buenos conductores de la electricidad. Los nanotubos de carbono tienen la misma conductibilidad eléctrica que el cobre. Los nanotubos son ligeros, térmicamente estables y químicamente inertes. Los nanotubos son muy resistentes a las altas temperaturas (hasta 1500 °C), los nanotubos son los mejores emisores de campo de electrones.

Los nanotubos son la molécula ideal lo cual implica que están libres del degradamiento en la estructura. Las moléculas de nanotubos pueden ser manipuladas por medios físicos y químicos. Como polímeros de puro carbono los nanotubos pueden ser manipulados mediante la química del carbono, en la tabla siguiente, se proporcionan algunas propiedades eléctricas y térmicas de los nanotubos.

Tabla 4-2. Propiedades de los nanotubos

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Comportamiento metálico | (n,m); n-m es divisible por 3 |
| Comportamiento semiconductor | (n,m); n-m no es divisible por 3 |
| Quantización de la conductancia | $n \times (12,9k\Omega)^{-1}$ |
| Resistividad | $10^{-4} \Omega\text{cm}$ |
| Máxima densidad de corriente | 10^{13} A/m^3 |
| Conductividad térmica | -2000 W/m/K |
| Transmisión promedio en espacio libre | -100 nm |
| Tiempo de relajación | -10^{11} s |
| Módulo de Young SWNT | -1 TPa |
| Módulo de Young MWNT | 1.28 TPa |
| Máximo esfuerzo de tensión | -30 Gpa |

En la siguiente figura se observa un nanotubo enrollado. Una de las capacidades de los nanotubos es la conductibilidad eléctrica, el carbono en estado natural tiene una pobre conductibilidad eléctrica, el nanotubo de carbono debido a que tiene enlaces con cilindros de ejes perpendiculares, proporciona la estructura de un verdadero metal. Otro resultado al enrollar una hoja de grafeno (carbono especial para crear nanotubos) produce tubos semiconductores que tienen alta conductibilidad; muy similares al silicio. Recientemente se habla de que los nanotubos de carbono pueden emitir luz, esto permitiría el desarrollo de elementos electrónicos fotónicos.

Los nanotubos de carbono se comportan como metales o semiconductores dependiendo de su espiral. Dependiendo de quien haya fabricado los nanotubos de carbono se pueden utilizar sustancias metálicas o semiconductores. Sin embargo el campo magnético coaxial puede ser usado para convertir nanotubos metálicos a semiconductores y viceversa. Dependiendo como las hojas se enrollen esto determina si los nanotubos son metálicos o semiconductores; para cambiar las propiedades eléctricas de un nanotubo se puede calibrar los niveles de energía mediante un fuerte campo magnético.

Las propiedades electrónica de MWNT (multi Wall carbono nanotubes) son similares a los de SWNT, porque el acoplamiento entre los cilindros es débil en los MWNT debido a la cercanía de la estructura electrónica en una dimensión, el transporte electrónico en tubos metálicos SWNT y MWNT ocurre en forma balística (sin dispersión) sobre las grandes distancias de los nanotubos permitiendo transportar altas corrientes con un mínimo calentamiento. Los fonones también se propagan fácilmente en los nanotubos.

La siguiente tabla representa las propiedades físicas de los nanotubos de carbono.

Tabla 4-3. Propiedades físicas de los nanotubos de carbono.

| PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS NANOTUBOS DE CARBONO | | |
|--|--|---|
| Parámetro | Valor y unidad | Observación |
| Unidad de longitud del vector | $A = 3a_{c-c} = 2.49 \text{ \AA}$ | $a_{c-c} = 1.44 \text{ \AA}$ es la longitud del carbono |
| Densidad de corriente | $> 10^9 \text{ A/cm}^2$ | 1000 veces menor que la corriente en el cobre Mediciones |
| Conductibilidad termal | 6600W/Mk | Mayor conducción termal que cristalización |
| Módulo de Young | 1Tpa | Una resistencia de material mucho más fuerte que el acero |
| Movilidad | 10000 a 500000 $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$ | La simulación indica mayores a 100000 $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$ |
| Camino libre promedio (transporte Balístico) | 300-700nm semiconductor CNT 1000-3000 nm metálicos CNT | Mediciones a temperature ambiente |
| Conductancia en el transporte Balístico | $G = \frac{4e^2}{h} = 155 \mu\text{S}$ $\frac{1}{G} = 6.5 \text{ k}\Omega$ | Es tres veces mejor que la estructura de un semiconductor |
| Parámetro Luttinger g | 0.22 | Los electrones son correlacionados CNTs |
| Momento orbital magnético | $0.7 \text{ meV}^{-1} (d = 2.6 \text{ nm})$ $1.5 \text{ meV}^{-1} (d = 5 \text{ nm})$ | El momento orbital magnético depende del diámetro del nanotubo |

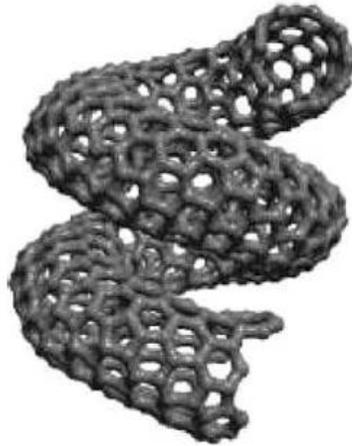


Figura 4-8. Nanotubo enrollado

4.6.1.2 Puntos Cuánticos

Los puntos cuánticos (QD) son cajas a escala nanométrica que permiten selectivamente retener o liberar electrones. Como se puede ver en la figura que viene.

Los QD son un grupo de átomos tan pequeños que al añadir o quitar un electrón estas cambian sus propiedades de manera significativa, los QD son estructuras de semiconductores que confinan los electrones y hoyos en un volumen de 20 nm cúbicos. Estas estructuras son similares a los átomos pero tienen un tamaño mayor; usando técnicas a gran escala se los puede manipular y se los puede utilizar como compuertas lógicas cuánticas.

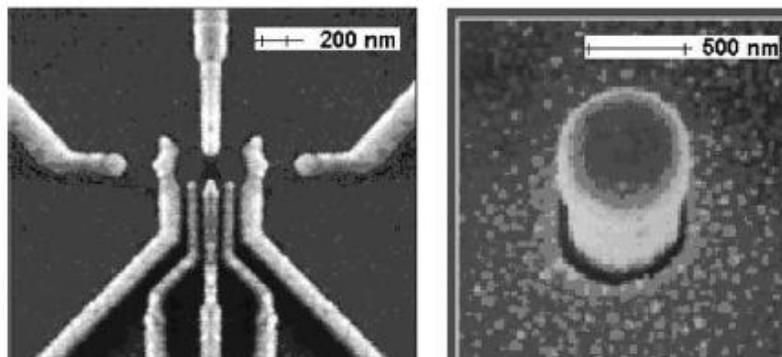


Figura 4-9. Puntos cuánticos

4.7 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS BASADOS EN CNT

En lo que sigue, se analizará una serie de dispositivos basados en los CNT. Empezaremos con el dispositivo más estudiado en la actualidad: el transistor CNT.

4.7.1 EL TRANSISTOR CNT

Casi todos los transistores CNT son del tipo FET (los transistores de efecto de campo), con configuraciones diferentes. El desarrollo de los transistores de CNT (CNTFET) es un área reciente de investigación, mucho esfuerzo es invertido por muchas compañías para las aplicaciones de los CNTFET fiables y de circuitos integrados basados en ellos. La razón es que recientes configuraciones de CNTFET, como MOSFET CNTFET, a una temperatura ambiente trabajan 20 veces más rápido que el mejor transistor de óxido metálico complementario (CMOS). Se debe reemplazar al CMOS el cual es utilizado en las modernas computadoras, sistemas de comunicación, o dispositivos electrónicos. Así, debido al mejor desempeño de transistores CNTFET, se espera que la tecnología del carbono, en el futuro, reemplace mundialmente la tecnología del CMOS con base en el silicio. Aunque el diseño y la aplicación tecnológica de los CNTFET están en sus inicios, el progreso de estos elementos es sumamente rápido. El primero CNTFET, tiene una base de Si dopado encima de esta, se encuentra una capa de SiO_2 delgada, sobre esta el semiconductor CNT con un diámetro de unos n , (con un bandgap de 0.6 – 0.8 eV) terminado por dos electrodos metálicos (oro) con un espesor de 100-300 nm.

El funcionamiento de este CNTFET es análogo al transistor MOSFET tipo p. este primer transistor rudimentario tipo FET basado en CNT simplemente consiste en un semiconductor SWCNT ligado a dos electrodos metálicos depositados en una fina capa de dióxido de silicio, todo este sustrato, se deposita en una capa de silicio dopado, que actúa como compuerta (gate). Cuando el voltaje de compuerta (gate) es negativo, la corriente fuente-drenaje es casi constante, la saturación indica que la resistencia del contacto de los dos electrodos prevalece por encima de la resistencia del CNT que depende del voltaje de compuerta (gate). Prácticamente para $V_g = 0$ el CNTFET está en el estado ON y la energía Fermi se localiza cerca de la banda de la valencia, si la longitud de enlace de banda es comparable a la longitud L del CNT, y si la distancia de la compuerta (gate) CNT es más corta que la distancia entre los dos electrodos, una barrera se levanta en el medio del CNT para los voltajes de compuerta (gate) positivos.

Sin embargo, un par de años más tarde se evidenció un transporte balístico a temperatura ambiente en los transistores de CNTFET con un desempeño mejorado, basado en nanotubos de mejor calidad con baja resistencia en los contactos.

El TUBFET es un dispositivo que tiene los electrodos de Pt (platino) con un bandgap de 5.7 eV que es más grande que la bandgap del CNT, para que los portadores sean inyectados en el CNT mediante un túnel. Una capa de polarización forma en el electrodo-CNT una interfaz hasta que la banda de valencia se alinee al nivel de la energía de Fermi del electrodo metálico, produciendo barreras poco profundas para los agujeros incluso cuando ningún voltaje de compuerta (gate) es aplicado. La altura de estas barreras que son causadas por la diferencia en el bandgap entre los CNT y los electrodos, es controlado por el voltaje de compuerta (gate) aplicado como sigue: para $V_g < 0$, la banda de valencia se divide para dos y se aplana hasta que se dpe lugar el aumento de la conductividad como en un metal (p.e., a un valor constante de conductancia), y para $V_g > 0$, la banda de valencia se dobla hacia abajo y la altura de la barrera para los agujeros aumenta, suprimiendo el transporte en el agujero entre los dos electrodos.

Es interesante notar que el TUBFET es aún un transistor FET rudimentario tiene un tiempo transversal de solo 0.1 ps que corresponden a 10 THz. Para un CNT con una capacitancia de aproximadamente 1nF, el tiempo de RC resultante es 100GHz cuando R (la resistencia en la compuerta del TUBFET) es del orden de 1-2 MΩ. Sin embargo, la resistencia R es aproximadamente 10 kΩ para CNTFET con contactos de Pd (paladio) muestran el transporte balístico a la temperatura ambiente, la frecuencia de trabajo es de aproximadamente 10THz. La ganancia del TUBFET es de aproximadamente 0.35 pero puede aumentar más allá de 1 reduciendo la capa de dióxido de silicio.

Al contrario de los transistores anteriores que tienen un transporte difusivo (por difusión) el transistor CNTFET con contactos de paladio muestra un transporte balístico a temperatura ambiente. La conductancia en el estado de encendido (ON) tiene como límite balístico $4e^2/h$ (e es la energía del electrón y h es la constante de Planck) a temperatura ambiente, similar a los nanotubos metálicos óhmicos. La explicación reside en la supresión de la barrera de Schottky en la interfaz metal-CNT, porque el paladio tiene una función de trabajo alta y una interacción moderada con el CNT. Los portadores libremente inyectados en la banda de valencia del semiconductor CNT están caracterizados por una conductancia G, la cual logra en el estado de conducción.

Otro tipo de transistor de CNT, desplegado en la siguiente figura es el transistor de barrera Schottky (SB-CNTFET) que consisten en un nanotubo empotrado en una capa dieléctrica que se crea entre la compuerta (gate) y la tierra y es terminado con dos electrodos de metal que actúan como la fuente y el drenaje. Al contrario de las configuraciones

anteriores, donde la acción del transistor se produce variando la conductancia del canal, en el SB-CNTFET, esta acción es causada por las variaciones en la resistencia del contacto. El cambio se controla mediante un túnel que altera el voltaje en la compuerta superior (top gate).

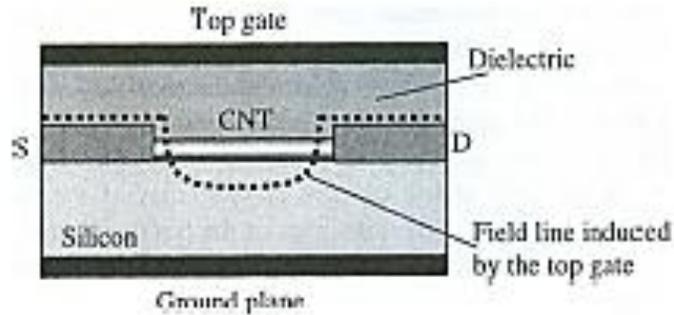


Figura 4-10. Representación esquemática de un SB-CNTFET

La conductancia del SB-CNTFET con finas capas de óxido en la compuerta gate sugiere una conducción bipolar en contraste con todos los transistores CNT estudiados hasta ahora, donde la conductancia es unipolar.

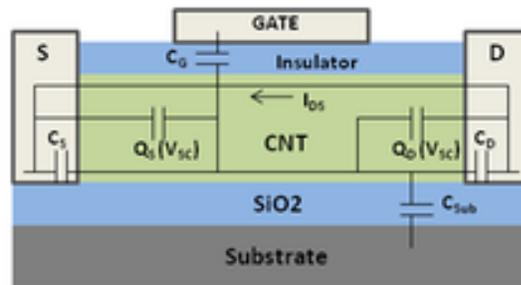


Figura 4-11. Esquema representativo del MOSFET - CNT.¹¹

Un transistor muy prometedor que imita un MOSFET normal tiene la fuente sumamente dopada y la región del emisor sin compuertas. Este MOSFET-CNT, representado en la anterior figura, trabaja bajo el mismo principio que el SB-CNTFET, denominado modulación de altura de barrera a través del voltaje de compuerta (gate). Sin embargo, el carácter bipolar de la conducción, específico al Sb-CNTFET, no existe en el MOSFET-CNT debido al apto dopado de la fuente y el emisor, y la barrera Schottky entre la fuente y el canal ya no existe. Esto, porque en el estado encendido (ON) el MOSFET-CNT trabaja como un SB-CNTFET pero con un voltaje cero o incluso con un voltaje negativo, la

¹¹ Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube_field-effect_transistor

corriente en estado encendido (ON) aumenta. En el estado apagado (OFF) en el MOSFET – CNT aún tiene una fuga de corriente, pero es controlable el bandgap del CNT.

Además de los transistores FET basados en CNT, los transistores de un solo electrón a temperatura ambiente basada en CNT metálico fueron recientemente reportados por los investigadores. Cuando el extremo de un AFM en modo de censar se coloca debajo sobre una porción del CNT, éste crea dos bucles, lo cual constituye don uniones que se notan por forman dos barreras túnel. La estructura resultante, consiste de una isla conductora (el CNT) conectada por unas barreras túnel a los electrodos de metal, es un transistor de electrón-único. Las oscilaciones de conductancia típicas para el efecto de bloqueo de Coulomb fue observado en tales estructuras.

Todas las configuraciones de los transistores descritas anteriormente, y nano transistores son promovidos como los nuevos bloques de construcción para los dispositivos de alta densidad tales como memorias o procesadores. La integración a teraescala implica un ultra densidad de transistores, de 10^{11} a 10^{12} transistores por centímetro cuadrado, bajo consumo de energía, y alta velocidad. Estos requisitos no pueden ser satisfechos por transistores MOSFET que no sean CNT, los cuales muestran algunos problemas en aplicaciones de ultra alta densidad teniendo en cuenta los siguientes: 1) la disipación térmica, 2) el consumo de energía, 3) la fluctuación de los parámetros eléctricos, y 4) las fugas.

Aunque los CNTFET están en su infancia, se espera que ellos reemplacen los MOSFETs existentes en la integración a teraescala, así como en la alta conductibilidad térmica y las impresionantes densidades de corriente transportadas por los CNT. En particular, la búsqueda de circuitos lógicos y memorias basados en CNT está directamente ligada al desarrollo de CNTFET. Los primeros circuitos lógicos basados en CNTFET han usado un semiconductor CNT con un bandgap de 0.7 eV, los cuales estaban conectados por dos electrodos de oro que actuaban como fuente y drenaje. Un alambre de Al (aluminio) bajo el semiconductor CNT, el cual estaba cubierto con pocos nanómetros de Al_2O_3 , asegurando una buena capacidad de acoplamiento entre la compuerta y el CNT. Este transistor que tiene una transconductancia de 0.3 uS y una relación entre los estados de encendido y apagado (ON/OFF) superior a 10^5 a temperatura ambiente. Al crear integrados con una ganancia mayor que 10, y una corriente máxima de operación de 0.1 uA, fue usada para demostrar que circuitos lógicos binarios básicos como los inversores (que convierten un uno lógico 1 en 0 y viceversa), NOR, o flipflops funcionan correctamente a nivel de nanoescala.

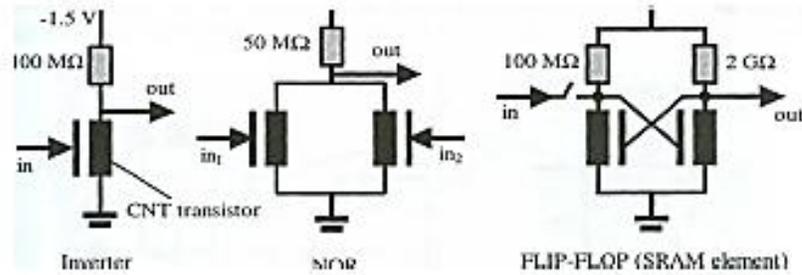


Figura 4-12. Compuertas lógicas binarias basadas en transistores CNT.

4.8 TRANSISTORES FET A NANOESCALA

El FET (transistor de efecto de campo) es un transistor cuya conducta es controlada por un electrodo llamado compuerta. La compuerta (gate) está separada de esta región activa del semiconductor llamado canal por un aislante o una región de deflexión. Los otros dos terminales del FET, llamados fuente y drenaje, respectivamente, terminan en el canal. El voltaje de compuerta modifica la resistencia del canal y así se produce un transporte entre la fuente y el drenaje. Por consiguiente, un FET es un genuino interruptor.

Hay muchos tipos de transistor que pertenecen a la familia de los FET, pero en lo que sigue se analizará al miembro más ilustre de esta familia: el MOSFET (el semiconductor óxido-metálico FET). El nombre MOSFET sugiere que la compuerta metálica está separada de la región activa por un óxido que juega el papel de aislante. Es un ejemplo típico, una región activa de Si dopada está aislada de la compuerta metálica por una capa de SiO_2 . El aislante también podría ser un dieléctrico Si_3N_4 o dieléctrico altamente permisivo, como en el caso de los CNTFET. Los MOSFET se fabricaron originalmente con un canal-p (PMOS), pero los subsecuentes transistores son canal n (NMOS) se encontraron que cambian de estado (ON/OFF) más rápidamente que los PMOS. Pueden combinarse ambos tipos de MOSFET en el llamado transistor de muy bajo consumo de potencia que conserva la alta velocidad de encendido/apagado del NMOS. El transistor MOSFET es el dispositivo electrónico más simple y más eficaz, bastante fácil de fabricar comparado con otros dispositivos activos como los transistores bipolares. Debido a su simplicidad el CMOS era seleccionado como un elemento importante en los circuitos integrados que impusieron la reducción del tamaño de sus dimensiones a valores micrométricos. La longitud de la compuerta de los MOSFET usada en el presente en los microprocesadores comerciales es de 50-70 nm. Ya se han demostrado que MOSFET con una longitud de compuerta de

15nm en investigaciones, se esperan compuertas MOSFET que alcancen 9 nm en los próximos 10 años. La reducción de las dimensiones del tamaño del MOSFET incrementa la densidad de los transistores y así la complejidad y funcionalidad de los circuitos integrados (ICs); se logra una densidad de transistores de 10^7 en un chip en circuitos integrados a larga escala (VSLI) mientras que en ultra larga escala de integración (ULSI) hay más de 10^9 transistores en un chip. La tecnología de semiconductores es tan impresionante y barato que en el 2002 el número de granos de arroz producidos en un año, el precio de un grano de arroz es igual al de 100 transistores.

MOSFETs con las longitudes de compuerta (gate) de tamaño nano son en la mayoría utilizados en dispositivos nanoelectrónicos; demostrando la ley de Moore, la cual dice que cada 1.5 años desde 1970 el número de transistores por circuito integrado de un chip, como en un microprocesador, se duplicará. Otra versión de la ley de Moore afirma que las dimensiones de los CMOS se han reducido un 13% por año, lo que implica un aumento en la velocidad de los dispositivos lógicos. En particular, para los microprocesadores esto significa un aumento de la velocidad del reloj en un 30% por año. Como consecuencia, por ejemplo, el costo por un bit de DRAM, disminuye un 30% por año debido a la reducción de las dimensiones de los CMOS, por el aumento del tamaño del chip, y una mejora en la tecnología. La pregunta es por cuanto más tiempo la ley de Moore será válida. El problema es que si la longitud disminuye nuevos fenómenos físicos aparecerán a nivel nano-escala lo que impide el funcionamiento del MOSFET cuando la longitud de la compuerta gate es sólo unos nm. Las nuevas configuraciones de MOSFET convenientes para el nivel nano-escala son necesarias, y se presentará a continuación.

La función de los transistores MOSFET puede entenderse analizando primero la configuración simple llamada capacitor MOS. Como se muestra en la siguiente figura, el capacitor MOS, consiste en una compuerta (gate) de metal y cubierto de substrato el cuál es un semiconductor semi-dopado (normalmente p-Si), separado a través de una capa de aislamiento (normalmente SiO_2). Cuando un voltaje gate negativo V_g es aplicado, el resultado campo eléctrico confina los huecos en la interfaz entre el semiconductor y el aislador. Al contrario, los huecos son repelidos cuando V_g es positivo, creando una región de vaciamiento.

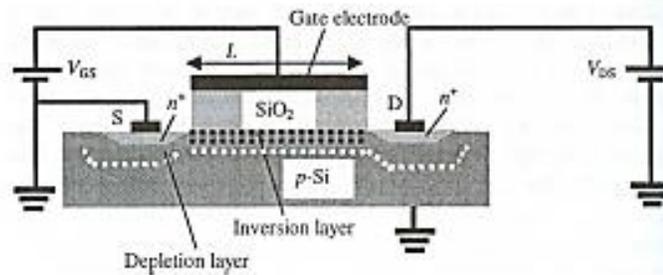


Figura 4-13. El transistor Mosfet

El MOSFET, representado en la figura anterior, está formado por dos diodos llamados la fuente y el drenaje que abarca el condensador MOS, los voltajes entre la fuente S y drenaje D, y entre el gate y la fuente que se denotan por V_{DS} y V_{GS} , respectivamente.

Entre las configuraciones más utilizadas se encuentran el MOSFET SOI y DGFET.

4.8.1 Transistores de electrón único (electrónicos simples) (uni-electrón)

Los dispositivos de un solo electrón y, en particular, el transistor de un electrón (SET) están basados en los efectos producidos cuando se inyectan y extraen electrones solitarios de una estructura de tamaño nano quantum, como un nanocluster (arreglo de puntos cuánticos con propiedades similares) o un punto cuántico, ambos denominados genéricamente isla. Por consiguiente, la estructura rudimentaria de un dispositivo de un solo electrón se representa por un inyector de carga (drenaje), una isla de nano-tamaño, y una carga en el colector (la fuente); el voltaje aplicado en la compuerta gate controla el número de cargas en la isla. El inyector de carga y el colector son a menudo uniones de túnel metálicas que consisten en estructuras de punto de contacto. El efecto físico principal relacionado al traslado de un único electrón, desde el inyector a la isla es el bloqueo Coulumb, que consiste en la creación de un hueco en el espectro de energía de la isla que se localiza simétricamente alrededor de la energía de Fermi. El hueco, se produce por la reestructuración de cargas dentro de la isla, y se vuelve significativo cuando el cambio de potencial asociado es mayor que la energía térmica E_{th} . Como resultado, el electrón que viaja por un túnel se detiene hasta que la energía de carga sea compensada. La conducta del dispositivo de un solo electrón que es una isla metálica débilmente acoplada a dos electrodos metálicos, puede entenderse del circuito equivalente dibujado en la siguiente figura.

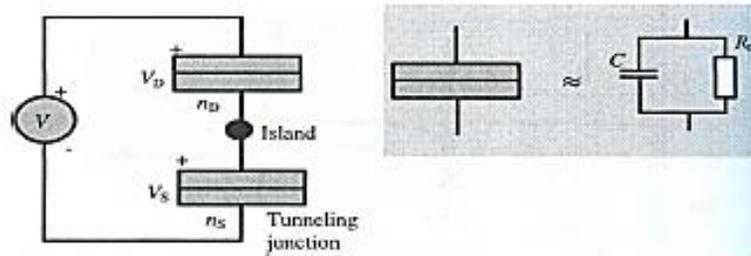


Figura 4-14. El modelo del circuito equivalente a una isla metálica débilmente acoplado a dos electrodos metálicos en el cual es aplicado un voltaje.

En la figura anterior, la isla es un nanocluster (grupo de puntos cuánticos con propiedades similares) metálico débilmente acoplado (mediante una película aislante delgada) a dos electrodos metálicos. El conjunto compuesto de una película aislante delgada y de un electrodo metálico es una unión túnel, la que inyecta y extrae cargas de la isla. Esta unión túnel puede ser modelada como una configuración paralela formada por una resistencia túnel R_t y una capacitancia C . la caída de voltaje en las dos uniones túnel se denota por V_D y V_S y las capacitancias respectivas de los circuitos equivalente son por C_D y C_S , los subíndices hacen referencia al drenaje y a la fuente, respectivamente. El régimen de transporte del electrón se llama bloqueo. El régimen bloqueo de Coulomb para el conjunto fuente-isla-drenaje es ejemplificado en la siguiente figura. Cuando un voltaje es aplicado, el voltaje umbral, la energía del vacío Coulomb es e^2/C_{tot} cercano al nivel de la energía de Fermi lo que suprime el túnel entre los contactos. El voltaje umbral, permite que exista un túnel entre la fuente y el drenaje a través de la isla, de esta forma se evita el bloqueo de Coulomb, como se muestra en la parte b de la siguiente figura. Si C_{tot} es bastante grande el efecto bloqueo de Coulomb se atenúa fuertemente, y por último desaparece, y se necesita un voltaje umbral muy pequeño.

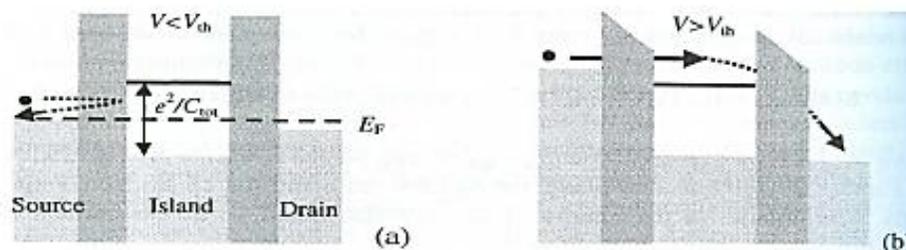


Figura 4-15. (a) El régimen de bloqueo de Coulomb, y (b) superación del bloqueo de Coulomb aplicando un voltaje suficientemente alto.

Si $V > e/2C$ (V = voltaje umbral para vencer bloqueo de Coulomb, e = energía del electrón, C = capacitancia total de la isla) y un electrón se encuentra en la isla para, por lo cual $n=1$ (número de orbitales), y la energía Fermi aumenta por e^2/C_{tot} un nuevo hueco se forma alrededor del nivel Fermi, se cierra el túnel de un electrón extra que ingrese o salga desde la isla al drenaje es ahora prohibido a menos que se aplique un voltaje umbral aumente a $V > 3e/2C$. Entre estos dos valores umbral ningún electrón fluye a través de la estructura hasta el electrón mediante el túnel isla-disipador, hasta que la isla regrese al estado $n=0$ y el nivel Fermi en la isla disminuye y otro electrón pueda ingresar a la estructura; este ciclo es repetido varias veces.

Si la resistencia túnel en la unión de la fuente es mucho mayor que en la unión del drenaje (si $R_t = R_{s,t} \gg R_{D,t}$), pero las capacitancias correspondientes son iguales, la corriente a través del conjunto fuente-isla-drenaje es controlada por el voltaje $V_D = V/2 + ne/C_{tot}$ que decae a lo largo de la unión del disipador. El voltaje a través del drenaje disminuye en pasos de e/C_{tot} , cada vez que el voltaje umbral del drenaje aumenta al incrementar los valores n . Entonces, los saltos en la corriente están dados por

$$\Delta I = e/C_{tot}R_t \quad (1)$$

ΔI = salto de corriente; e = energía del electrón C_{tot} = capacitancia total de la isla

R_t = resistencia total de la isla

La característica I-V del conjunto fuente-isla-drenaje toma la forma específica de escalera representada en la siguiente figura, la cual refleja el efecto de cara en la isla. Esta sorprendente forma i-V que es una conducta macroscópica de fenómenos quantum sólo ocurre cuando la energía de carga Coulomb prevalece por sobre la energía térmica y cuando las fluctuaciones en el número de electrones en la isla son lo bastante pequeñas para permitir la localización de una carga en la isla. Esta última condición se cumple cuando

$$R_t \gg \frac{h}{e^2} = 25.8 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

R_t = resistencia total de la isla

h = constante de Planck

e = energía del electrón

4.8.2 Metodología de clonación artificial a través del hardware evolutivo

4.8.2.1 Metodología de la clonación.

Las células madres se tomaran como un marco de referencia para la presente implementación; es interesante ver cómo estas células tiene mucho que ver con la clonación de los sistemas biológicos. De hecho esta es la base de cualquier mutación genotípica estructuralmente hablando. Estas células tienen la posibilidad de mutar en cualquier clase de célula del individuo del cual fue extraída y así una vez completado el tejido clonado se puede reemplazar por el tejido defectuoso.

La idea de emular este comportamiento de las células madres en un sistema electrónico puede ser la fuente de la metodología de diseño del circuito. De esta forma y con el modelo de Algoritmos Genéticos se pueden tener las estructuras básicas para el diseño de una célula madre electrónica solución base para la implementación del circuito evolutivo.

Finalmente, con la F.P.G.A., y con base en el marco teórico de este proyecto, la finalidad básica es la de cambiar conmutación por mutación. La base para esta solución es la implementación de la célula madre electrónica.

4.8.2.2 La idea: enfoque de las células madres en el diseño

El cambio de los bloque lógicos configurables por bloque lógicos mutables soluciona el problema de la interconectividad que es una de la principales falencias de las F.P.G.A. y además proporciona una solución a los problemas ya planteados. Estos bloques lógicos mutables están conformados por unidades estructurales llamadas células madres electrónicas. Estas células madres electrónicas mutan por una variación del circuito a través de un algoritmo genético que buscará un fenotipo de cuatro bits por bloque lógico. En analogía con lo que son las células madres el nucléolo será un microcontrolador, el cual es el que contiene la información genética. Todas las unidades estructurales estarán comunicadas con el medio o el exterior a través de otro micro y una interfaz con el usuario y el sensor.

4.8.2.2.1 Hardware evolutivo

El hardware evolutivo, es una herramienta necesaria para la implementación de la clonación artificial en ingeniería, las razones que fundamentan esta afirmación son varias, una de las más importantes, radica en la necesidad de aprendizaje del sistema, es evidente que el equipo desarrollado, sea sensor o controlador, va a funcionar por una cantidad de tiempo indeterminado, que en la mayoría de los casos se espera que sea un tiempo prolongado. Debido a esta situación es necesario prever que las condiciones, en las que fue "educado" el dispositivo, cambian o evolucionan, adicionando nuevas variables al proceso, lo que requeriría una adaptación del clon a su nuevo ambiente.

La adaptación que es requerida, no se puede lograr utilizando la metodología que se aprecia en la siguiente figura (a) en donde se observa que el aprendizaje sólo ocurre en un primer momento y que el proceso de ejecución o funcionamiento no es modificado en ninguna etapa. La siguiente concepción es permitirle al dispositivo la "reeducación" por medio de un aprendizaje que no necesariamente sea constante, pero sí periódicamente, lo que facilitará la adaptación a nuevos cambios en el medio en el cual el clon trabaja, esta metodología se observa en la siguiente figura (b).

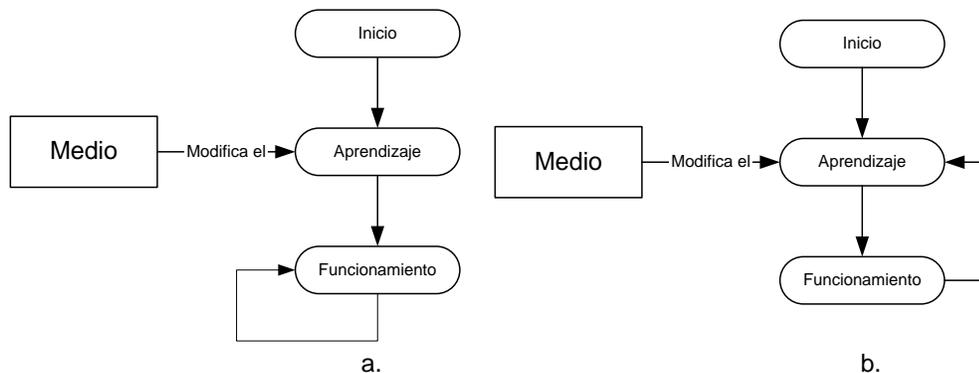


Figura 4-16. Tipos de funcionamiento.

Para la implementación de un dispositivo o clon que aprenda periódicamente es posible que se haga de dos formas, "off-line" o "on-line", la primera de ellas consiste en detener el funcionamiento del clon, llevarlo a un laboratorio o unidad de aprendizaje e introducirle los nuevos parámetros vía software o hardware, el gran problema de esta concepción es que ciertamente se inducirán tiempos muertos en el funcionamiento del clon, es decir, el dispositivo estará fuera de funcionamiento cada vez que sea necesario (o el mismo dispositivo lo pida) un reaprendizaje, la totalidad de este tiempo será dada por la rapidez con la cual los encargados de realizar esta labor la cumplan, incluyendo factores humanos al proceso de aprendizaje, específicamente a los tiempos de los mismos.

En el aprendizaje "On-line", pasa todo lo contrario, el dispositivo, activa su función de aprendizaje cada cierto periodo de tiempo y lo ejecuta paralelamente a su funcionamiento, evitando el tener que detener el proceso en el cual el clon forma parte, posterior a un tiempo de aprendizaje, el clon puede modificar su estructura (Hardware evolutivo) para ya sea permitir la entrada de una nueva configuración que el mismo pueda suplir, o modificar totalmente su estructura.

En este caso en particular se desea implementar el uso del aprendizaje "On-line", para lo cual se ha estudiado muy de cerca el uso de células madres electrónicas, que al igual que sus homologas en la biología, estas células pueden convertirse en cualquier otro tipo de células dentro del cuerpo y a replicarse en una cantidad aún indeterminada de veces, lo que ha conllevado a los investigadores a interesarse en este de comportamiento y en ahondar en su estudio y evidentemente iniciar todo tipo de debates en el tema; afortunadamente las células madres que en esta investigación se utilizan distan sustancialmente de la polémica ética y moral, pero aportan una valiosa información para el desarrollo de sistemas de alta tecnología, cerrando una nueva brecha entre la ciencia biológica y la ciencia tecnológica.

La célula madre, es una unidad de procesamiento lógico digital, la cual, debido a su estructura puede modificar su comportamiento, gracias a la inclusión de una entrada denominada entrada de mutación, esta célula madre a diferencia de su homóloga en la naturaleza, no es capaz de replicarse a sí misma, esta habilidad es reemplazada por la habilidad que poseerá el software para exigir la generación de nuevas células madres.

Para la implementación de este paradigma, es necesario contar con elementos que permitan una rápida y flexible configuración en hardware, para lograrlo se utiliza cualquier tipo de dispositivo lógico programable, en este caso en específico se utiliza un FPGA (Field Programmable Gate Array).

4.9 PROCESO DE CLONACIÓN DEL SENSOR

Dentro de la línea de estudio de circuitos lógicos digitales es importante conocer los operadores que intervienen en ellos, lo cual permitirá la homologación de funciones de una célula madre a un circuito electrónico.

El diseño de circuitos digitales, entre los paradigmas ya propuesto se conocen los diseños de compuerta AND y OR y sus correspondientes inversores, NAND y NOR, con estos operadores básicos se puede diseñar cualquier clase de los circuitos lógicos existentes

(OR, AND, XOR, NOT), por lo que estas 2 compuertas se pueden llamar las compuertas base de toda la lógica digital.

Centrando la atención en las compuertas NAND y NOR, la característica más importantes de estos operadores es que uno o cualquiera de los dos es el resultado de negar o invertir las entradas de señal del otro es por esto que el diseño del circuito evolutivo se enfocará en la implementación de estas dos compuertas.

La idea de emular el comportamiento de los sistemas biológicos a resultado en muchos campos de la tecnología, para este diseño se tomará como base las células madres.

Para este diseño se implementara una FPGA SPARTAN3 de XILINX que es muy comercial y de fácil acceso. El primer paso consiste en modelar la célula madre en la FPGA, debido a la sencillez del ejemplo, se trabaja en la modalidad "schematic" del software proporcionado por la compañía desarrolladora, esta visualización nos ayuda a observar y analizar de una mejor manera la célula madre.

Posterior a esta selección es necesario implementar una compuerta NOR y compuerta NAND dentro del mismo circuito, en este caso en especial, se trabajarán compuertas de 2 entradas, para lograr el funcionamiento del circuito como célula madre, se debe incorporar una 3 entrada, la cual funcionará como operador lógico mutable entre la NAND y la NOR. El circuito se puede apreciar en la siguiente imagen.

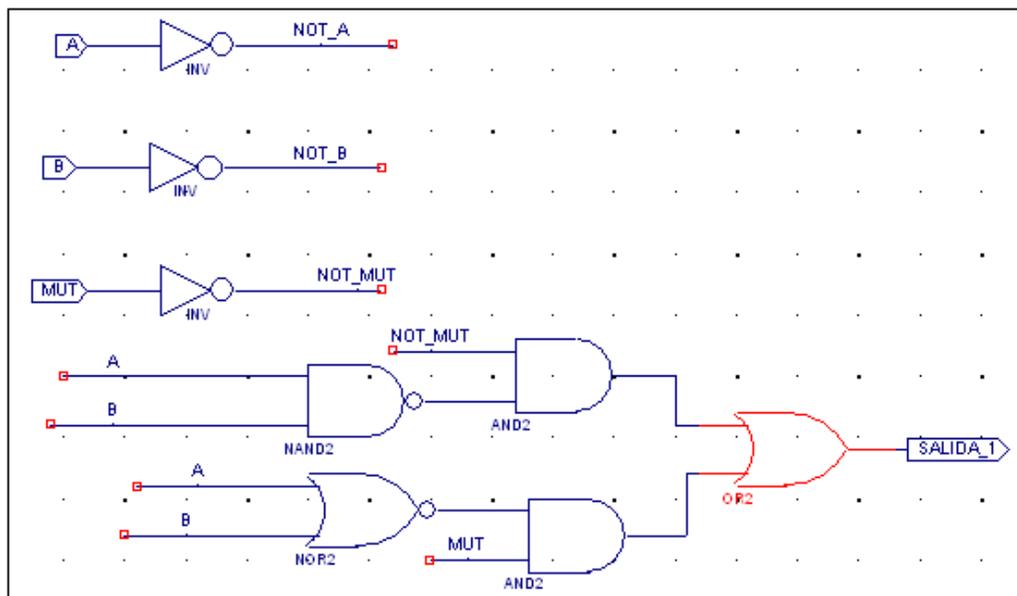


Figura 4-17. Hardware evolutivo.

Como se puede observar, la célula madre puede trabajar tanto como NOR o NAND, dependiendo de su entrada de operador lógico mutable, lo que permite, al implementar una amplia cantidad de estas células, el desarrollo de una alta variedad de aplicaciones, así como igual número de arreglos lógicos.

4.9.1.1 Proceso de Clonación del sensor

Para esta implementación se tomará como referencia la metodología de diseño de las P.A.L. (arreglo lógico programable), más precisamente la usada en las F.P.G.A. (arreglo lógico de compuertas programable en el campo), orientada a un diseño en el que se cambia la conmutación implementada en las matrices de interconexión por mutación de compuertas lógicas.

El diseño de circuitos digitales basados en las compuertas lógicas AND, OR y sus correspondientes inversores, NAND y NOR, con estos operadores básicos se puede diseñar, cualquier clase de los circuitos lógicos existentes, centrandó la atención en las compuertas NAND y NOR, la característica más importante de estos operadores es que uno o cualquiera de los dos es el resultado de negar o invertir las entradas de señal del otro, es por esto, que el diseño del circuito evolutivo se enfocará en la implementación de estas dos compuertas. Sustentando lo anterior en el hecho de que en los laboratorios que se realizan en diseño de circuitos digitales los resultados son los esperados con respecto a los que implementan compuertas AND, OR y sus respectivos operadores negados en la salida. Para lograr el resultado se tomara como base de modelo a seguir en el diseño la teoría o el conocimiento citado de las células madres base para la clonación de tejidos vivos.

4.9.1.2 Matemática del diseño de la compuerta lógica mutable NAND-NOR

Sabiendo ya que ante una entrada lógica de un cero en el transistor de mutación el circuito se comporta como una compuerta lógica NAND.

Tomando las curvas características del 2n2222 figura 4-18; indica los posibles puntos de trabajo del transistor.

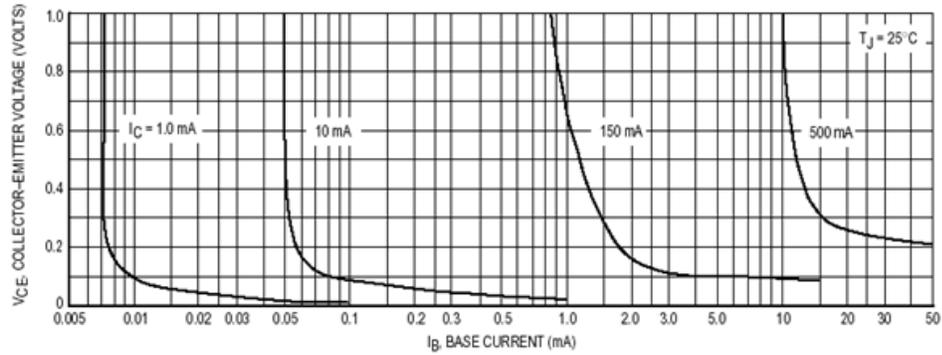


Figura 4-18. Curvas de saturación para el 2n2222. [8]

Según los parámetros de un diseño digital:

- La impedancia de entrada debe ser alta.
- Admitancia de salida parámetro igual o cercano a cero.
- Consumo de corriente lo más bajo posible, para evitar calentamiento que puede degenerar los componentes del circuito.
- La rapidez de respuesta debe ser otro parámetro a tener en cuenta.
- Debe ser sencillo a la hora de implantarse.

Con estos parámetros de diseño se puede empezar el análisis.

Para este diseño la selección de la corriente de saturación lo más pequeña posible dentro del rango que el dispositivo otorga en sus hojas características de la corriente de colector de saturación.

Por este hecho se tomará como referencia la una corriente igual a 1mA que es una de las curvas que se puede observar.

La recta de carga para el circuito en este caso sería la siguiente figura 4-19.

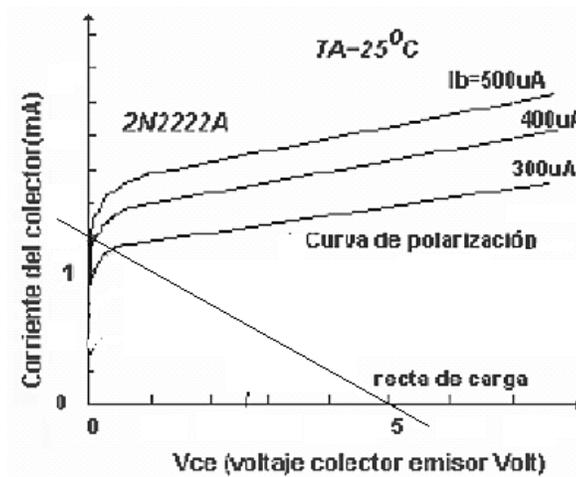


Figura 4-19. Recta de carga para el transistor en saturación. [8]

Según la figura 4-19 y las siguientes ecuaciones: para el transistor en conmutación:

La señal de entrada de un transistor de conmutación es una señal cuadrada que varía de 0 a 5 voltios. Cuando lleguen los 5 voltios el transistor entra en saturación, con lo cual la tensión en la salida será muy próxima a cero. Aquí ya no se cumple que $I_c = \beta I_b$, pues aunque aumente la corriente de base no aumenta la corriente de colector.

En el circuito se tiene:

$$I_{sat} = V_{cc}/R_c = 5v/5000 = 1 \text{ mA.} \quad (3)$$

$I_{bsat\text{mín}} = I_{csat}/\beta$, aquí se está en el límite entre activa y saturación.

$$I_{bsat\text{mín}} = I_{csat}/\beta = 1\text{mA}/100 = 100 \text{ microA.} \quad (4)$$

Para garantizar la saturación:

$$I_{bsat} > 3I_{bsat\text{mín}} \rightarrow I_{bsat} > 3 \times 100 = 300 \text{ microA.} \quad (5)$$

$$R_{b\text{máx}} = (V_e - V_{be})/I_{b\text{mín}} = (5 - 0,6)/201,60 = 21 \text{ kohmios.} \quad (6)$$

Cuando la señal de entrada tenga el valor de cero voltios, el transistor entrará en corte y la tensión de la señal de salida será igual a la tensión de alimentación 5 voltios $\rightarrow V_{ce} = V_{cc} = 5 \text{ v.}$

Según estas ecuaciones la resistencia necesaria para que haya una corriente de 1mA es de 5Kohms.

En la hoja de características dice que una corriente de 0.1 micro amperio polariza la base y el transistor entra en la zona de saturación esto da un valor de resistencia según la ecuación de corriente $R_c = 5\text{ k}$

Ahora los cálculos de la corriente de base para que el transistor trabaje en saturación según la curva característica y reglas de diseño de una razón de diez a uno para la corriente colector con respecto a la de base. Pero para asegurar la saturación de todos los componentes se tomará un valor por encima de la corriente de base mínima de saturación igual a $3 \cdot I_{b\text{minsat}}$. Este parámetro arroja los valores siguientes.

$R_b = 5\text{V} / 0.3\text{ mA} = 17\text{ k}$, para el valor comercial se tomó 20k y que experimentalmente dio mejores prestaciones.

Pero antes tomar tal valor es necesario atender otras curvas características del dispositivo.

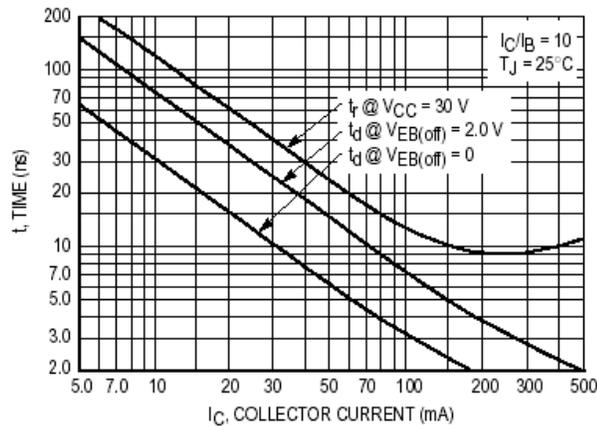


Figura 4-20. Rectas de retardo según la I_c . [8]

Como se puede ver en la figura 4-20 el retardo del dispositivo depende de la corriente de colector para este caso se obtendrá un retardo de 50nseg.

4.9.2 Clonación artificial para prótesis mecatrónica de piel artificial con nanopartículas

El objetivo fundamental en la detección y registro de la señal en la piel artificial proveniente de la aplicación de nanopartículas, las ondas que se producen en la membrana son las ondas de cuerpo P y S. La onda P se produce por el cambio de volumen y la onda S por el cambio de la forma de la piel. La onda P se propaga produciendo en el material dilataciones–compresiones a lo largo de la dirección de propagación. La onda S se propaga produciendo en el material desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación. En la figura 4-21 se puede observar estas propiedades de las ondas P y S.

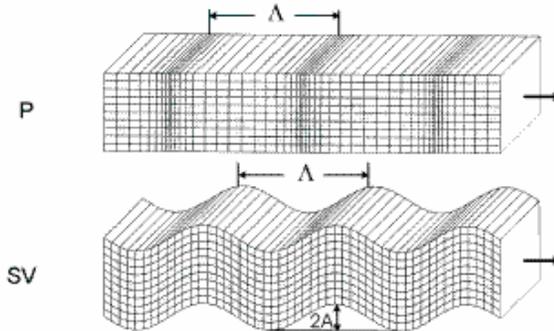


Figura 4-21. Propagación de las ondas P y S. [21]

Se aplican dos tipos de nanosensores para medir el movimiento producido por las ondas de la piel artificial:

- Sensores extensométricos, que miden el movimiento de un punto de la membrana relativo a otro punto.
- Sensores inerciales, los cuales miden el movimiento de la piel utilizando una referencia inercial (una masa que tiene un acoplamiento débil con la membrana).

4.9.3 Nanomanufactura y aplicaciones industriales de la nanotecnología para las técnicas top-down

Los procesos de manufactura para la nanotecnología comprenden básicamente un solo aspecto: las técnicas de fabricación, sin embargo, estas no poder ser realizadas sin los debidos procesos de caracterización de los materiales, la cual implica la determinación de tamaño, forma distribución y propiedades mecánicas y químicas de estos.

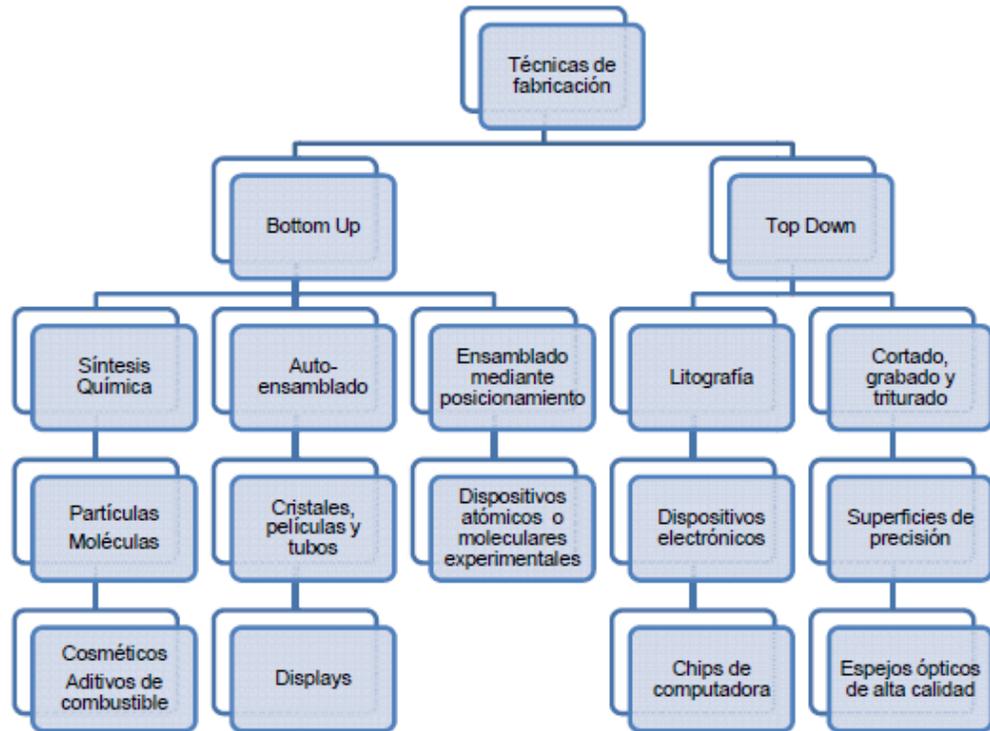


Figura 4-22. Técnicas de fabricación

❖ Técnicas Top Down

Estas técnicas implican el proceso en el cual se tiene una pieza de un determinado material del cual se extrae una nanoestructura removiendo el material restante. Lo anterior puede ser logrado mediante la litografía y la ingeniería de precisión, técnicas que han sido mejoradas en la industria en los últimos 30 años.

- Ingeniería de precisión

En general la ingeniería de precisión está referida a la industria microelectrónica, producción de chips de computadora y precisión óptica para lectores láser utilizados en una variedad de productos como son discos duros y reproductores de CD y DVD.

- Litografía

Implica el modelado de una superficie a través de la exposición a la luz, para que los iones o electrones, y las subsecuentes capas del material produzcan el dispositivo deseado. La habilidad para modelar los dispositivos a nivel nanométrico es fundamental en el desarrollo de la industria de tecnología de la información.

5 DISEÑO METODOLOGICO

5.1 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y ACCIONAMIENTO (MECANISMO EJECUTIVO) A ESCALA NANOTECNOLÓGICA.

En la siguiente figura se presentan las etapas correspondientes al procedimiento de dimensionamiento del modelo con el fin de que se tenga una explicación breve del proceso.

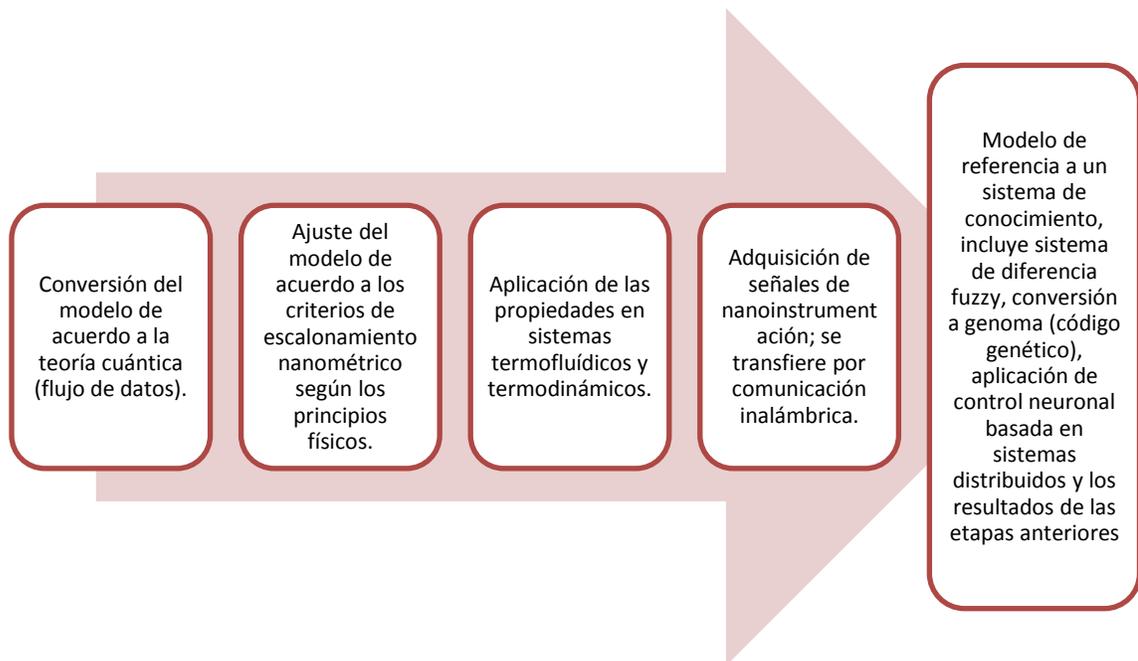


Figura 5-1 Dimensiones del modelo.

5.2 DISEÑO DE LOS ALGORITMOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS (NANOSENSOR-CONTROLADOR-NANOACTUADOR) BASADOS EN LA TEORÍA CUÁNTICA, LAS RELACIONES DE COMPORTAMIENTO DE ESPINELECTRONES Y LOS CRITERIOS DE SEMEJANZA POR METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP-DOWN.

Desde el surgimiento de las comunicaciones analógicas y la posterior incorporación de las comunicaciones digitales a éstas, el principal objetivo es que deben disponer de esquemas que ofrezcan transmisiones seguras y eficientes. En la búsqueda de estos objetivos se ha tenido que recurrir a ciencias como la informática, las telecomunicaciones, la mecánica cuántica, etcétera, con el fin de integrar nuevas ramas para el surgimiento de las comunicaciones cuánticas.

El esquema básico de las comunicaciones cuánticas se basa en el entrelazamiento entre un par de partículas. Al principio dicho entrelazamiento solo era visto como una propiedad muy fina de la mecánica cuántica, pero recientemente la información cuántica ha demostrado la tremenda importancia de esta propiedad para la formulación de nuevos métodos de transmisión y algoritmos de información.

5.2.1 Esfera de Bloch

La esfera de bloch constituye una manera de visualizar y representar geoméricamente el estado de un qubit simple. De acuerdo con esta perspectiva, el vector $|0\rangle$ corresponde al polo norte de dicha esfera mientras que el vector $|1\rangle$ se ubica en el polo sur, es decir, como si se tuviera un 0 o un 1 lógico.

Si se elige un fotón, los vectores $|0\rangle$ ó $|1\rangle$ pueden representar una de dos posibles polarizaciones. También se puede elegir el electrón de un átomo para representar uno de dos posibles valores de energía: su estado base (es la energía más baja posible) y un estado excitado (cualquier otro valor de energía). Esto semejando un giro en el spin del electrón ya sea dirigido al polo norte o polo sur y de igual forma se obtendría uno de los valores del qubit, $|0\rangle$ ó $|1\rangle$.

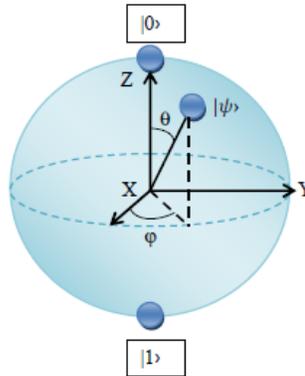


Figura 5-2. Representación de un qubit por medio de la esfera de Bloch [17]

Un uso que se da a la esfera de Bloch es mediante las compuertas cuánticas. La compuerta Hadamard es una de las compuertas que más se utiliza. Ejemplificando con la figura anterior, el cambio en la salida de un qubit simple corresponde en la compuerta a la rotación y reflexión de la esfera. La operación Hadamard es sólo una rotación sobre el eje Y con un ángulo de 90° y la reflexión se dará sobre el plano X-Y.

Las compuertas lógicas pueden implementar una excitación del electrón con una exposición de luz con ciertas longitudes de onda que lo coloquen en su estado base o estado de excitación, con ello lograr un giro en su spin y que obtenga uno de los dos estados $|0\rangle$ ó $|1\rangle$, posibles, se puede representar por medio de la esfera de Bloch el giro que realizaría y estado que tomaría.

5.2.2 Qubits

Los qubits son el elemento fundamental para el tratamiento de la información cuántica. Sus propiedades son independientes de como sea tratado, ya sea con el spin de un núcleo o de la polarización de un fotón. Los dos estados básicos de un qubit son $|0\rangle$ ó $|1\rangle$, además el qubit se puede encontrar en un estado de superposición para producir diferentes estados cuánticos. Dicha superposición de estados se representa como:

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad (7)$$

Donde α y β son números complejos. Dicha expresión cumple con las propiedades probabilísticas tratadas en el apartado de estados cuánticos mencionados anteriormente.

$\propto |0\rangle + \beta|1\rangle$, indica que el qubit es un estado entrelazado o que está en superposición. La ecuación indica que esta superposición de estados genera la función de onda que permitirá conocer la probabilidad de hallar una partícula en el espacio.

Un qubit puede existir en un estado continuo entre $|0\rangle$ ó $|1\rangle$ hasta ser medidos, una vez medidos se tiene un resultado probabilístico.

En el modelo atómico (figura 8-3), el electrón puede existir en cualquier de los dos estados llamados “tierra” o “excitado” y que corresponden a $|0\rangle$ ó $|1\rangle$ respectivamente. Lo anterior se puede hacer incidiendo luz sobre el átomo con una energía apropiada y con una duración apropiada de tiempo, es posible mover un electrón del estado $|0\rangle$ al estado $|1\rangle$ y viceversa.

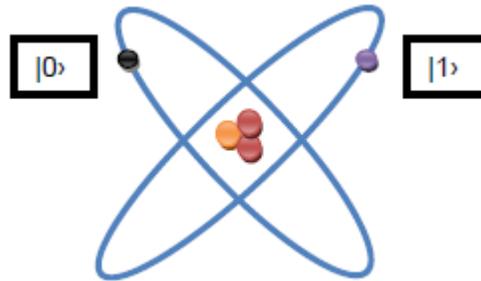
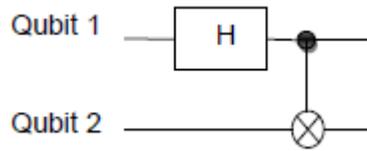


Figura 5-3. Representación de un qubit por dos niveles electrónicos en un átomo.

5.2.3 Estados de Bell

Los estados de Bell juegan un papel clave dentro de la ciencia de la información cuántica, pues representan los posibles estados de un entrelazamiento, es decir, el estado cuántico de dos qubits.

La creación de estos estados se puede dar por medio de la utilización de una compuerta Hadamard y una CNOT, que en conjunto conforman el siguiente circuito:



Para demostrar la obtención del primer estado se introducirán los qubits $|0\rangle$ ó $|1\rangle$ en su entrada respectiva; al entrar el qubit $|0\rangle$ a la compuerta Hadamard, se obtiene:

$$\frac{|0\rangle \text{ ó } |1\rangle}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Y al entrar en acción el segundo $|0\rangle$ se obtiene:

$$\frac{|00\rangle \text{ ó } |10\rangle}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Ahora que ya se tiene este estado, la compuerta CNOT dará como resultado lo siguiente:

$$|\beta_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (10)$$

El cual ya es definido como un estado de Bell. Si se establece una tabla de verdad, ésta será:

Tabla 5-1. Estados de Bell que representan el entrelazamiento de dos qubits

| Entrada | Salida (Estado de Bell) |
|--------------|--|
| $ 00\rangle$ | $ \beta_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$ |
| $ 01\rangle$ | $ \beta_{01}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$ |
| $ 10\rangle$ | $ \beta_{10}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$ |
| $ 11\rangle$ | $ \beta_{11}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$ |

5.3 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEMBRANA SENSITIVA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE FABRICACIÓN DE ELECTROSPINNING DE NANOHILOS Y SU ENSAMBLE EN LA MEMBRANA CON CAPACIDAD GENERADORA DE ELECTROIMPULSOS PARA LA ELECTROESTIMULACIÓN.

La metodología de clonación aquí propuesta, permite la clonación de dispositivos como sensores y controladores. Este procedimiento se observa a continuación y se aprecia en la siguiente ilustración.

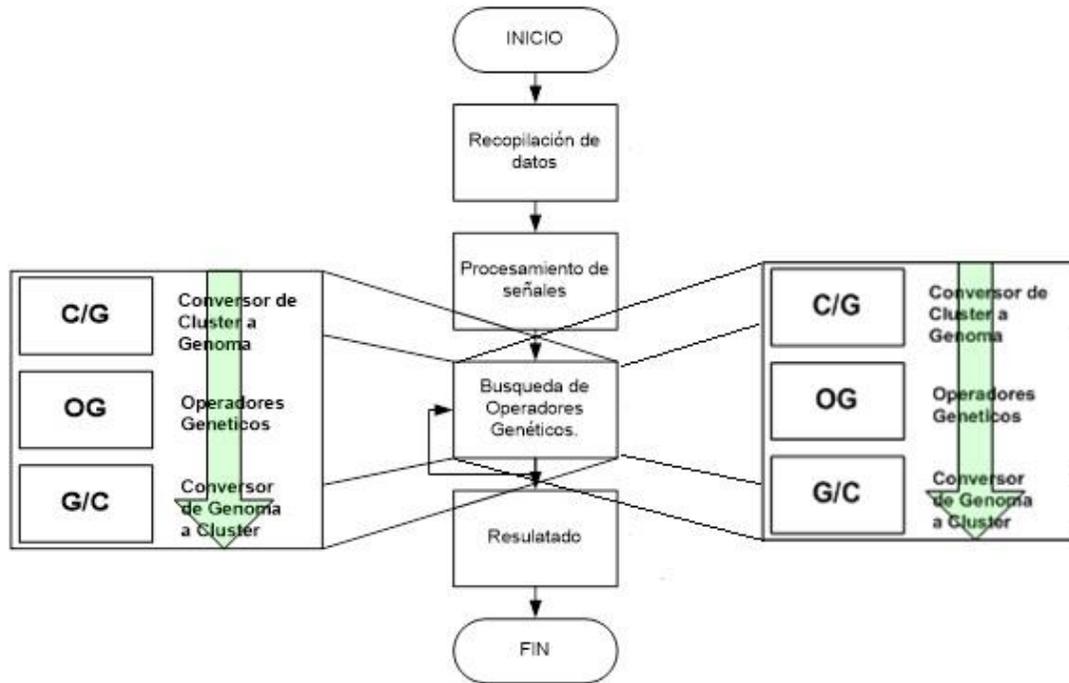


Figura 5-4. Metodología de clonación propuesta.

El primer paso del proceso de clonación, consiste en la recopilación de datos, esta se fundamenta en la selección de una cantidad de muestras representativas del tipo de dispositivo a clonar, para colocar un ejemplo más claro, se puede tomar como referencia las variables (en el ejemplo de un sensor) representativas en el proceso, estas pueden ser seleccionadas con la ayuda del experto o utilizando técnicas de correlación para tal fin, seguido de esta selección, se procede a implementar el preprocesamiento de la señal, lo que permitirá trabajar con unas señales más "limpias" y coherentes a la realidad.

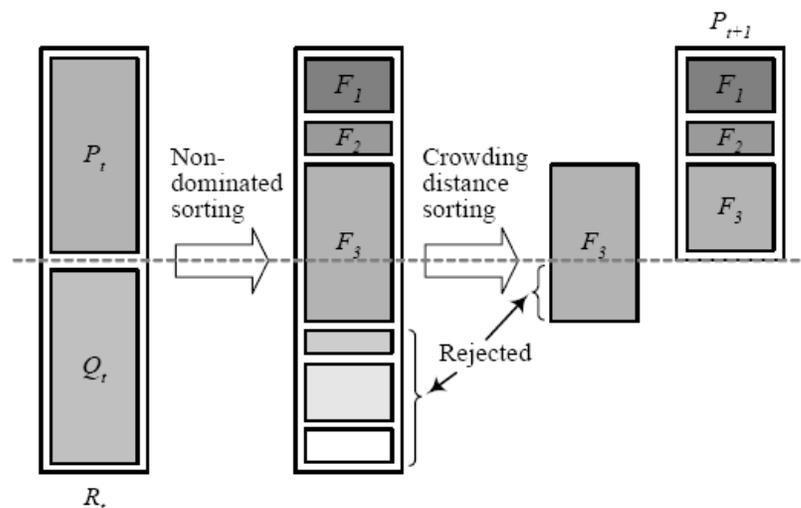
Realizado los dos primeros pasos, los cuales consisten más en una selección y preprocesamiento de las señales, se ejecuta la segunda etapa de clonación, el primer paso reside en crear los clusters para los valores de las entradas y salidas (independiente del número de estas, lo que conlleva a ser una metodología multivariable), identificando señal por señal, entrada por entrada y salida por salida, los clusters más adecuados para cada uno de ellos.

La tercera etapa, es la que tiene que ver más con el trabajo propio de la investigación, es la sección en donde se buscan los operadores genéticos, de ella se obtiene directamente el sensor o el controlador clonado, es un proceso iterativo y en el cual se pueden aplicar diversas técnicas, las cuales se explicarán en los apartados de este documento

Finalmente, el resultado obtenido con esta metodología, son funciones de salida (para problemas multiobjetivo) que contienen la información solicitada por el diseñador.

La nanotecnología computacional utiliza 3 técnicas inteligentes que son: Lógica Fuzzy, Redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos.

- Lógica fuzzy: Es la agrupación de gran cantidad de datos generados por la nanoinstrumentación en conjuntos borrosos (cluster fuzzy)
- Redes neuronales: la estructura distribuida de la red neuronal y su implementación en controladores neuronales (Smart control nanodevices)
- Algoritmos genéticos: permite usar la propiedad de elitismo que garantiza que las reproducciones y/o aplicación de operadores genéticos permitan obtener un nuevo modelo de mayor robustez respecto a las perturbaciones que puedan incidir del entorno en el que se aplica, como por ejemplo, el campo eléctrico, el campo magnético, entre otros.



The elitist mechanism

Figura 5-5. El mecanismo elitista¹²

¹² Fuente: . Fuente: Rasmus K. Ursem Models for Evolutionary Algorithms and Their Applications in System Identification and Control Optimization Department of Computer Science University of Aarhus .Denmark. 2003

5.3.1 Creación de los clusters difusos utilizando fuzzy c-mean y experimentos de cauterización a partir de las señales del nanosensor

Se encuentran los respectivos clusters de cada señal, estos clusters tienen una representación en conjuntos difusos, por lo que un valor V_1 se puede representar en n Valores de pertenencia, donde n es el número de clusters de la variable en mención.

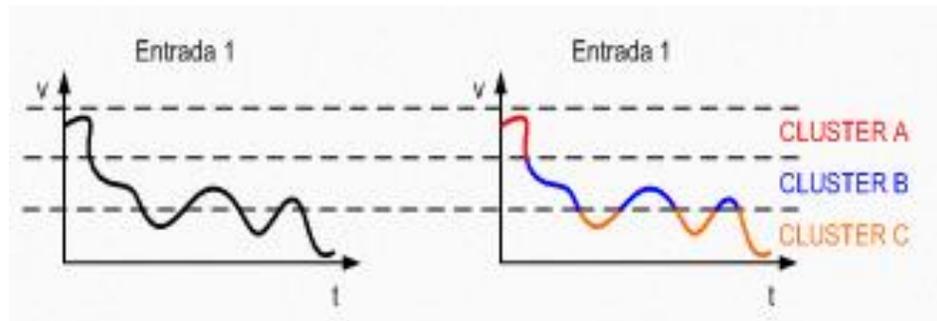


Figura 5-6. clusterización.¹³

❖ Extracción de reglas mediante algoritmos de tipo «Grid»

Las técnicas de identificación basadas en algoritmos de tipo «Grid» realizan una partición de tipo matricial o rejilla de los datos de entrada para estructurar el espacio y obtener la base de reglas que soporte el sistema difuso.

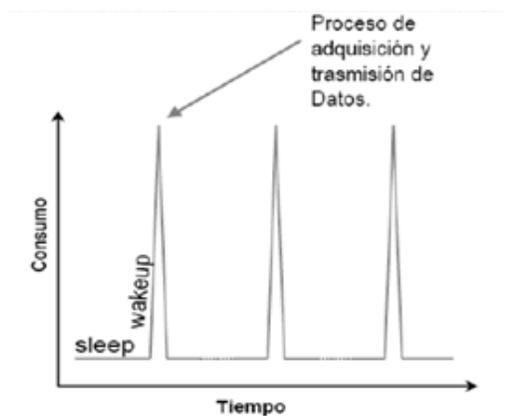


Figura 5-7. Señal original del nanosensor

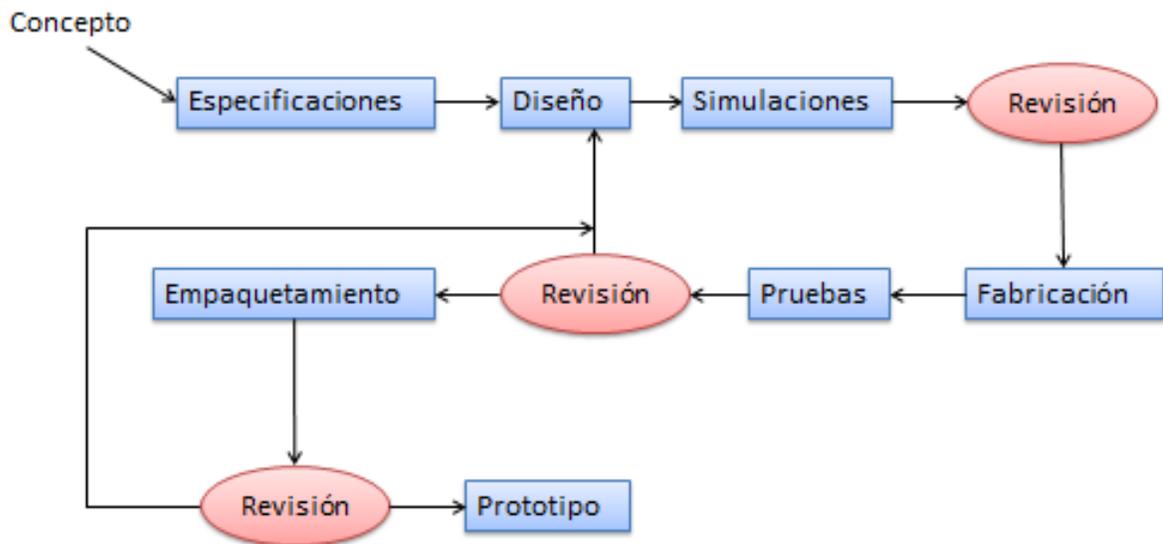
¹³ Fuente: Lache Salcedo -I Investigación de nuevos prototipos de sensores de viscosidad y sistema de control por clonación artificial, basados en técnicas de inteligencia artificial. Proyecto Joven Investigador Colciencias. 2006.

5.4 SIMULACIÓN EN MATLAB DEL SISTEMA NANOTECNOLÓGICO DE ELECTROESTIMULACIÓN BASADOS EN MODELOS CUÁNTICOS Y DE SEMEJANZA POR TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE DISEÑO.

¿Por qué crear los prototipos en escala pequeña?

- Por su pequeño tamaño y portabilidad
- Por la cantidad y calidad de los datos
- El consumo de potencia es bajo
- Analizadores completos
- Nuevas funciones

A continuación se muestra el proceso de diseño del concepto, simulación, construcción, ensamblaje y producto final para los casos de construcción de prototipos basados en nano y micro fabricación.



El anterior proceso de manufactura de un prototipo basado en nanotecnología, parte principalmente del concepto, de la idea que surge a través de una necesidad o de una innovación; posteriormente, ésta idea se vuelve en especificaciones, limitaciones, detalles que pasan a ser un diseño, la idea hecha papel, dibujo, boceto. Luego, se pasa a realizar

las respectivas simulaciones que tendrán una revisión para ver si se va por un buen camino, si la simulación arroja resultados deseados que resuelven la problemática del concepto inicial.

Cuando la simulación pasa la prueba de la revisión, inicia el proceso de fabricación del prototipo. Al finalizar la etapa de fabricación, se procede a probar el prototipo fabricado y su respectiva revisión para descartar errores. Al pasar por la segunda etapa de revisión, se continúa con la etapa de empaquetado donde se juntan todas las piezas del prototipo para obtener el producto final. Luego se realiza una última revisión y si pasa las pruebas, se consigue el prototipo final basado en nanotecnología.

6 RESULTADOS

6.1 CIRCUITOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y ACCIONAMIENTO (MECANISMO EJECUTIVO) A ESCALA NANOTECNOLÓGICA.

Como la industria de semiconductores contempla el final de la Ley de Moore, ha habido un interés considerable en materiales y dispositivos nuevos. Tecnologías tales como interruptores moleculares y matrices de nanocables de carbono ofrecen una ruta de acceso para la ampliación más allá de los límites de las CMOS convencionales. La mayoría de estas tecnologías están en las fases de exploración, todavía a años o décadas desde el momento en que van a ser actualizadas. De acuerdo con ello, el desarrollo de herramientas y técnicas de software para la síntesis de la lógica sigue siendo especulativa.

Sin embargo, para algunos tipos de las nuevas tecnologías, podemos identificar los rasgos generales que probablemente incidirá sobre la síntesis. Por ejemplo, las matrices de nanocables son diseñadas en manojos firmemente campales. Por consiguiente, muestran lo siguiente:

1. Un alto grado de paralelismo
2. Control mínimo durante el montaje
3. Aleatoriedad inherente a los esquemas de interconexión
4. Las altas tasas de defectos

Las estrategias existentes para la síntesis de la lógica de matrices de nanocables se basan de esquemas de encaminamiento similares a los utilizados para arreglos de compuertas programables en el campo. Estos se basan en la evaluación y programación interconectadas del circuito después de la fabricación.

Se describe un método general para la síntesis de la lógica que explota tanto el paralelismo y los efectos aleatorios del auto-ensamblaje, obviando la necesidad de dicha configuración posterior a la fabricación. Éste enfoque se basa en el cálculo con flujos de bits paralelos. Los circuitos se sintetizan a través de la descomposición funcional, con estructuras de datos simbólicos llamados diagramas multiplicativos de momento binario. La síntesis produce diseños con componentes paralelos aleatoriamente - y las operaciones AND y multiplexación - que operan en los flujos de bits. Estos componentes son fácilmente

implementados en matrices de nanocables travesaños. Se presentan los resultados de la síntesis de los puntos de referencia de los circuitos que ilustran los métodos. Los resultados muestran que la técnica es eficaz en diseños con matrices de nanohilos de aplicación, con un equilibrio medido entre el grado de redundancia y la precisión de la computación.

6.1.1 Modelo del circuito

La discusión de la síntesis se enmarca en términos de un modelo conceptual para las matrices de nanocables. Las conexiones entre los alambres horizontales y los verticales son al azar. Sin embargo, se supone que estas conexiones son casi de uno a uno, es decir, casi todos los hilos horizontales se conecta a exactamente a un hilo vertical, y viceversa. Este es un atributo específico de tipos de matrices de nanocables, controladas durante el autoensamblaje.

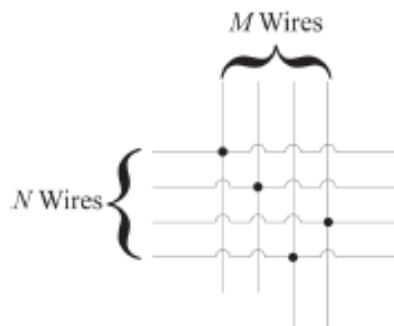


Figura 6-1. Nanohilos cruzados con conexiones aleatorias.¹⁴

6.1.1.1 Flujos de bits paralelos

El método de síntesis implementa computación digital en forma de flujos de bits paralelos. Se refiere a un conjunto de nanocables paralelos como un paquete. El ancho del paquete es equivalente a la cantidad de nanocables. Su peso actual es el número de unos (1) lógicos en sus cables. La señal que lleva es un valor real entre cero y uno correspondiente al peso fraccional: para un haz de alambres de N cables, si k de los cables es 1, entonces la

¹⁴ Fuente: Weikang Q, Jhon Backes, Marc Riedel. 2011

señal es k/N . Entonces $P(X=1)$ denota la probabilidad de que cualquier cable dado en paquete X lleva un 1.

6.1.1.2 Dispositivos aleatorios

Se implementa la computación con dos construcciones básicas de nanocables: AND's aleatorias y Agrupación de plexores. Se describen estos sólo en términos conceptuales.

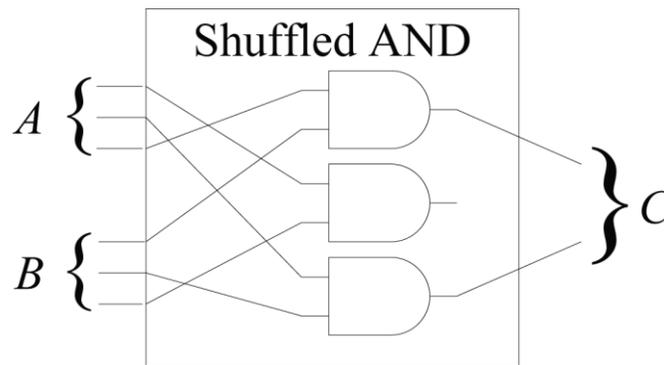


Figura 6-2. Un dispositivo AND aleatorio para paquetes con un ancho de 3.¹⁵

❖ Mezcla de AND aleatorio

Una mezcla AND tiene dos haces de cables N como entradas y un haz de cable N como la salida. Cada alambre en el haz de salida es en realidad la salida de una compuerta AND, que tiene una entrada desde el primer haz de entrada y el otro de la segunda. La elección de qué entradas se introducen en la compuerta AND es aleatoria.

Se supone que la señal transportada por el primer haz de entrada A es α , que llevado por el segundo haz de entrada B es b , y que llevado por el haz de salida C es c . A condición de que los bits en el primer y segundo haz de entrada son independientes, para un gran N se puede suponer que

¹⁵ Fuente: Weikang Q, Jhon Backes, Marc Riedel. 2011

$$c = P(C = 1) \tag{11}$$

$$c = P(A = 1 \text{ and } B = 1) \tag{12}$$

$$c = P(A = 1).P(B = 1) \tag{13}$$

$$c = a.b. \tag{14}$$

Se ve que la mezcla AND en efecto realiza la multiplicación de las señales transportadas por los dos haces de entrada.

❖ Agrupación de plexores

Una agrupación de plexores tiene dos haces de cables N como sus entradas y un haz de cables N como su salida. Está marcado con una razón de selección fija, $0 < s < 1$. El haz de salida se compone de una selección aleatoria de bits de sN desde el primer haz de entrada y los bits $(1-s)N$ de la segunda. La elección no se ordena: más bien, se produce una redistribución aleatoria.

Se supone que la señal llevada desde la primer entrada del haz A es a , la realizada por la segunda entrada del haz B es b y que llevado por el haz de salida C es c . Para un largo N, se puede asumir que

$$c = P(C = 1) \tag{15}$$

$$c = sP(A = 1) + (1 - s)P(B = 1) \tag{16}$$

$$c = sa + (1 - s)b. \tag{17}$$

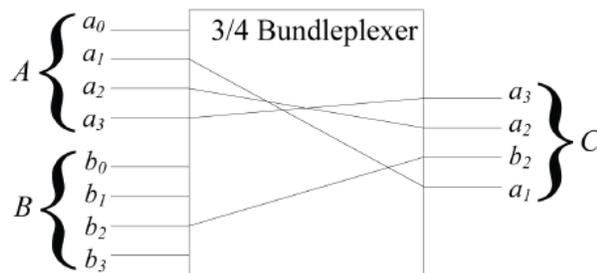


Figura 6-3. Agrupación de plexores con $N=4$ y $s=3/4$. [26]

Se observa que la agrupación de plexores en efecto realiza una adición escalada dentro de las señales transmitidas por los dos haces de entrada.

6.1.1.3 Diseño de circuitos

El método de síntesis produce un diseño de circuito que opera sobre los valores fraccionarios ponderados realizados por los haces de cables. El enfoque es análogo a la formulación de una representación polinómica de valor real de un circuito, con la multiplicación aritmética y la adición. (En efecto se realiza la síntesis con datos estructurados llamados diagramas de momento binario.)

Por ejemplo, considere un circuito con una tabla de la verdad booleana que muestra en la parte superior derecha de la 4-10. Su salida y se puede representar como

$$y = a + b - 2ab$$

La evaluación de este polinomio para todos los valores booleanos de a y b da la correcta salida Y booleana. Se utiliza una mezcla de AND para la multiplicación y una agrupación de plexores para la adición.

Para un circuito con m entradas y n salidas, se tienen paquetes de haces de entrada M y N haces de salida (cada paquete que consiste en N cables paralelos). Para el cálculo, todos los cables en cada paquete de entrada se establecen en el valor de entrada booleana correspondiente (por lo que todos los cables de cada haz se establecen en 0 o 1). Con agrupación de plexores, los cables son seleccionados al azar a partir de los paquetes separados. Como resultado, los haces internos llevan flujos de bits aleatorios con coeficientes fraccionarios.

Se asume que la salida del circuito es directamente usado en la forma fraccional ponderada. Por ejemplo, en aplicaciones de sensores, un voltaje análogo podría ser utilizado para transformar un haz de salida de bits en un valor booleano. Se supone una cuantificación directa: una señal de salida mayor que o igual a 0,5 corresponde a 1 lógico; menos que esto corresponde a 0.

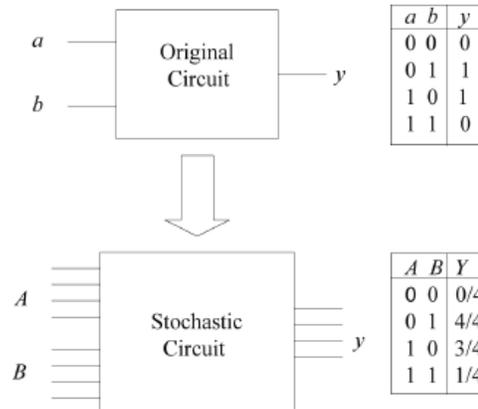


Figura 6-4. Un ejemplo de la formulación de un diseño de circuito. [26]

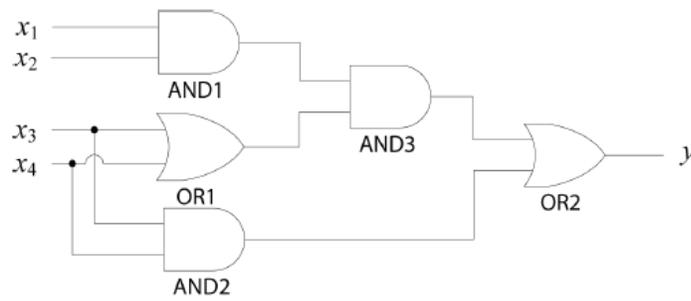


Figura 6-5. Un circuito simple. [26]

La figura 4-11 ilustra la formulación. Se usan los haces con un ancho de $N=4$. La tabla de la verdad muestra en la parte inferior derecha el peso fraccional en los haces de salida Y . Para las entrada $A=1$ y $B=0$, se tiene que $Y=3/4$, el cual corresponde a un 1 lógico. Para $A=1$ y $B=1$, se tiene $Y=1/4$, el cual corresponde a un 0 lógico. Entonces, el diseño del circuito implementa la misma función booleana como se muestra en la parte superior derecha de la tabla de la verdad.

6.2 ALGORITMOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS (NANOSENSOR-CONTROLADOR-NANOACTUADOR) BASADOS EN LA TEORÍA CUÁNTICA, LAS RELACIONES DE COMPORTAMIENTO DE ESPINELECTRONES Y LOS CRITERIOS DE SEMEJANZA POR METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP-DOWN.

El dimensionamiento parte de la conversión del modelo de acuerdo a la teoría cuántica (flujo de datos), que indica que la cantidad de información de los datos se expresa en [bits] mediante el uso de información medida cantidad seleccionada, por ejemplo

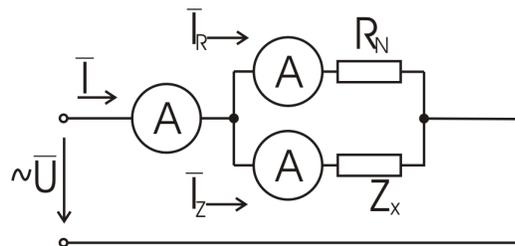


Figura 6-6. Ejemplo de circuito basado en datos cuánticos.

De esta manera, la derivada en el tiempo de la cantidad de información de datos produce lógicamente en un flujo de información de los datos medidos en [información por segundo]; así, la información de los datos se interpreta a que lleva a pedir cambios en los sistemas del mundo real o en la conciencia. El término de contenido de información es por lo general pertinente para el proceso de eliminación incertidumbre o, opcionalmente, a un aumento en el orden de un sistema.

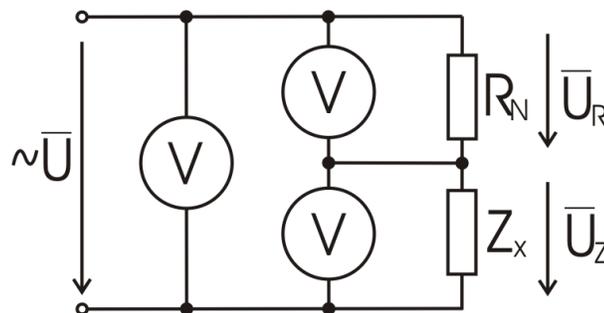


Figura 6-7. Ejemplo de circuito de eliminación de información que genera incertidumbre.

Así, el contenido de la información define la cantidad de trabajo provocada por la recepción de un bit de información a través de un mensaje de datos:

- Se puede medir el contenido de información de variables físicas [Joule por info], pero la cantidad de trabajo no es tan fácil de estimar.
- En vez de cantidad de trabajo, se introduce el número de eventos que aparecen en un sistema estudiado (sistemas del mundo real o conciencia) debido a la información recibida.

El [número de estos "excesos" de eventos por info] "I" puede medir el impacto de un bit de información en el sistema estudiado.

En teoría, se debería distinguir entre el número de eventos que ordenan el sistema (utilice un signo más) y eventos que hacen más caos en el sistema estudiado (signo menos).

El concepto más elevado de conocimiento contiene las cualidades de la asignación, la clasificación, y la filtración de los datos, las entradas y las imágenes de objetos de la información de los estados probables y sus transiciones de estado; la interpretación de las cadenas causales y sensibilidades sobre conjuntos de incertidumbres, imágenes de información de los estados y las transiciones en los enlaces del sistema de los objetos del mundo real.

Por lo tanto, en general, se puede hablar del contenido de información / conocimiento.

El Concepto funcional Frege de origen, imagen, información y acción muestra que:

- O_i es un conjunto de cantidades nominales en un objeto
- P_i es un conjunto de estados (observadores)
- Φ_i es un conjunto de cadenas sintácticas (flujo de datos)
- I_i es un conjunto de imágenes de información de cantidades estatales.

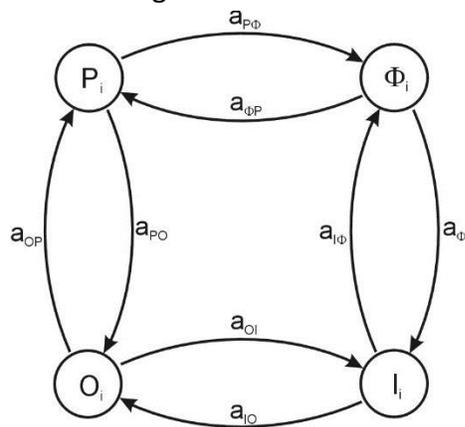


Figura 6-8. Ejemplo de concepto funcional de Frege

- a_{op} = identificación
- a_{po} = invasivo
- $a_{p\Phi}$ = proyección de un conjunto de símbolos de anuncios en cadenas sintácticas
- $a_{\Phi p}$ = corrección de la incertidumbre y la identificación
- $a_{\Phi I}$ = interpretación, origen de la información
- $a_{I\Phi}$ = lenguaje que construye la reflexión
- a_{Io} = relación de funciones y regularidad estructural
- a_{oI} = verificación de la integridad

El flujo de información de los datos y el contenido de la información que permite interpretaciones estructurales de los sistemas de información complejos, evaluación de evaluaciones, y la calidad del proceso de transmisión y la información en los sistemas de información parciales está representado por la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} I_2 \\ \Phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_a & t_b \\ t_c & t_d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ \Phi_1 \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ \Phi_1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

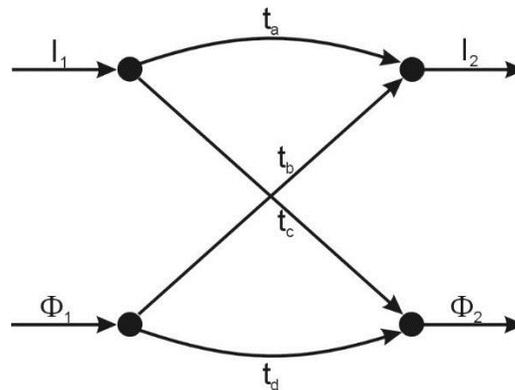


Figura 6-9. Diagrama para la información de los circuitos.

Cantidades de información en la física

Información de potencia PI:

$$PI(t) = \Phi(t) \cdot I(t) \quad (19)$$

Debido a que el flujo de información de los datos se expresa en la unidad [bits por segundo] y el contenido de la información en [eventos por bit] se deriva la unidad de la potencia de la información en [eventos "exceso" por segundo]

Información de impedancia Z:

$$I(t) = Z(t) \cdot \Phi(t) \quad (20)$$

Información de la Resistencia R:

$$I(t) = R \cdot \Phi(t) \quad (21)$$

Información Inductancia L:

$$I(t) = L \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (22)$$

Información de la capacitancia C:

$$\Phi(t) = C \cdot \frac{dI(t)}{dt} \quad (23)$$

Ahora, utilizando la transformada de laplace, debido a la dependencia del tiempo de todas las cantidades $I(t), Z(t), \Phi(t)$ que pueden utilizar todos los instrumentos conocidos de la teoría de circuitos eléctricos - Laplace, Fourier o transformada z - y reescribir estas cantidades, por ejemplo, en el dominio $j\omega$ en el caso de la utilización de la transformada de Fourier de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \tilde{I}(j\omega) &= L[I(t)] & \tilde{I}(j\omega) &= Z(j\omega) \cdot \phi(j\omega) \\ \tilde{Z}(j\omega) &= L[Z(t)] & \tilde{I}(j\omega) &= R \cdot \phi(j\omega) \\ \tilde{\phi}(j\omega) &= L[\phi(t)] & \tilde{I}(j\omega) &= j\omega \cdot L \cdot \phi(j\omega) \\ & & \tilde{\phi}(j\omega) &= j\omega \cdot C \cdot I(j\omega) \end{aligned}$$

Tomando una pequeña referencia de la información de un cuanto,

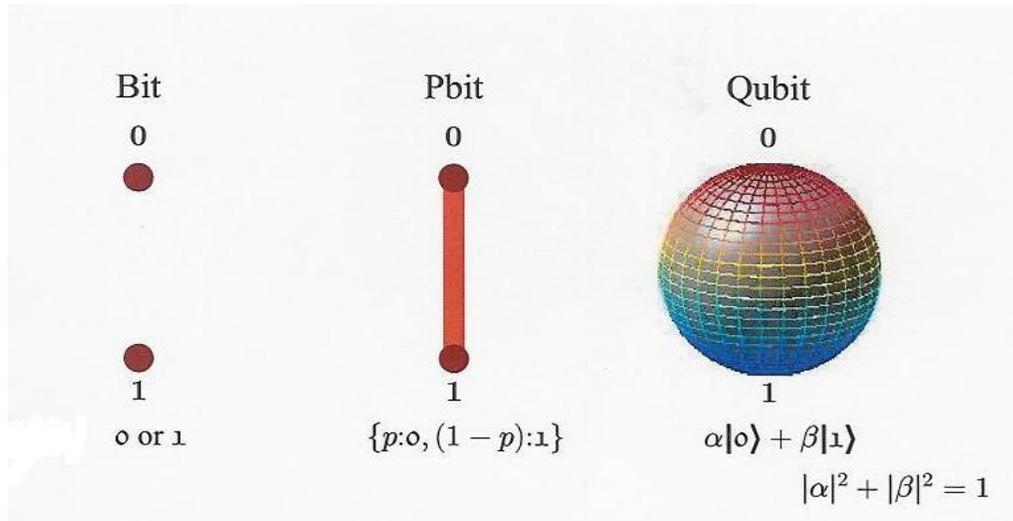


Figura 6-10. Tipos de qubits de acuerdo al tipo de información

La definición de un qubit dice que

$$|\psi\rangle = \alpha \cdot |0\rangle + \beta \cdot |1\rangle \quad (24)$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (25)$$

Y un simple qubit puede ser representado en una esfera de bloch

$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + e^{i\varphi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1\rangle \quad (26)$$

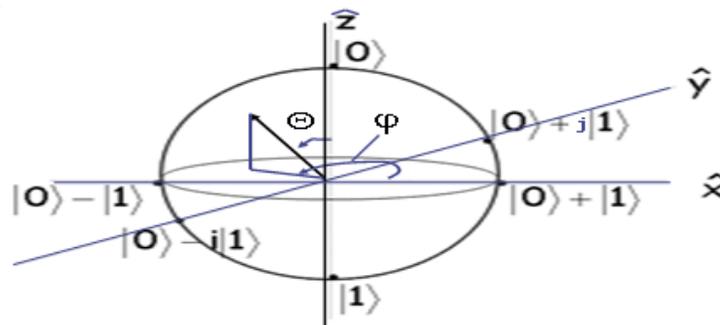


Figura 6-11. Representación geométrica de un qubit

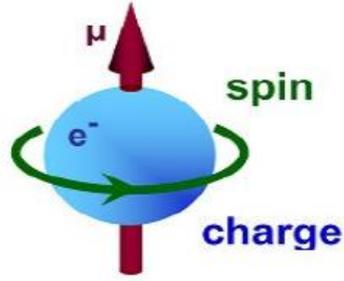


Figura 6-12. Movimiento del spin de un electrón. [13]

Los estados de superposición de un cuanto son los siguientes:

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 \cdot |0\rangle_1 + \beta_1 \cdot |1\rangle_1 \quad (27)$$

$$|\psi_2\rangle = \alpha_2 \cdot |0\rangle_2 + \beta_2 \cdot |1\rangle_2 \quad (28)$$

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha_1 \cdot |0\rangle_1 + \beta_1 \cdot |1\rangle_1) \otimes (\alpha_2 \cdot |0\rangle_2 + \beta_2 \cdot |1\rangle_2) = \\ &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot |00\rangle + \alpha_1 \cdot \beta_2 \cdot |01\rangle + \beta_1 \cdot \alpha_2 \cdot |10\rangle + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot |11\rangle \end{aligned} \quad (29)$$

Y el registro de un cuanto de (n-qubits) es:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0\rangle + |1\rangle) = \\ &= \frac{1}{2^{3/2}} \cdot (|000\rangle + |001\rangle + |010\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |101\rangle + |110\rangle + |111\rangle) \end{aligned} \quad (30)$$

Las compuertas cuánticas del procesamiento de los qubits hacen referencia a unas compuertas cuánticas de qubit, las compuertas de Toffoli, las compuertas cuánticas universales y las compuertas cuánticas de rendimientos en circuitos cuánticos

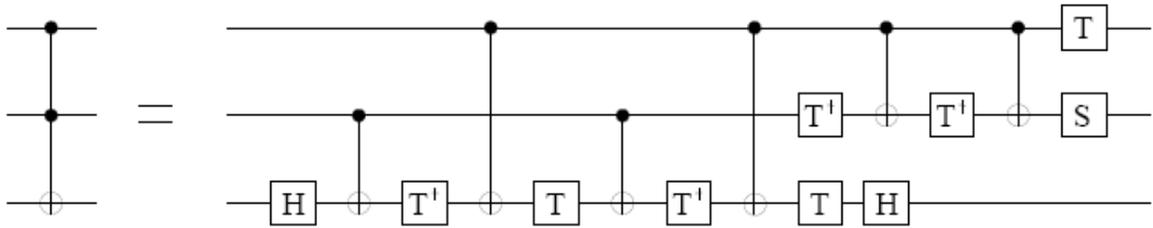


Figura 6-13. Compuertas cuánticas.

Algunos ejemplos de compuertas cuánticas son la compuerta de cambio de fase

$$Z = \begin{cases} |0\rangle \rightarrow |0\rangle \\ |1\rangle \rightarrow -|1\rangle \end{cases}$$

O la compuerta de rotación

$$T = \begin{cases} |0\rangle \rightarrow e^{i\alpha} |0\rangle \\ |1\rangle \rightarrow e^{-i\alpha} |1\rangle \end{cases}$$

O las compuertas NOT controladas

$$CNOT = \begin{cases} |00\rangle \rightarrow |00\rangle \\ |01\rangle \rightarrow |01\rangle \\ |10\rangle \rightarrow |11\rangle \\ |11\rangle \rightarrow |10\rangle \end{cases}$$

El entrelazamiento cuántico parte de los estados de la campana máximamente entrelazados:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle) \tag{31}$$

También de la paradoja EPR (Einstein, Podolsky, Rosen), y de la idea de Feynman: Aprovechar los fenómenos QM, como la superposición y el entrelazamiento de la informática.

Las funciones posibilidad de onda y el promedio de la información implica realizar la interpretación de los procesos con los que se esté trabajando como por ejemplo la siguiente observación de dos procesos, F1 y F2:

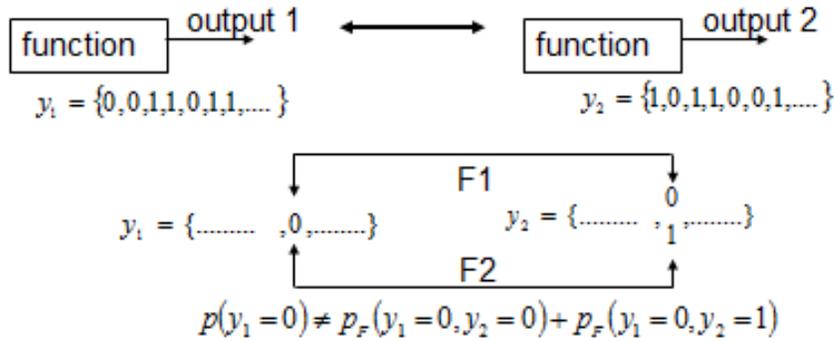


Figura 6-14. Observación de los procesos F1 y F2

Interpretación:

- Dos procesos de observación (externos) independientes de los pares $\{0,0\}$ y $\{0,1\}$ de dos variables de Y_1 e Y_2
- Debido a la división de observación de (F1, F2), ambas variantes $\{0,0\}$ y $\{0,1\}$ son posibles en algún momento
- Esto produce dependencias ocultas entre ambos en la observación del proceso F1 y F2 (superposición de observaciones)
- El parámetro de fase representa las dependencias ocultas entre ambos procesos en las observaciones (composición de piezas de observaciones superpuestas)

Las reglas de la posibilidad de dos procesos de observación:

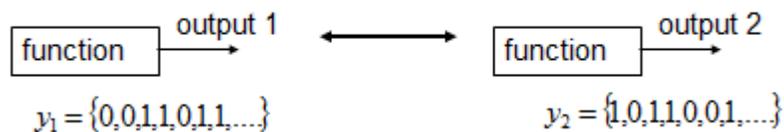


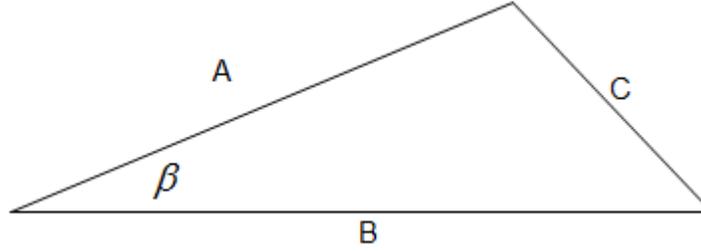
Figura 6-15. Reglas de posibilidades de dos procesos de observación

$$p(y_2 = 0) = p_F(y_1 = 0, y_2 = 0) + p_F(y_1 = 1, y_2 = 0) \pm 2 \cdot \sqrt{p_F(y_1 = 0, y_2 = 0) \cdot p_F(y_1 = 1, y_2 = 0)} \cdot \cos(\beta_{2,0}) \quad (32)$$

$$p(y_2 = 1) = p_F(y_1 = 0, y_2 = 1) + p_F(y_1 = 1, y_2 = 1) \pm 2 \cdot \sqrt{p_F(y_1 = 0, y_2 = 1) \cdot p_F(y_1 = 1, y_2 = 1)} \cdot \cos(\beta_{2,1}) \quad (33)$$

Consolidando las bases mencionadas anteriormente para realizar el cálculo de la aplicación de un cuanto, se tiene que:

$$C^2 = A^2 + B^2 \pm 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos(\beta) = |A + B \cdot e^{j\beta}|^2 \quad (34)$$



$$p(y_j) = p_A(y_j) + p_B(y_j) \pm 2 \cdot \sqrt{p_A(y_j) \cdot p_B(y_j)} \cdot \cos(\beta(y_j)) = |\sqrt{p_A(y_j)} + \sqrt{p_B(y_j)} \cdot e^{j\beta(y_j)}|^2 \quad (35)$$

$$p(y_1 = 0) = p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 0) \cdot p(y_2 = 0) + p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 1) \cdot p(y_2 = 1) \pm 2 \cdot \sqrt{p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 0) \cdot p(y_2 = 0) \cdot p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 1) \cdot p(y_2 = 1)} \cdot \lambda_{1,0} = \quad (36)$$

$$= p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 0) \cdot p(y_2 = 0) + p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 1) \cdot p(y_2 = 1) \pm 2 \cdot \sqrt{p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 0) \cdot p(y_2 = 0) \cdot p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 1) \cdot p(y_2 = 1)} \cdot \cos(\beta_{1,0}) = \quad (37)$$

$$= |\sqrt{p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 0) \cdot p(y_2 = 0)} + \sqrt{p_{F2}(y_1 = 0|y_2 = 1) \cdot p(y_2 = 1)} \cdot e^{j\beta_{1,0}}|^2 \quad (38)$$

Las anteriores ecuaciones representan el resultados del cálculo de un cuanto utilizando las bases de la interpretación, la observación, los estados de información de un cuanto, las bases físicas de la cuántica y demás.

Ahora, utilizando la Regla de la posibilidad de inclusión-exclusión, se obtiene

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2|A_1) \cdot P(A_3|A_1 \cap A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n|A_1 \cap \dots \cap A_{n-1}) \quad (39)$$

$$\begin{aligned}
 &P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_N) = \\
 &= \sum_{i=1}^N P(A_i) - \sum_{i < j} P(A_i \cap A_j) + \sum_{i < j < k} P(A_i \cap A_j \cap A_k) + \dots + (-1)^{N-1} \cdot P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_N)
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

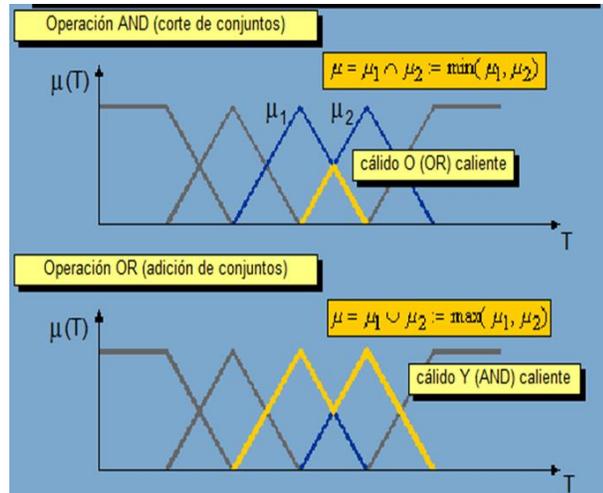


Figura 6-16. Ejemplo de inclusión y exclusión de posibilidades

Para la segunda y tercera parte del dimensionamiento del modelo a nanoescala, se habla de un ajuste del modelo de acuerdo a los criterios de escalonamiento nanométrico según los principios físicos y de la aplicación de las propiedades en sistemas termofluídicos y termodinámicos el cual tiene bases en la información a mencionar a continuación.

Las propiedades de un material dependen del tipo de movimiento que sus electrones puedan ejecutar, que depende del espacio disponible para ellos. Por lo tanto, las propiedades de un material se caracterizan por una "escala de longitud" específica, generalmente en la dimensión nm

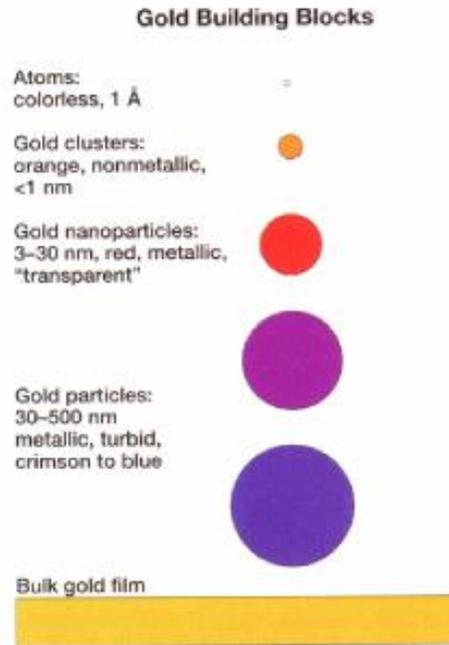


Figura 6-17. Propiedades de un material de acuerdo a su escala. [3]

Si el tamaño físico del material se reduce por debajo de la escala de longitud que se verá en la figura 8-14, sus propiedades cambian y se vuelven sensibles a tamaño y forma.

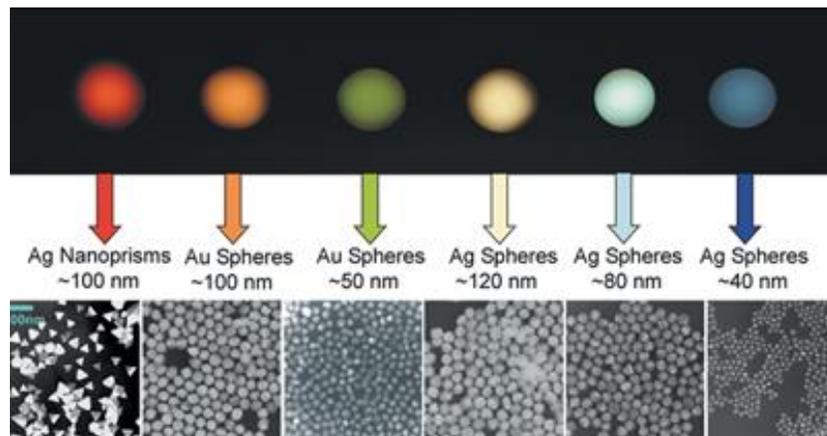


Figura 6-18. Tamaño del material. [25]

| Quantity | Scaling law |
|--|-------------|
| Centrifugal force | r^4 |
| Electrical motive power | r^3 |
| Magnetic force without an exterior field | r^3 |
| Magnetic force with an exterior field | r^3 |
| Force of gravity | r^3 |
| Mass | r^3 |
| Volume | r^3 |
| Diffusion time | r^2 |
| Electrostatic force | r^2 |
| Thermal power transferred by conduction | r^2 |
| Flow velocity | r^1 |
| Distance | r^1 |
| Capillary force | r^1 |

Figura 6-19. Escala hacia abajo [28]

Las propiedades químicas de los nanomateriales generan un incremento en el área de la superficie que aumenta la actividad química.

- catalizadores
- La tecnología de células de combustible

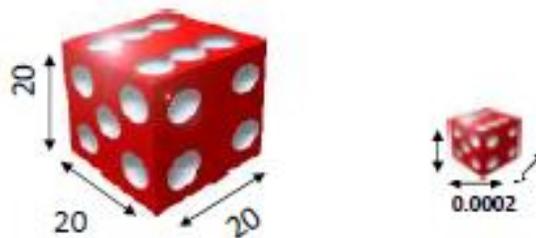


Figura 6-20. Nanomateriales.

- Las propiedades a granel se vuelven en gobernadas por las propiedades de la superficie.

- En el efecto mecánico de un cuanto predominan: las partículas que tienen dimensiones comparables a la longitud de onda de los electrones dentro del material.

Como ventajas de la nanoescala se tiene:

| | Propiedad | Aplicación |
|--|--|---|
| Tamaño de la partícula | Dominio magnético simple Más pequeño que la longitud de onda de la luz Aglomeración súper fina Mezcla uniforme de los componentes Propagación obstaculizada de las imperfecciones del enrejado Fluencia por difusión mejorada | Grabación magnética Vidrio de color Filtros moleculares Los nuevos materiales y recubrimientos Metales fuertes y duros Cerámica dúctil a temperaturas elevadas |
| Superficie mayor en el área de la relación de A / V | Específica Capacidad calorífica pequeña Tinte sensibilizado | Catálisis, sensores Celdas solares Materiales de cambio térmico |

Las propiedades magnéticas de los nanomateriales son la Fuerza de un imán: Los valores de coercitividad y de magnetización de saturación. Estos valores aumentan con una disminución en el tamaño de grano y un aumento en el área superficial específica de los granos

- Imanes de alta potencia
- Almacenamiento de Información
- Imágenes médicas

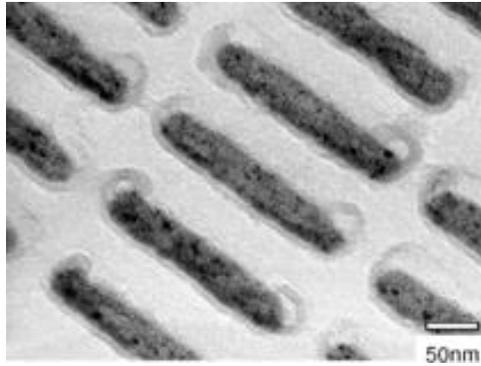
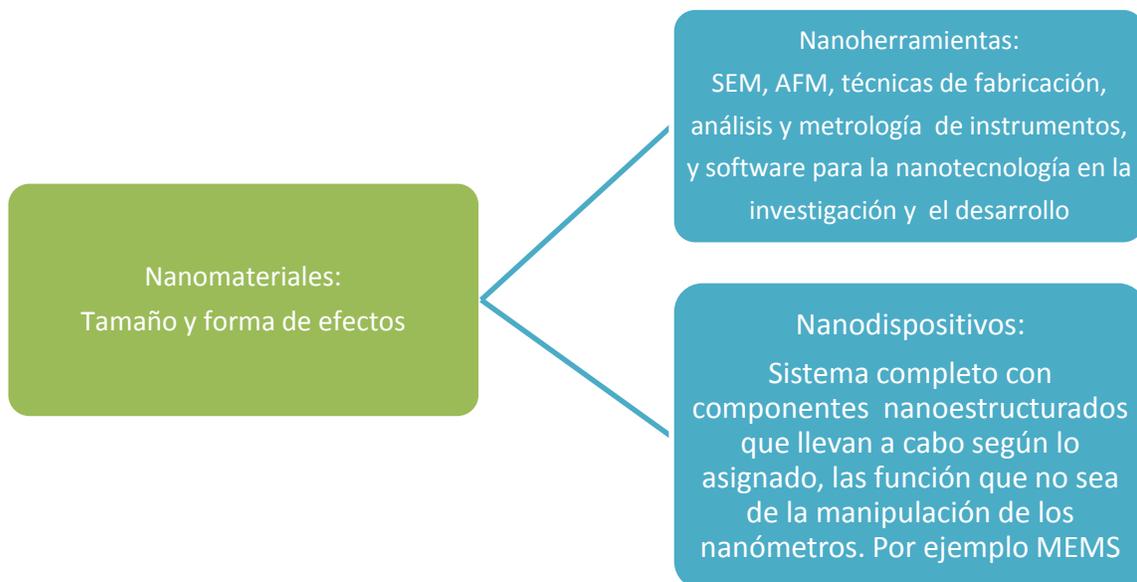


Figura 6-21. Barra nanomagnética de 200nm x 40nm, 25nm de grueso. Con un bit almacenado por elemento esto correspondería a una densidad de almacenamiento de 27 Gbir por pulgada cuadrada [31]

Las propiedades mecánicas de los nanomateriales son:

- La resistencia a la fatiga aumenta con una reducción en el tamaño de grano del material.
- Reducción en el tamaño de grano → incremento vida de fatiga alrededor de 200 a 300%
- Los materiales nanoestructurados son más ligeros que los materiales de convección de resistencia equivalente. Aeronaves pueden volar más rápido y más eficiente (menor consumo de combustible).



Para el último paso que es la adquisición de señales de nanoinstrumentación; éstas se transfieren por comunicación inalámbrica de la siguiente manera:

Para una buena comunicación entre nodos hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Sensibilidad del receptor
- Potencia de salida
- Señal de frecuencia
- Medio de propagación de la señal

En espacio libre, sin ningún tipo de señal que interfiera o material tenemos la siguiente expresión:

$$P_d = P_0 - 10 * 2 * \log_{10}(f) - 10 * 2 * \log_{10}(d) + 27.56 \quad (41)$$

- P_d potencia de la señal (dBm) a distancia d
- P_0 potencia de la señal (dBm) a distancia cero desde la antena
- f es la frecuencia de la señal en MHz
- d es la distancia (metros) desde la antena

Es decir, donde P_d es la potencia recibida (en dBm) para una potencia enviada P_0 (en dBm), a una frecuencia f (en MHz) y una distancia d (en metros). Como era de esperar, a medida que aumenta la frecuencia disminuye la señal de potencia transmitida. Por ejemplo, si la antena transmite a 0 dBm a 914 MHz, la potencia de la señal a 10 metros de la antena estará alrededor de -52 dBm, mientras si mantenemos la potencia de la señal y aumentamos la frecuencia a 2450 MHz, la potencia de la señal a 10 metros de la antena se verá reducida a -60 dBm.

En un espacio más real donde la señal sí está afectada por otras y por materiales que puede haber en su camino, tenemos la siguiente ecuación:

$$P_d = P_0 - 10 * n * \log_{10}(f) - 10 * n * \log_{10}(d) + 30 * n - 32.44 \quad (42)$$

Cada material está asociado a una constante de atenuación (dB/m) (Nepers/m).

Hay que tener en cuenta el ángulo en el que una señal penetra en un objeto. Por ejemplo, las divisiones comunes de las oficinas atenúan a 914 MHz alrededor de 1.5 dB.

Tabla 6-1. Atenuación de la señal en varios objetos [33]

| Objeto | Frecuencia de la señal | Atenuación de la señal |
|----------------------------|------------------------|------------------------|
| Pared de partición de 2 in | 914 Mhz | 1.5 dB |
| Piso de un edificio | 914 Mhz | 17 dB |
| Piso de un edificio | 1-2 Ghz | 23 dB |
| Pared interior de 4 in | 1-2 Ghz | 6 dB |
| Pared interior de ladrillo | 1-2 Ghz | 2.5 dB |
| Pared de yeso | 1-2 Ghz | 1.5dB |
| Cristal reforzado | 1-2 Ghz | 8 dB |

6.2.1 Pruebas teóricas para determinar distancias entre nodos

6.2.1.1 Pruebas en INDOOR

En un espacio real donde la señal sí está afectada por otras y por materiales que puede haber en su camino tenemos la ecuación (31). Teniendo en cuenta la siguiente tabla con los factores que hay predeterminados para distintos entornos encontraremos los resultados teóricos. [33]

| n | Entorno |
|---------------|---|
| 2.0 | Aire libre |
| 1.6 hasta 1.8 | Dentro de un edificio, visión directa |
| 1.8 | Supermercado |
| 1.8 | Fábrica |
| 2.09 | Sala de conferencias |
| 2.2 | Tienda |
| 2 hasta 3 | Dentro de una fábrica, sin visión directa |
| 2.8 | Dentro residencia |
| 2.7 hasta 4.3 | Dentro de un edificio de oficinas, sin visión directa |

Figura 6-22. Factor n para distintos entornos [33]

Según el cuadro anterior se escoge el factor 3 ya que se va a comprobar los resultados para las pruebas dentro de un edificio con puertas abiertas.

$$d = 10 \text{ metros}$$

$$P_d = (0dBm + 2.2dBm) - 10 * 3 * \log_{10}(2400MHz) - 10 * 3 * \log_{10}(10) + 30 * 3 - 32.44 = 71.64dBm$$

$$PmW \Rightarrow xdBm = 10\log_{10}P(mW) \Rightarrow P(mW) = 10^{\frac{x}{10}}$$

$$P(mW) = 10^{\frac{-71.64}{10}} = 6,8 * 10^{-8} mW$$

Tabla 6-2. Distancia vs potencia

| | | | | | | | | |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| D(m) | 17 | 25 | 27 | 29 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| Pd (dBm) | -78,51 | -83,53 | -84,54 | -85,47 | -86,34 | -86,34 | -87,2 | -87,59 |
| Pd (mW) | 1,4 * 10 ⁻⁸ | 4,4 * 10 ⁻⁸ | 3,5 * 10 ⁻⁸ | 2,8 * 10 ⁻⁸ | 2,29 * 10 ⁻⁸ | 2 * 10 ⁻⁸ | 1,9 * 10 ⁻⁸ | 1,74 * 10 ⁻⁸ |

La potencia mínima para transmitir vemos que se encuentra entre 3.41*10⁻¹⁰mW y 7,30*10⁻¹¹mW

6.2.1.2 Pruebas en OUTDOOR

Como las siguientes pruebas son al aire libre escogeremos como factor n= 2.

$$d = 4 \text{ metros}$$

$$P_d = (0dBm + 2.2dBm) - 10 * 2 * \log_{10}(2400MHz) - 10 * 2 * \log_{10}(4) + 30 * 2 - 32.44 = 49,88dBm$$

$$PmW \Rightarrow xdBm = 10\log_{10}P(mW) \Rightarrow P(mW) = 10^{\frac{x}{10}}$$

$$P(mW) = 10^{\frac{-49,88}{10}} = 1,02 * 10^{-5} mW$$

| | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D(m) | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 32 | 36 | 40 |
| Pd (dBm) | -55,9 | -59,9 | -61,92 | -63,86 | -65,44 | -67,94 | -68,97 | -69,88 |
| Pd (mW) 10 ⁻⁷ | 2,56*10 | 1,14 * 10 | 6,4 | 4,1 | 2,85 | 1,6 | 1,26 | 1,02 |

La potencia mínima de transmisión se encuentra entre 1,60*10⁻⁷ mW y 1,2610⁻⁷mW.

6.3 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEMBRANA SENSITIVA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE FABRICACIÓN DE ELECTROSPINNING DE NANOHILOS Y SU ENSAMBLE EN LA MEMBRANA CON CAPACIDAD GENERADORA DE ELECTROIMPULSOS PARA LA ELECTROESTIMULACIÓN.

Se propone¹⁶ un modelo para la relación entre un modelo de matriz de ensamble y un Modelo de Campo de Markov Random, el cual está basado en la probabilística de fallos de hardware y fallos de señales. Dado el hecho de que las señales lógicas en circuitos digitales son '0' y '1', se puede demostrar que el modelo de matriz depende del conjunto y el modelo de Markov campo aleatorio (MRF) también. Para demostrar este resultado, se debe construir primero que todo un modelo general de un circuito lógico. Existen tres formas de interconexión de puertas lógicas combinatorias: serie, paralelo y expansiones. Desde esta perspectiva, se puede construir un nuevo modelo de circuito lógico de la siguiente manera. La siguiente Figura muestra un circuito lógico general, donde 'EN' son las entradas, 'OUT' son las salidas. El circuito combinatorio en general se puede dividir en muchas sub-etapas, $S_1, S_2, \dots, S(n)$.

Como se muestra en la siguiente figura, las diferentes etapas están conectadas de una manera en serie. Dentro de cada etapa, las compuertas se pueden conectar en paralelo o una de una manera 'fanout'. Para las compuertas dentro de cada etapa, sólo se tiene que considerar algunas compuertas básicas, como lo son el inversor, la compuerta NAND, la NOR, la AND y la OR, ya que otras compuertas se pueden construir utilizando estos bloques de construcción. Para mantener la coherencia y la simplicidad en el cálculo de matriz, se puede usar la diagonal de una matriz de identidad (2) para describir una topografía donde una señal lógica se transfiere directamente a través de una etapa. También podría haber 'expansión de salida' en cada etapa en la que una única salida lógica está conectada a varias compuertas.



Figura 6-23. Circuito lógico general

¹⁶ Fuente: Ensemble Dependent Matrix Methodology for Probabilistic-Based Fault-tolerant Nanoscale Circuit Design. Huifei Rao, Jie Chen, Changhong Yu, Woon Tiong Ang, I-Chyn Wey*, An-Yeu Wu* and Hong Zhao. Electrical and Computer Engineering Department, University of Alberta, Canada

Se asume que hay n etapas de entradas a salidas, y que el número de compuertas en cada etapa es g_k . $k \in \{1, 2, \dots, n\}$. Las entradas de cada etapa son:

$$\text{Primera etapa: } X_0 = (X_{0,1}, X_{0,2}, \dots, X_{0,t_0})$$

$$\text{Segunda etapa: } X_1 = (X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{1,t_1})$$

.....

$$\text{N etapa: } X_{n-1} = (X_{n-1,1}, X_{n-1,2}, \dots, X_{n-1,t_{n-1}})$$

Las salidas finales son $X_n = (X_{n,1}, X_{n,2}, \dots, X_{n,t_n})$, donde t_0, t_1, \dots, t_{n-1} son los números de las entradas de cada etapa, t_n es el número de salidas.

Desde el modelo del conjunto de matriz dependiente, cada etapa puede ser representada por una matriz. Suponiendo que estas matrices son A_1, A_2, \dots, A_n , respectivamente. La matriz de todo el circuito es entonces $A = A_n * A_{n-1} \dots \dots A_2 * A_1$. A es una matriz de $2^{t_n} * 2^{t_0}$, donde las filas representan los valores de salida y las columnas representan los valores de entrada.

$$A(i, j) = \sum_{i_{n-1}}^{2^{t_1}} \sum_{i_{n-2}}^{2^{t_2}} \dots \sum_{i_2}^{2^{t_{n-2}}} \sum_{i_1}^{2^{t_{n-1}}} A_n(i, i_1) * A_{n-1}(i_1, i_2) \dots * A_2(i_{n-2}, i_{n-1}) * A_1(i_{n-1}, j) \quad (43)$$

Desde el modelo de MRF, si se fija en la probabilidad marginal de las entradas y las salidas se tiene que,

$$P(X_n = x_n^i, X_0 = x_0^j) = \sum_{i_1, i_2, \dots, i_{n-2}, i_{n-1}} P(X_n = x_n^i, X_{n-1} = x_{n-1}^{i_1}, \dots, X_1 = x_1^{i_{n-1}}, X_0 = x_0^j) = \sum_{i_1, i_2, \dots, i_{n-2}, i_{n-1}} P(X_0 = x_0^j) * P(X_1 = x_1^{i_{n-1}} | X_0 = x_0^j) \dots * P(X_n = x_n^i | X_{n-1} = x_{n-1}^{i_1}) \quad (44)$$

Donde x_k^i representa el primer valor del vector randómicos X_k , $k \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ y $i \in \{1, 2, \dots, 2^{t_k}\}$. La segunda ecuación en (44) viene de la propiedad Markoviana, por ejemplo, la probabilidad de que la etapa actual sólo dependa de sus fases vecinas.

Comparando (43) con (44), se puede ver que el lazo izquierdo de ambas ecuaciones indican la probabilidad de transición desde j^{th} de la entrada de la primera etapa a la i^{th} de la salida de la última etapa.

A continuación, se va a demostrar que estas probabilidades de transición son las mismas, y por lo tanto estos dos modelos (el diseño de la matriz y el diseño MRF) convergen.

Se puede observar que en el lazo izquierdo de (43) y (44), ambos tienen las multiplicaciones $2^{t_1} * 2^{t_2} \dots 2^{t_{n-1}}$ en la sumatoria. Cada una de estas multiplicaciones tiene además n términos. Lo que se necesita probar es que $A_k(i, j)$ en (43) equivale a $P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j)$ en (44) para cualquier i, j y k .

Asumiendo que el paso k tiene las compuertas g_k , donde g_{k1} es el número de las compuertas normales tales como el inversor, la NAND, el NOR, el AND o la compuerta OR. g_{k2} es el número de la diagonal de la matriz identidad de la compuerta mencionada anteriormente.

$A_k = (A_{k,1} \otimes A_{k,2} \dots \otimes \text{eye}(2) \dots \otimes A_{k,g_{k1}})^F$, F representa la supresión de algunas columnas del producto tensor en la consideración de los casos en los que se producen expansiones. Como resultado,

$$A_k(i, j) = A_{k,1}(i_1, i_1) * A_{k,2}(i_2, i_2) \dots A_{k,g_{k1}}(i_{g_{k1}}, i_{g_{k1}}) = p^u * q^v \quad (45)$$

O 0 cuando no hay propagación de la probabilidad de j^{th} entrada a la salida i^{th} del estado k . Aquí, u es el número de compuertas donde la entrada j_m^{th} genera la salida i_m^{th} cuando la compuerta funciona erróneamente. v es el número de compuertas donde la entrada j_m^{th} genera la salida i_m^{th} cuando la compuerta funciona correctamente.

Note que $m \in \{1, 2, \dots, g_{k1}\}$

Si no hay ninguna probabilidad de transición desde la entrada j^{th} a la salida i^{th} del estado k , $P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j)$ en (44) equivale a cero, por otra parte,

$$P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j) = P(X_{k,1} = x_{k,1}^{i_1} | X_{k-1,1} = x_{k-1,1}^j) * P(X_{k,2} = x_{k,2}^{i_2} | X_{k-1,2} = x_{k-1,2}^j) \dots P(X_{k,g_{k1}} = x_{k,g_{k1}}^{i_{g_{k1}}} | X_{k-1,g_{k1}} = x_{k-1,g_{k1}}^j) \quad (46)$$

Donde $P(X_{k,m} = x_{k,m}^{im} | X_{k-1,m} = x_{k-1,m}^{jm})$ es la probabilidad de transición de entradas-salidas de la compuerta m en el estado k. De acuerdo al modelo MRF de varias compuertas, esta probabilidad $= 1 / (1 + e^{1/K_b T}) \equiv \alpha$ si la entrada j_m^{th} genera la salida i_m^{th} cuando la compuerta actúa correctamente. $P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j)$ En (46) equivale a $\alpha^u (1 - \alpha)^v$, donde u y v son los mismos que los de (45).

Ahora, se puede observar que $A_k(i, j)$ en (44) equivale a $P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j)$ en (46) si se trata α como la probabilidad de una operación correcta y $1 - \alpha$ como la probabilidad de la operación incorrecta. Desde estos resultados, se puede concluir que $A_k(i, j)$ en (43) equivale a $P(X_k = x_k^i | X_{k-1} = x_{k-1}^j)$ en (45) para cualquier i, j y k.

6.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL NANOMATERIAL QUE SE UTILIZA EN EL NANOSISTEMA

El nanomaterial se comporta en su forma de dualidad onda partícula, asimismo, la dualidad de onda partícula hace referencia a la teoría cuántica y a la teoría clásica de la luz.

6.3.1.1 Dualidad onda partícula

De acuerdo con la teoría clásica de la luz, ésta es una radiación electromagnética que se propaga por el espacio de forma ondulatoria, por lo que se pueden estudiar los fenómenos que competen a la física óptica, como la dispersión, difracción, interferencia, etc. Sin embargo, existen dos fenómenos que necesitaban incorporar nuevos conceptos para poder darles una explicación: la radiación de cuerpo negro, estudiado por Max Planck y el efecto fotoeléctrico por A. Einstein. Ambos científicos mostraron que estos fenómenos se podían explicar fácilmente si se supone que la energía de la luz se halla concentrada en paquetes discretos de energía que fueron llamados cuantos.

La energía que está contenida en un cuanto está definida por la fórmula:

$$E = h\nu \tag{47}$$

Donde ν es la frecuencia y h es la constante de Planck, cuyo valor numérico es:

$$h = 6.626075 \times 10^{-34} \text{ j.s}$$

Los cuantos poseen una cantidad de movimiento P (el cual es definido en mecánica clásica como el producto de la masa por la velocidad).

$$P = hk \quad (48)$$

Pero

$$h = \frac{h}{2\pi}$$

y k es el número de onda:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k}$$

Entonces

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (49)$$

Que define el momento de un cuanto.

6.3.1.2 Estados cuánticos

De acuerdo a la teoría de Planck, el estableció que las moléculas solo pueden tener valores discretos de energía E_n dados por la ecuación:

$$E_n = nh\nu \quad (50)$$

Donde n es un entero positivo denominado número cuántico. Debido a que la energía de la molécula solo puede tener valores discretos se dice que la energía esta cuantizada. Cada valor de energía es un estado cuántico diferente.

Además se introdujo el concepto en el que explica que las moléculas emiten o absorben fotones pasando de un estado cuántico a otro, como se muestra en la siguiente figura.

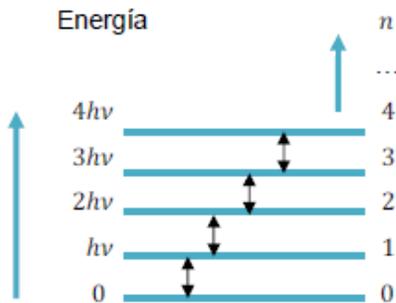


Figura 6-24. Estados cuánticos. [17]

A continuación se describe los elementos basados en nanotubos de carbono.

Los CNT, así como los dispositivos electrónicos, ópticos y NEMS (sistemas nano electro mecánicos) basados en ellos, representan uno de los tópicos de mayor investigación en la nanoelectrónica moderna. Teóricamente, los procesos tecnológicos experimentales avanzados involucrados en el estudio de las propiedades de CNT y sus aplicaciones. Los CNT tienen una serie de sorprendentes características eléctricas, térmicas, ópticas y mecánicas que no se encuentran en otros materiales o prevalecen por encima de cualquier material existente con características similares con poco orden de magnitud. Estas propiedades justifican el gran interés en los dispositivos de CNT.

Los CNT son cilindros vacíos que pueden ser considerados como hojas enrolladas unas encima de otras formando capas concéntricas de grafeno. Como se muestra en la siguiente figura, el grafeno es una estructura en 2D de estructura tipo panal de abeja formado por átomos de carbono. El CNT de una sola capa de grafito se llama CNT de pared simple (SWCNT), denomina CNT multicapas (MWCNT). Muy a menudo las propiedades físicas de SWCNT difieren significativamente de aquellos de MWCNT, y por tanto debe tenerse cuidado al escoger el tipo de CNT involucrado para una cierta aplicación.

Dependiendo de cómo estén enrolladas las capas de grafeno, podemos conseguir CNT con una conducción metálica o semiconductor, este se puede observar en la siguiente gráfica si el giro es entorno al eje x es un CNT semiconductor, si el giro es entorno al eje y el CNT es metálico. Esta posibilidad notable de enrollarse en cualquier dirección (sea x o y), es única para cualquier material conocido. La manera en que una hoja se pliega se describe por dos parámetros: chirality o vector C chilar (característica de un cristal o molécula que no puede ser súper impuesta a su imagen reflejada) y el ángulo chiral (teta). El vector chiral de un CNT, el cuál uno dos sitios cristalográficos equivalentes está dado por

$$C = na_1 + ma_2 \quad (51)$$

Y los "a" son vectores unitarios (de las paredes de las celdas) de la celosía del grafene. Y los números n y m son enteros.

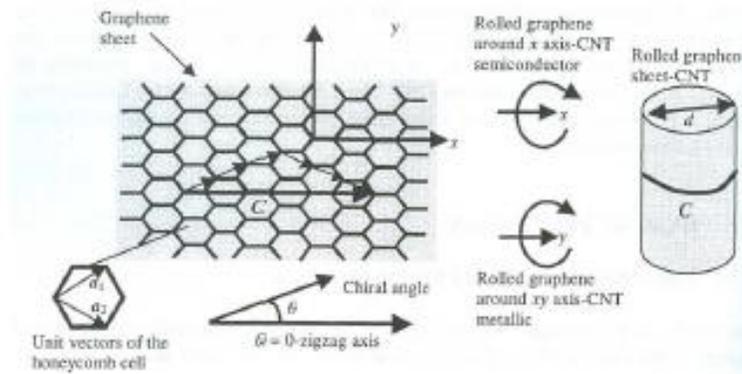


Figura 6-25. Descripción esquemática de la estructura del CNT

El par de números enteros (n,m) describen completamente el carácter metálico o semiconductor de cualquier CNT. En general, un CNT es metálico si n=m, se transforman en semimetálicos sin n no es igual a m en la ecuación anterior. En la mayoría de investigaciones se encontraron (n,n) CNT metálicos los también llamados armchair CNTs (brazos de silla), y los CNTs caracterizados por (n,0), los cuales son semiconductores y se los denomina CNT zigzag. Hay un vínculo directo entre el par (n,m) y las características geométricas del CNT.

En particular el diámetro CNT está dado por:

$$d = \frac{a_{c-c} [3(m^2 + mn + n^2)]^{\frac{1}{2}}}{\pi} = \frac{|C|}{\pi} \quad (52)$$

Donde $a_{c-c} = 1.42$. A que es la longitud del enlace del carbono, y $|C|$ es la magnitud del vector chiral. La fórmula anterior ilustra la importancia del vector chiral: su módulo es igual a la circunferencia del CNT. El ángulo chiral se define por:

$$\theta = \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{3n}{2m+n}} \right] \quad (53)$$

Donde el valor $\theta = 30^\circ$ para (n,n) CNT armchair y es igual a $\theta = 60^\circ$ para (n,0) CNT zigzag. Es común sin embargo limitar el dominio de θ al rango (entre 0 y 30°); entonces como se muestra en la siguiente figura, debido a la simetría, se asigna $\theta = 0^\circ$ para los CNT

zigzag y se considera $\theta = 0^\circ$ como el eje referencial o el eje zigzag. En lugar del vector chiral y del ángulo chiral, el par de enteros (n,m) por ejemplo (10,10), (9,0) o (4,2), pueden ser usados alternativamente para especificar un CN, el diámetro y ángulo chiral de éstos pueden calcularse usando las dos ecuaciones anteriores.

La amplitud de banda del semiconductor CNT está dado por:

$$E_g = \frac{4\hbar v_F}{3d} \quad (54)$$

Dónde:

E_g = energía del bandgap

\hbar = constante de Planck

d = diámetro del nanotubo

v_F = velocidad de Fermi

Y toma el valor

$$E_g(eV) \cong \frac{0.9}{d(nm)} \quad (55)$$

Para la velocidad de Fermi $v_F = 8 \times 10^7$ m/s.

El valor máximo de voltaje de la compuerta, el aumento de este valor genera una disminución de los huecos que el campo eléctrico transversal abre en el CNT en su transformación en semiconductor.

$$V_{g,MAX}(V) = \frac{12,09}{n} \quad ||n \text{ es el número del CNT} \quad (56)$$

Para campos trasversos débiles hay una relación universal entre el aumento del hueco (gap) y el voltaje del hueco (V_g) dado por la siguiente ecuación:

$$nE_g = \infty(nE * V_g)^2 \quad (57)$$

Donde ∞ es una constante a $0,007 (eV)^{-1}$

Porque los SWCNT tienen diámetros que van de una fracción de nanómetro a varios nanómetros. Los semiconductores CNT tienen una amplitud de banda (bandgap) en el rango de 20 meV a 2 eV. En Bandgap (amplitud de banda) diseñado se logra en el caso del CNT simplemente cambiando el diámetro del nanotubo.

Cambiando las propiedades físicas de los CNT se puede incluir nuevas propiedades en los dispositivos CNT. Si en el CNT cristalino se introducen defectos en la estructura cristalina, como consecuencia se produce un cambio significativo del bandgap, los CNT pueden ser mejorados de muchas maneras que incluyen el dopado, absorción de átomos individuales o moléculas (hidrogenación, oxigenación), por deformaciones mecánicas radiales, y por la aplicación de campos eléctricos o magnéticos.

Independiente del método de mejoramiento se modifica profundamente la estructura de la banda de energía del CNT. En particular, una transformación reversible semiconductor-aislante ocurre en algunos casos, lo que cambia completamente las propiedades del material de CNT o de un arreglo de CNT (MWNT), con consecuencias importantes en los dispositivos basados en CNT.

6.3.2 DISEÑO DE LOS MICROCIRCUITOS LÓGICOS MUTABLES

Para este diseño se implementará transistor de uso general npn 2N2222 que es muy comercial y de fácil acceso. En este diseño hay que tener en cuenta que el uso del transistor será dentro de la zona de saturación excluyendo de antemano cualquier estudio de estabilidad, parámetros h y solo se hará referencia al uso del transistor en la zona de saturación.

6.3.2.1 Compuerta mutable NAND y NOR.

Para este punto el diseño es un circuito que tiene las características de una compuerta NAND ante una señal de control y una compuerta NOR ante la señal inversa de control de la NAND. Se propone el siguiente diseño figura 8-24 y la simbología del circuito:

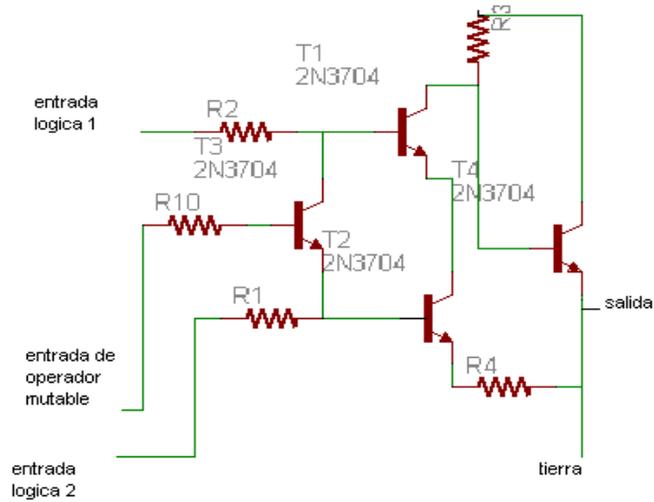


Figura 6-26. Circuito operador evolutivo NAND y NOR [8]

Este circuito funciona como una compuerta NAND; dado que los transistores se encuentran trabajando en zona de saturación, según este concepto el transistor está trabajando en dos puntos de la recta de carga: como un interruptor cerrado o como un interruptor abierto.

Cuando hay una señal de entrada en las bases de los transistores dando por sentado que un 1 lógico equivale a 5v y un cero lógico es igual a 0 v se verifica en la siguiente tabla que:

Tabla 6-3. Valor de verdad NAND [8]

| Entrada lógica 1 | Entrada lógica 2 | salida |
|------------------|------------------|--------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Este resultado es equivalente que el de una compuerta NAND que es el caso en el que nos ocupa. Para este caso se obvia que la entrada del transistor de mutación es cero y por lo tanto su presencia para el análisis es innecesaria. Siguiendo con explicación del diseño tomaremos la otra parte en la que el transistor de mutación genera un nuevo circuito y cuyo comportamiento se espera sea el de una compuerta nor.

En la siguiente figura, se puede observar que el transistor de mutación conecta la dos bases es decir ante un uno en la entrada comunicara las dos bases y con una señal de un 1 lógico tendremos la misma señal en el otro transistor.

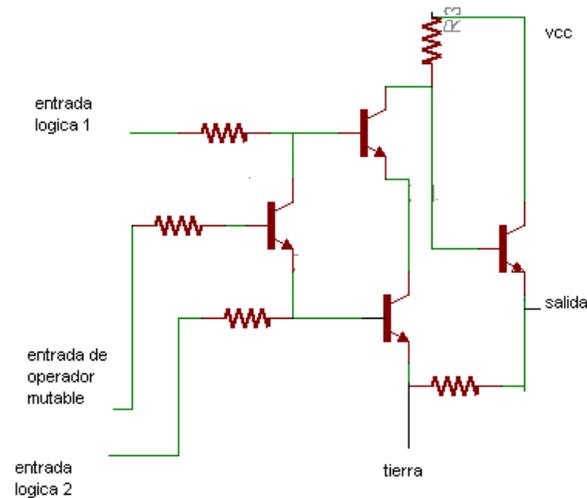


Figura 6-27. Circuito Operador lógico NOR [8]

Una vez más se puede recurrir a la tabla de valores lógicos y se puede verificar en la tabla 8-5 que:

Tabla 6-4. Tabla de verdad NOR. [8]

| Entrada lógica 1 | Entrada lógica 2 | salida |
|------------------|------------------|--------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

Gracias a esta tabla se puede ver que el comportamiento del circuito es el de una compuerta NOR y que una vez hay un uno lógico en la entrada del transistor el circuito se comporta como un circuito nor.

Finalmente se analiza el comportamiento lógico del circuito a través de la tabla 8-6

Tabla 6-5. Tabla de verdad para la compuerta mutable NAND – NOR. [8]

| Señal de mutación | Entrada lógica 1 | Entrada lógica 2 | Salida |
|-------------------|------------------|------------------|--------|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

A continuación se propone la simbología en la siguiente figura.

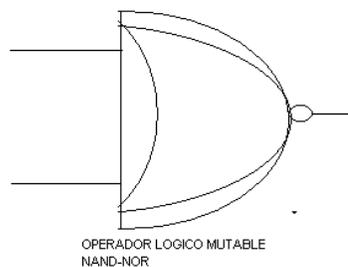


Figura 6-28. Símbolo operador lógico mutable NAND NOR. [8]

Retomando la figura de características núms, para esta corriente el transistor estar trabajando bajo la zona de saturación por diseño y sabiendo de las variaciones de ganancia y características de dopaje que tiene cada dispositivo de la misma familia se determinó trabajar con una corriente de 0.25 mA, esta corriente de la ecuación de corriente de base se tendrá una resistencia de 20 k .Las resistencias de 100 k se usan para aterrizar el circuito y no permitir fluctuaciones en la salida por ruido figura 8-26.

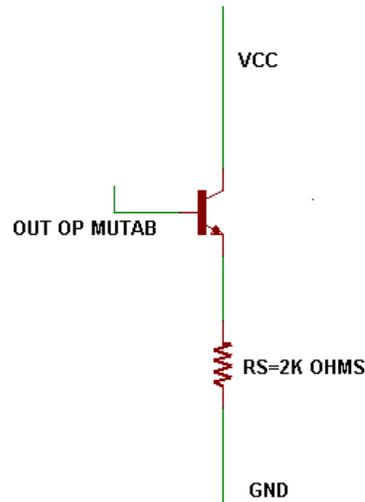


Figura 6-29. Circuito de acople de nivel lógico. [8]

Este circuito proporciona una corriente un poco más alta que la del operador mutable y además ajusta el nivel lógico TTL, necesario para comunicarse con los micros.

Una vez planteados los operadores lógicos a implementar y sabiendo ya el resultado de dichas mutaciones subsiste una pregunta.

¿Cuánta señal debe conocer un operador lógico para que involucre los cambios necesarios a la salida?

Esta pregunta es importante porque enfoca el problema del arreglo lógico y es que si en la señal es necesario conocer toda la trama de bits o solamente se deben conocer uno bits de información.

La solución a este problema es que para un cambio en una cadena de bits a no ser que la información sea completamente arbitraria y eso no ocurre; los cambios de los bits se hacen armónicamente y para ello se verá el conjunto de posibilidades de una entrada de cuatro bits como se ve en la tabla

Tabla 6-6. Cambio armónico binario. [8]

| | | |
|-----|-----|-----|
| lsb | ... | msb |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

La entrada 0 es el msb (bit más significativo) y la entrada 2 es el lsb (bit menos significativo), este análisis se hará para tres bits los necesarios para este diseño, las entradas ent1 y ent0 van al operador lógico NOR-OR y la entrada al operador lógico NAND-NOR. La siguiente tabla 8-8 ilustra el comportamiento lógico de la célula madre electrónica.

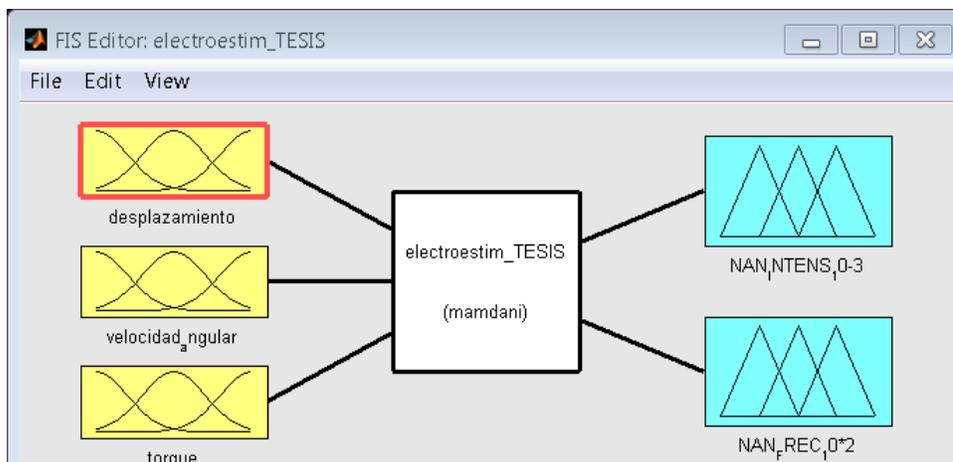
Tabla 6-7. Salidas de los operadores mutables con sus mutaciones respectivas. [8]

| Ent2 | Ent1 | Ent0 | Bit control or_nor | Op mut n-or | Salida 1er operador | Bit de contro Nand nor | Op mut usad | Salida encontrada | Salida esperada |
|------|------|------|-----------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | nor | 1 | 1 | nor | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | Or | 0 | 0 | nand | 1 | 1 |

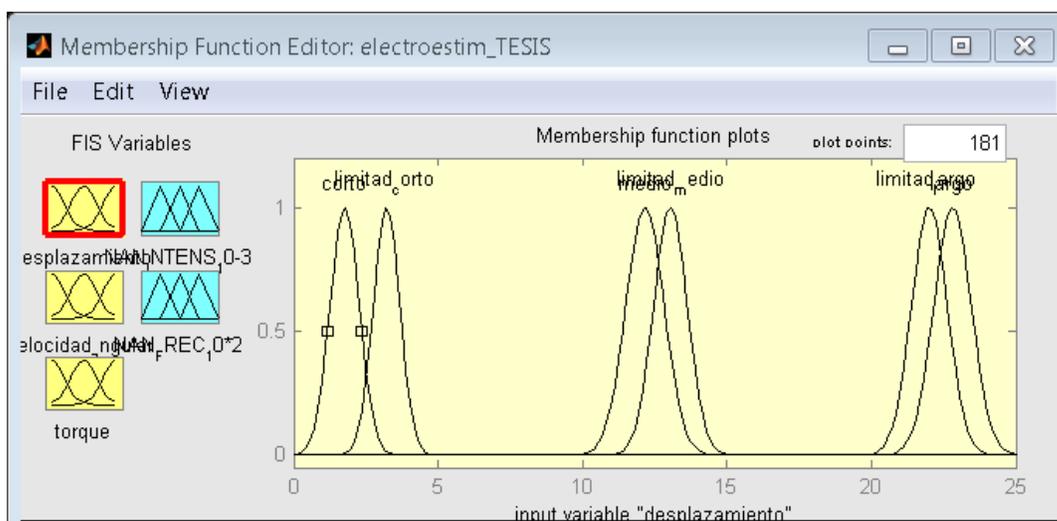
6.4 SIMULACIÓN EN MATLAB EL SISTEMA NANOTECNOLÓGICO DE ELECTROESTIMULACIÓN BASADOS EN MODELOS CUÁNTICOS Y DE SEMEJANZA POR TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE ELECTROHILADO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE DISEÑO.

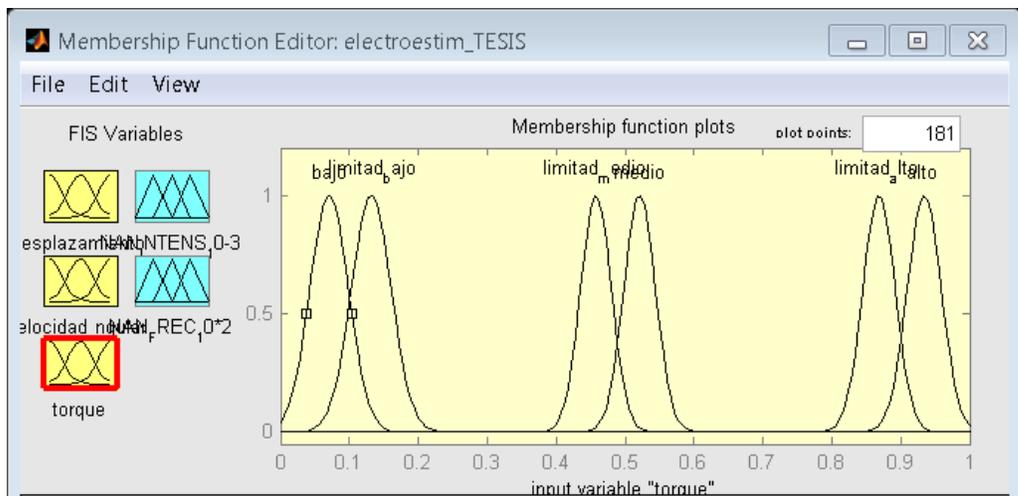
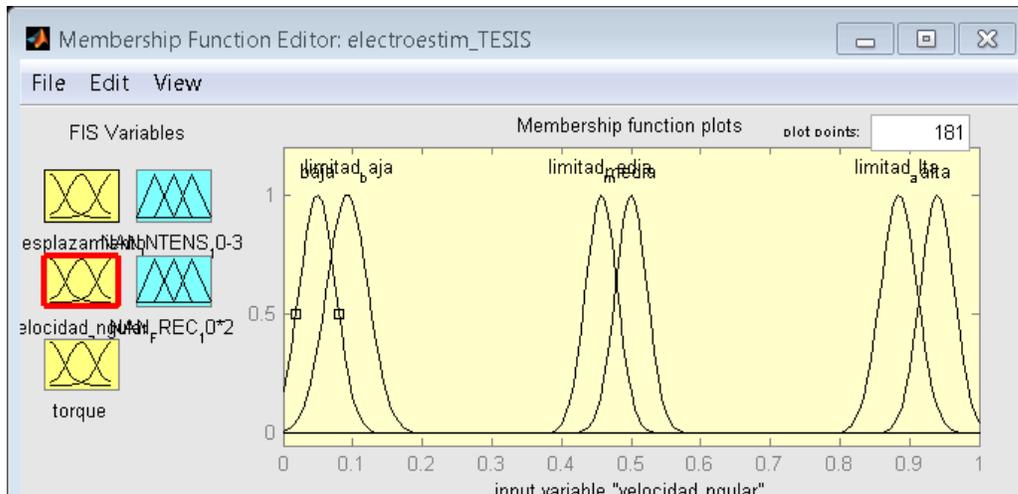
A continuación se observan los elementos correspondientes al sistema de inferencia fuzzy que se realizó para la simulación del sistema nanotecnológico con sus respectivas entradas y salidas.

SISTEMA DE INFERENCIA FUZZY (FIS)

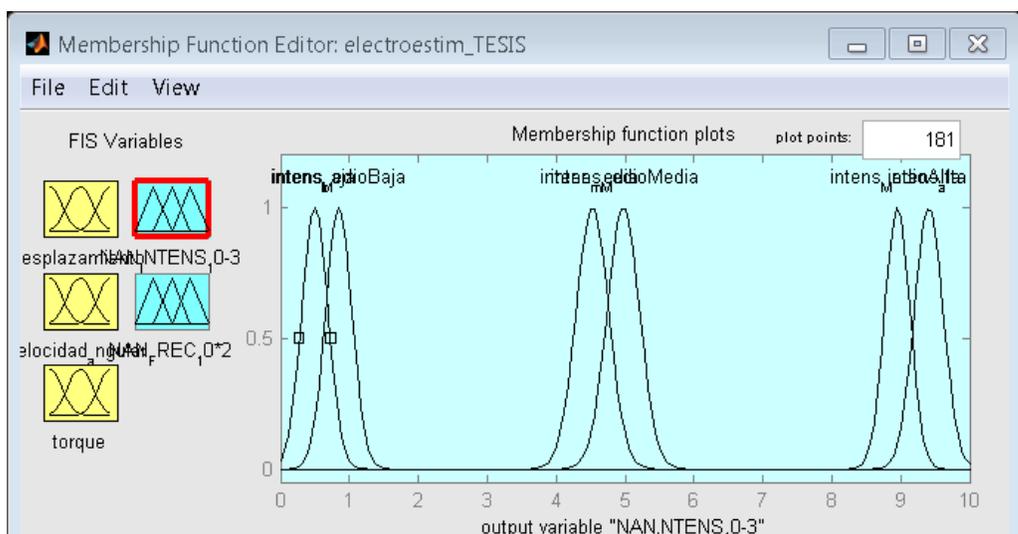


VARIABLES DE ENTRADA

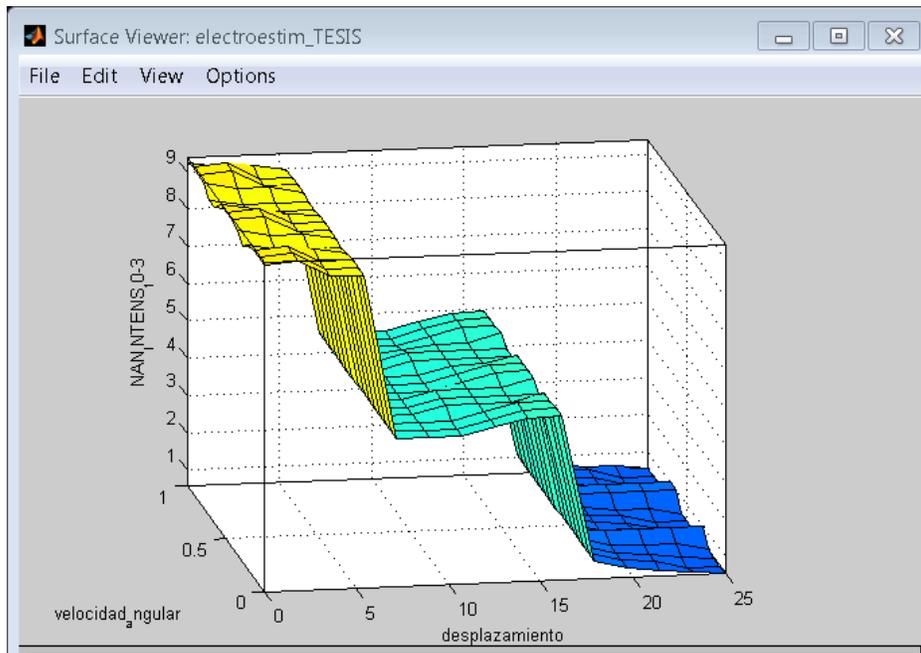




VARIABLES DE SALIDA



SUPERFICIE



7 CONCLUSIONES

Se ha cumplido con los objetivos del proyecto de grado, difundiendo los conceptos y técnicas de diseño para la fabricación de la membrana basada en el método de electrohilado para un electroestimulador.

Se logra obtener el diseño del sistema de fusificación con el fin de obtener las entradas y salidas del sistema para lograr un comportamiento adecuado para un sistema de electroestimulación por tecnología de electrohilado.

A partir de los modelos matemáticos de los circuitos a micro y nanoescala, tanto genéricos como evolutivos para el hardware a diseñar en un futuro, se concluye que se logró el diseño de los circuitos de medición del nanosensor, control inteligente y el accionamiento del nanoactuador a escala nanotecnológica.

Partiendo de los modelos de la teoría cuántica se lograron establecer los algoritmos de simulación de los sistemas nanotecnológicos para el nanosensor-controlador-nanoactuador, mediante las relaciones de comportamiento y los criterios de semejanza por la metodología de diseño Top Down.

Se logró crear un dimensionamiento a nanoescala para trabajar en los prototipos que se vayan a diseñar y a fabricar para aplicaciones médicas, más específicamente en terapias de electroestimulación mediante el uso de la teoría cuántica y demás.

Para el caso de los procedimientos de diseño de membrana sensitiva obtenida por el método de fabricación de electrospinning de nanohilos y su ensamble en la membrana con capacidad generadora de electroimpulsos para la electroestimulación, se deja estipulado el método de fabricación de ésta membrana y para trabajos futuros el diseño y simulación de ésta mediante el uso de la herramienta de Coventor.

Se obtiene una clara y concisa información en referente a la nanotecnología, la electroestimulación, las corrientes de electroestimulación, la técnica de electrohilado (electrospinning), y demás.

8 BIBLIOGRAFIA

- [1]. Entrenamientos. “Fitness y electroestimulación”. Tomado de la red en Agosto de 2014. URL: <http://www.entrenamientos.org/entrenamiento-fisico/item/70-fitness-y-electroestimulacion>
- [2]. Entrenamientos. “Entrenamiento físico y electroestimulación”. Tomado de la red en Agosto de 2014. URL: <http://www.entrenamientos.org/entrenamiento-fisico/item/47-electroestimulacion>
- [3]. Martinez, Pau & Marín, Pedro. “Diseño y estudio de una máquina de electrospinning”. Tomado de la red en Agosto Septiembre de 2014. URL: https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7123/4/03_Mem%C3%B2ria.pdf
- [4]. Jaimes Moreno, Edgar Mauricio. “Electroestimulador inteligente y sistema de clonación artificial de sensores de movimiento y control adaptativo-predictivo, por acupuntura con agujas-electrodos y transmisión inalámbrica, evaluado en un diseño de prototipo construido”. Universidad Autónoma de Bucaramanga. 2009.
- [5]. Siti Fatimah Abd Rahman, Nor Azah Yusof, Uda Hashim, M. Nuzaihan Md Nor. “Design and Fabrication of Silicon Nanowire based Sensor”. Institute of Advanced Technology, Universiti Putra Malaysia. 2013.
- [6]. Rodriguez Pacheco, Jorge Humberto. “Prototipo automatizado para la implementacion de la técnica “electrospinning” en aplicaciones farmacológicas”. Universidad Autónoma de Bucaramanga. 2010.
- [7]. Asgar, Z., Kodakara, S., & Lilja, D. (2005). Fault-tolerant image processing using stochastic logic (Tech. Rep.). Retrieved from <http://www.zasgar.net/zain/publications/publications.php>
- [8]. Bryant, R., & Chen, Y. (1995). Verification of arithmetic circuits with binary moment diagrams. In Proceedings of the 32nd Design Automation Conference (DAC '95), San Francisco (pp.535-541).
- [9]. DeHon, A. (2005). Nanowire-based programmable architectures. ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems, 1(2), 109–162. doi:10.1145/1084748.1084750
- [10]. FENA. (2006). Mission statement. Retrieved from <http://www.fena.org>
- [11]. Qian, W, Backes, J, Riedel, M. (2009). The synthesis of stochastic Circuits for Nanoscale Computation.
- [12]. [MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Aplicación de los algoritmos genéticos en la identificación y control de bioprocesos por clonación artificial. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic V 19 No. 2 58-76, 1998

- [13]. [MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Tecnología de clonación artificial on-line de sensores y controladores. Oficina Internacional de Invenciones, Patentes y Marcas, República de Cuba. Registros No. 7-789735, 2000
- [14]. [MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Equipo de control genético de la composición en medios continuos on-line. Oficina Internacional de Invenciones, Patentes y Marcas, República de Cuba. Registros No. 7-789734, 2001.
- [15]. [ADAM 94] ADAMI, C., Learning and complexity in genetic auto-adaptive systems. California Institute of Technology, 1994.
- [16]. [ADEL 95] ADELI, H., Machine Learning: Neural Networks, Genetic Algorithms, and Fuzzy Systems. John Wiley and Sons, Inc, 1995.
- [17]. S. A. Pérez. 2002. "Diseño de Sistemas Digitales con VHDL". Ed. Thomson. Neil H. E. Weste and Kamran Eshraghian. Principles of CMOS VLSI Design. Addison-Wesley, 2nd edition, 1994.
- [18]. Xilinx Inc., 2100 Logic Drive, San Jose, CA 95124. The Programmable Gate ArrayData Book, 1991.
- [19]. National Academy of Science. Panel on Scientific and Medical Aspects of Human Cloning. August 7, 2001
- [20]. Vera, F. (2006). "Sistema Electrónico de clonación Artificial de un Sensor de Viscosidad Basado en Hardware Evolutivo." Universidad de Pamplona.
- [21]. WINTER, D. A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Warterloo: Warterloo Press, 1991.
- [22]. Pedro Carlos Russi. Estudo De Um Modelo Dinâmico Para Avaliação Física Do Corpo Humano. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista. Sao Paulo. Brasil
- [23]. Sistema electrónico de clonacion artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo. Fredy Vera Perez trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico. Universidad de Pamplona. 2006
- [24]. Muñoz Antonio F. Sensorica e instrumentación, Mecánica de Alta precisión. . Pueblo y educación. 1997
- [25]. Maneiro Malavé Ninoska. Algoritmos genéticos aplicados al problema cuadrático de asignación de facilidades. Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela. Febrero 2002
- [26]. Faustino, A, Muñoz, Mariela. (2010). "Algoritmos y Sistemas Genéticos Aplicados en sistema de control en Tiempo Real Obtenido por Clonación Artificial para Prótesis Mecatrónica de Piel Artificial con Nanopartículas.". Universidad Autónoma de Bucaramanga y Universidad del Cauca, Colombia.
- [27]. Beneficios de la Nanotecnología: Presentación. Euro Residentes. Tomado de la red en Abril de 2015. URL:

- http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_responsable/nanotecnologia_beneficios.htm
- [28]. Caro Bejarano, José (2012). Los riesgos mundiales en el 2012 según el foro económico mundial. ieee.es. Tomado de la red en abril de 2015. URL: http://www.ieee.es/Galerias/chero/docs_informativos/2012/DIEEEI06-2012_ForoEconomicoMundial_RiesgosGlobales2012_MJCaro_v2.pdf
- [29]. García Díaz, J. (2006). Normalización sobre Nanotecnologías. AENOR, p. 26-28. Tomado de la red en Abril de 2015. URL: http://www.nanospain.org/-les/Working%20Groups/NanoSpain_WGIndustrial_Normalizacion.pdf
- [30]. José Luis Carrillo Aguado. Cómo es la Nanotecnología según la FDA. Perdiositasenlinea.org. Tomado de la red en abril de 2015. URL: <http://www.periodistasenlinea.org/modules.php?op=modload&name=News&le=article&sid=23516>
- [31]. Marquez, J. (2008). Nanobioética, nanobiopolítica y nanotecnología. Revista Salud Uninorte. 24 (1), 140-157. Tomado de la red en Abril de 2015. URL: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/salud/article/view/3824/2435>
- [32]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización mundial de la salud. Reunión Conjunta FAO/OMS de Expertos acerca de la aplicación de la nanotecnología en los sectores alimentario y agropecuario: posibles consecuencias para la inocuidad de los alimentos. Informe. Consultado en <http://www.fao.org/docrep/015/i1434s/i1434s00.pdf>
- [33]. Panorama y perspectivas de la nanotecnología. Revista Virtual Pro, Agosto 2009 (91), pp17-18. Tomado de la red en Abril de 2015. URL: <http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2009-08-01&pag=17>
- [34]. Riesgos de la Nanotecnología. Euro Residentes. Tomado de la red en Abril de 2015. URL: http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_responsable/riesgos_nanotecnologia.htm
- [35]. Contraindicaciones y peligros de la electroestimulación. Electroestimulación deportiva. Tomado de la red en Mayo 17 de 2015. URL: <https://www.electroestimulaciondeportiva.com/contraindicaciones-y-peligros-de-la-electroestimulacion/>
- [36]. Ingeniería en Nanotecnología. Upb. Tomado de la red en Mayo 17 de 2015. URL: http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=1054,53529575&_dad=portal&_schema=PORTAL
- [37]. Jie Chen y Hua Li, "Design Methodology for Hardware-efficient Fault-tolerant Nanoscale Circuits", en IEEE International Symposium on Circuits and Systems' 2006.
- [38]. J. Chen, J. Mundy, Y. Bai, S. Chan, P. Petrica, y R. I. Bahar, "A probabilistic approach

to nano-computing,” En Proceedings of the Second Workshop on Non-Silicon Computing, San Diego, CA, Junio 2003.

- [39]. K. N. Patel, I. L. Markov, y J. P. Hayes, “Evaluating circuit reliability under probabilistic gate-level fault models,” en IEEE International Workshop on Logic and Synthesis, 2003.
- [40]. MODELAJE Y SIMULACION MULTIFISICA DE UN SENSOR DE GAS DE SnO_2 EN COVENTORWARE™. Andrés Felipe Méndez Jiménez, Alba Ávila Bernal. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogota, Colombia. Noviembre de 2005
- [41]. MEMORIAS I SEMINARIO INTERNACIONAL DE NANOTECNOLOGÍA UDES 2011.

ANEXOS

ANEXO 1. NANOTECNOLOGÍA, BIOSEGURIDAD Y BIOÉTICA

✚ ¿QUÉ OPINAN ALGUNAS ORGANIZACIONES RESPECTO A LA FORMA EN QUE PUEDEN AFECTAR LA SALUD Y EL AMBIENTE LAS NANOPARTÍCULAS?

En el 2007 la EPA publica el “Libro Blanco” para el análisis de riesgos en nanotecnología, basándose en un reporte hecho en el año 1938, en el cual se hace una evaluación de diferentes peligros: cáncer, desarrollo, ecológicos, mutagénicos, neurotóxicos y reproductivos.¹⁷

El libro blanco (documento oficial) realizado por personal de la U.S. Environmental Protection Agency (Washington D.C., Estados Unidos), encontrándose alojado en su portal web. La U.S. EPA es la agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos y se encarga de dictaminar medidas técnicas encaminada al cuidado del ambiente y los recursos naturales.

Este libro blanco se constituye como un documento informativo que pretende informar sobre las últimas investigaciones realizadas en nanotecnología a la sociedad en general. El documento comienza con una introducción que describe qué es la nanotecnología y las razones por las cuales la U.S. EPA se encuentra interesada en esta ciencia, debido a las oportunidades y desafíos que existen en relación con la nanotecnología y el medio ambiente. A continuación, se enfoca en una discusión de los beneficios medioambientales potenciales de la nanotecnología, mediante la descripción de las tecnologías ambientales, así como otras aplicaciones que pueden fomentar la utilización sostenible de los recursos.

¹⁷ Panorama y perspectivas de la nanotecnología. Revista Virtual Pro, Agosto 2009 (91), pp17-18. Recuperado de <http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2009-08-01&pag=17>

Luego se presenta un panorama general de la información existente sobre los nanomateriales con respecto a los componentes necesarios para llevar a cabo una evaluación de riesgos. El documento proporciona un amplio examen de las necesidades de investigación para las aplicaciones ambientales y las implicaciones de la nanotecnología.

Finalmente, este libro blanco plantea algunas recomendaciones que incluyen:

1. Investigación sobre aplicaciones ambientales.
2. Evaluación de riesgos de la investigación.
3. Prevención de la contaminación, gestión y sostenibilidad.
4. Colaboración y liderazgo.
5. Capacitación.

En el 2005 el encuentro del Comité Técnico sobre las Nanotecnologías, de la International Organization for Standardization (ISO), crea la normatividad ISO 209¹⁸ que rige esta nueva tecnología. Esta norma incluye diferentes reglamentaciones como: terminología y nomenclatura, medición y caracterización, y salud, seguridad y medio ambiente.

ISO/TC 229 desarrollará normas y documentos normativos que:¹⁹

1. Apoyarán el desarrollo sostenible y responsable así como la difusión global de estas tecnologías emergentes;
2. Facilitarán el comercio global de nanotecnologías, productos de nanotecnología y productos y sistemas basados en las nanotecnologías;
3. Mejorará la calidad, seguridad, protección del consumidor y ambiental, así como el uso racional de los recursos naturales en el contexto de las nanotecnologías;
4. Promocionarán buenas prácticas sobre producción, utilización y desecho de nanomateriales, productos y desecho de nanomateriales, productos de nanotecnología y productos y sistemas basados en las nanotecnologías.

¹⁸ Si desea leer más sobre esta normatividad, puede consultar el siguiente artículo <http://www.copant.org/documents/18/17512/2010-08-17>

¹⁹ Tomado de la página web: García Díaz, J. (2006). Normalización sobre Nanotecnologías. AENOR, p. 26-28. Recuperado de http://www.nanospain.org/les/Working%20Groups/NanoSpain_WGIndustrial_Normalizacion.pdf

El comité ha estructurado en 3 grupos de trabajo:

6. WG1 Terminology and nomenclature
7. WG2 Measurement and characterization
8. WG3 Health, safety and environment

La administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, Food and Drugs Administration) es una organización del gobierno de los Estados Unidos la cual debe regular los alimentos en general, también las industrias cosméticas, Farmacéuticas, los productos veterinarios, productos Biológicos, y hasta aparatos médicos, Esta regulación Industrial es tanto en productos de consumo humano como de animal.²⁰

Cómo es la Nanotecnología según la FDA

La administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos (FDA en Inglés) regula una amplia variedad de productos, incluyendo alimentos, cosméticos, medicinas, fármacos, drogas, aparatos, productos veterinarios, y productos de la industria del tabaco, algunos de los cuales pueden contener nanomateriales. El argumento de la FDA para controlar el uso de los nanomateriales es que pueden tener propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las de sus contrapartes macroscópicas.

SUPERVISIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA POR FDA

En enero de 2005, la Foods and Drugs Administration (FDA), órgano federal de Estados Unidos que controla las medicinas y los alimentos, autorizó el uso de abraxane, el primer tratamiento médico que utiliza nanoestructuras diseñado para tratar el cáncer de seno.

Este avance de la nanotecnología aplicada en medicina es usado en pacientes en las cuales no han funcionado otras quimioterapias. El abraxane usa nanopartículas de la proteína albúmina para encapsular el fármaco paclitaxel; que se introduce al cuerpo mediante inyecciones. Sin encapsularse, el paclitaxel requiere usar solventes que producen efectos secundarios graves, como anemia y náuseas.

²⁰ Si desea saber más sobre los riesgos en la alimentación lea siguiente informe: "Reunión Conjunta FAO/OMS de Expertos acerca de la aplicación de la nanotecnología en los sectores alimentario y agropecuario: posibles consecuencias para la inocuidad de los alimentos" Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/015/i1434s/i1434s00.pdf>

Cada nanopartícula de abraxane mide 130 nm de diámetro, lo que le permite traspasar las membranas de los vasos sanguíneos, pasar por la zona entre el vaso y tejido del tumor, y finalmente ser entregado al tumor cancerígeno.

Los estudios demuestran que el abraxane puede ofrecer mejores grados de respuesta en las mujeres con cáncer de mama, debido a que la medicina encapsulada penetra de manera más eficaz el tumor.

En su página web, la FDA señala que: “Este organismo se ha encontrado durante mucho tiempo con la mezcla de promesas, riesgo e incertidumbre que acompaña a las tecnologías emergentes. La nanotecnología no es única en este sentido, señala la FDA. Los múltiples cambios biológicos, químicos y de otra naturaleza que hacen a los productos nanotecnológicos tan excitantes requieren de un examen concienzudo para determinar cualquier efecto en la seguridad, efectividad o cualquier otro atributo del producto. Comprender la nanotecnología es una prioridad de la FDA, quien monitorea la evolución de la ciencia y quien tiene una agenda de investigación robusta para asesorar la efectividad y seguridad de una forma suficientemente flexible para una variedad de productos, incluyendo nanomateriales”.²¹

Sobre la nanotecnología en específico, la FDA mantiene una política regulatoria enfocada en el producto y basada en investigación científica para regular apropiadamente productos usando esta tecnología emergente. Los estándares legales varían entre varias clases que la FDA regula. La FDA regulará los productos de la nanotecnología bajo las autoridades establecidas según los estatutos, de acuerdo con los estándares legales establecidos aplicables para cada producto bajo su jurisdicción. La agencia toma un enfoque científico para asesorar cada producto, y no hace ninguna generalización sobre la seguridad de los productos.

RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA, LEGISLACIÓN, NORMAS Y LEYES (SALUD Y MEDIO AMBIENTE)

²¹ José Luis Carrillo Aguado. Cómo es la Nanotecnología según la FDA. [periodistasenlinea.org](http://www.periodistasenlinea.org). Recuperado de http://www.periodistasenlinea.org/modules.php?op=modload&name=News&_le=article&sid=23516

La nanotecnología se podría calificar como la ciencia que revolucionó el siglo 21. Se han invertido miles de millones de dólares en financiar proyectos de educación, investigación y desarrollo de nuevos materiales. Sin embargo, en el campo del medio ambiente y socioeconómico no existe mucha información disponible. Si bien es cierto que hay mucha expectativa alrededor de los posibles beneficios, los riesgos aún son desconocidos, cada material tiene su propio conjunto de riesgos por esto es necesario investigar más en la toxicología.

NANOBIOÉTICA, NANOBIOPOLÍTICA Y NANOTECNOLOGÍA

Debido a los avances logrados en el campo de la nanotecnología en los últimos 30 años, es importante evaluar el efecto de la misma en el medio ambiente, tras la discusión sobre los beneficios como la mejora de la calidad de vida del hombre y el medio ambiente, se encuentran aspectos éticos y morales relacionados con la vida y la muerte, que llevan a analizar las posibles consecuencias de la investigación en el campo de la nanotecnología. Se cree que los avances de la nanotecnología también traerán consecuencias sobre todos los organismos habitantes de la tierra en casos como:²²

1. Criogenia: congelación y/o preservación de un cuerpo con el fin de resucitarlo en el futuro.
2. Código genético: manipulación del ADN con el fin de crear clones; microorganismos letales; inserción de dispositivos bioelectrónicos para medir actividades metabólicas y transmitir la información a hospitales o compañías de seguros sin que las personas lo sepan.
3. Aplicaciones militares o nanoterrorismo: crear nanobots que sean capaces de atacar poblaciones objetivo.
4. Nanocomputación: la computación molecular y cuántica podría violar cualquier sistema de cómputo o de seguridad a nivel mundial, generar ciberterrorismo.

²² Marquez, J. (2008). Nanobioética, nanobio-política y nanotecnología. Revista Salud Uninorte. 24 (1), 140-157. Recuperado de <http://rciencias.uninorte.edu.co/index.php/salud/article/view/3824/2435>

5. Desarrollo nanoescalar: surgen preguntar del efecto de las nano partículas en el medio ambiente, cómo medir estos efectos, cuáles serán los impactos sociales y éticos.

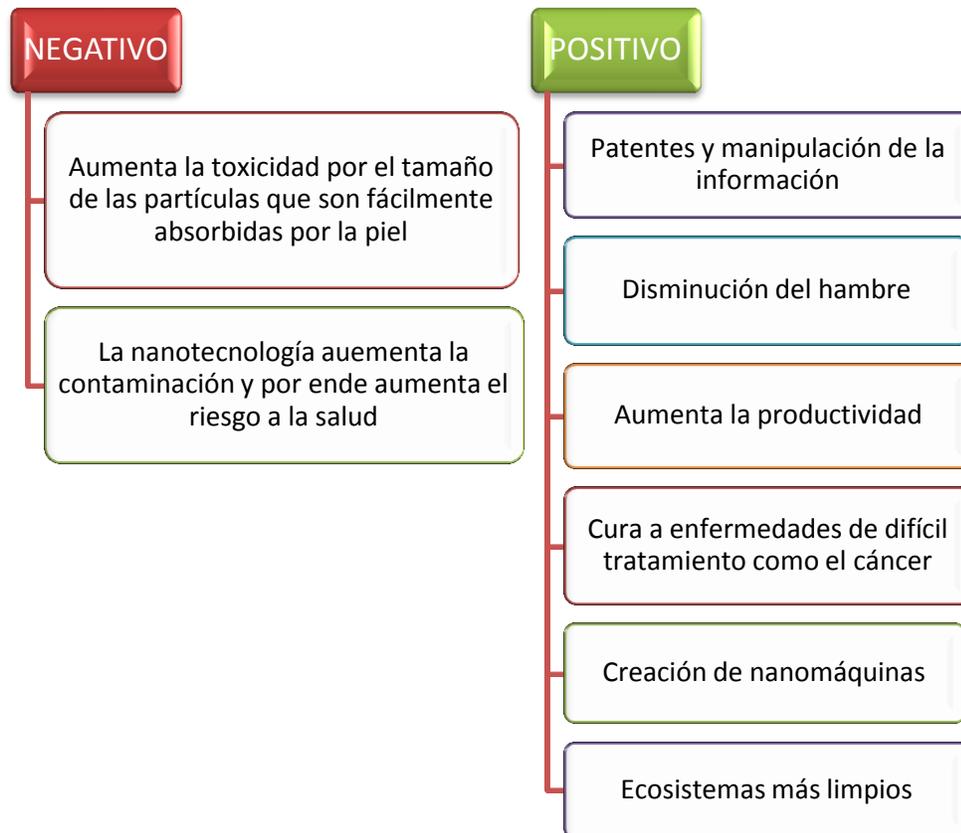
EFECTOS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL MEDIO AMBIENTE Y EN LA SALUD

Impacto de la nanotecnología en el medio ambiente y la salud

- SALUD
 - La inhalación frecuente de nano partículas podría causar cáncer de pulmón.
 - El contacto de la piel con nanopartículas podría ocasionar alergias en la piel.
 - Sistema digestivo: por su capacidad de absorción puede asimilar nanopartículas que son nocivas.
- MEDIO AMBIENTE
 - Las sustancias nanoscópicas arrojadas al medio ambiente, puede ser ingeridas o inhaladas y bioacumuladas a través de redes alimenticias.
 - Otro factor de riesgo es la liberación de nanopartículas por fábricas y laboratorios de investigación en sistemas de drenaje y en los suelos.
 - Empresas que producen nanopartículas en polvo podrían liberarlas al medio ambiente.

BALANZA DE IMPACTO

A continuación se observa un cuadro comparativo de los impactos positivos y negativos que tiene el uso de la nanotecnología en las diversas ramas de investigación.



✚ NANOTECNOLOGÍA, SALUD Y BIOÉTICA²³

No está del todo claro a qué nos referimos exactamente cuando hablamos de nanotecnología. La nanotecnología no es una realidad singular, claramente delimitable. Esta noción agrupa más bien un variado y heterogéneo conglomerado de programas de investigación y de innovaciones. Aunque por motivos estilísticos en estas páginas hablaremos indistintamente en singular o plural de nuestro objeto de análisis, ya se reconoce ampliamente que “nanotecnología” es un término que contiene cierta vaguedad, que se convierte a menudo en una cómoda etiqueta, una “palabra comodín” para sustituir a otros términos más precisos a la hora de referirse a las investigaciones en marcha. En ocasiones se abusa de ella para elaborar discursos tan amplios que resultan poco menos que vacíos, maniobras retóricas para predisponer favorablemente a la opinión pública con respecto a proyectos de muy distinto género, vehículos para la

²³ José Manuel de Cózar Escalante. Universidad de la Laguna (Tenerife). PREMIO “Junta general del principado de Asturias-sociedad internacional de bioética (SIBI)” 2º10.

obtención de fondos de investigación y capital de riesgo y, en fin, otra serie de objetivos que en poco tienen el rigor terminológico (Berube 2006).

Es innegable que hay algunos rasgos comunes en la investigación y producción de cualquier objeto o proceso nanotecnológico así como unas características básicas en lo que se refiere a sus efectos en la innovación (tecnología de propósito general, posibilitadora, disruptiva, convergente, etc.). Ahora bien, tales características poseen una utilidad limitada a la hora de ponerse de acuerdo sobre una definición precisa de “nanotecnología”:

¿Simplemente la escala a la que se opera? ¿Se requiere, como insistía el gurú Eric Drexler, algún tipo de máquinas ensambladoras a nivel molecular que se replicaran a sí mismas?²⁴

De modo que el panorama es confuso, sobre todo –claro está– para el no experto. Sostendremos en el siguiente capítulo que lo mejor es concentrarse en nanotecnologías concretas, trazando su alcance y límites de la manera más precisa posible... aunque sin perder de vista la panorámica general, es decir, el conjunto de grandes cuestiones que definen por dónde se encamina la investigación nanotecnológica, hacia dónde se dirige la sociedad; y por supuesto: si ese camino nos parece o no acertado.

Como en tantas otras cuestiones definicionales que afectan a campos nuevos de la ciencia, de la tecnología y de la reflexión crítica sobre las mismas, los términos recientemente acuñados de “nanoética” (“nanoethics”) y “nanobioética” (“nanobioethics”) se prestan a una prolongada discusión conceptual, resistiéndose a ser aclarados a satisfacción de todos. Varios son los peligros que presenta el contentarse con una nueva etiqueta terminológica, que pueda simplificar en exceso un conjunto muy numeroso y heterogéneo de investigaciones, aplicaciones y problemas ético-sociales. Aun así, el valor de la nanobioética es el de apuntar a fenómenos que se están produciendo en este preciso instante, lejos de la atención de muchos expertos del pensamiento ético y social, por no mencionar al público en general. Bajo esta óptica, la determinación de si los temas éticos que rodean la nanotecnología son “genuinamente” nuevos o si bien ya resultan más o menos familiares no es algo en lo que debieran emplearse todas nuestras energías. En su lugar, haríamos mejor en concentrarnos en identificar las cuestiones éticas

²⁴ Como se ha indicado, los nanotecnólogos recurren a una serie de métodos para obtener los nanomateriales con las características deseadas. Se mejora así el rendimiento de muchos materiales y dispositivos ya existentes. Ahora bien, en sus inicios, se pensó que las mejoras metodológicas aportadas por la nanotecnología, más que graduales (o “evolutivas”), serían verdaderamente “revolucionarias”, de la mano de una especie de nanomáquinas que hicieran el trabajo de ensamblado por nosotros, o popularmente, de unos “nanorobots” auto-replicantes. Un clásico de este enfoque revolucionario es la obra seminal *Engines of Creation* (Drexler 1986).

a medida que vayan surgiendo para así estar en condiciones más favorables de abordarlas adecuadamente y en una fase temprana (de Cózar 2009b, van de Poel 2008).

En un extenso informe de un grupo de trabajo financiado por la Unión Europea (“framing nano”) sus autores realizaron un interesante recorrido por los principales aspectos regulativos de las nanotecnologías a nivel mundial, aunque con especial énfasis en Europa. Varias de sus conclusiones sirven perfectamente como cierre de este capítulo (Mantovani, Porcari, Meili&Widmer 2009).

La preocupación por los efectos potencialmente dañinos de productos relacionados con la nanotecnología se centra esencialmente en los nanomateriales manufacturados, pero no existe ninguna regulación específica para realizar una evaluación de riesgo de tales productos. La actitud general es la de emplear regulaciones ya existentes, bien sea REACH (siglas en inglés por “Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos”) en Europa, aprobado en 2007, bien la TSCA (Toxic Substances Control Act o Ley de control de sustancias tóxicas) en los Estados Unidos, siguiendo, eso sí, un enfoque que podría caracterizarse como “precautorio”. A pesar de ello, las lagunas en el conocimiento científico han desafiado la fiabilidad de esas medidas. Junto con la diversidad de materiales y aplicaciones, la ausencia de datos de caracterización, la falta de la normalización de la nomenclatura y de la métrica, la necesidad de más conocimientos sobre los impactos en la salud y en el medio ambiente, todo ello pone en cuestión el desarrollo responsable de tales tecnologías. Además de la necesidad de enfrentarse a estos problemas, las implicaciones de las nanotecnologías respecto a las cuestiones éticas, legales y sociales (ELSI) se consideran un asunto crucial que debe ser tenido en cuenta para una apropiada gobernanza de las nanotecnologías. El hecho de que productos relacionados con lo nano estén entrando en el mercado en número creciente torna urgente la solución de estos problemas.

Durante el año 2009, el Parlamento Europeo asistió a una serie de debates complicados sobre la regulación de las nanotecnologías. Algunos de sus miembros enarbolaron el eslogan “no data, no market” (“sin datos no hay mercado”) para aplicarlo a la situación de las nanotecnologías en la Unión Europea. A instancias de un verde sueco, se pedía que los productos que contengan nanotecnología y que ya se encuentran en el mercado fueran retirados hasta que se evaluara su seguridad. Una red de organizaciones ecologistas, el European Environmental Bureau, saludó esta iniciativa como una victoria en el debate sobre la legislación de los desarrollos de la nanociencia. Poco antes se habían pedido aclaraciones definicionales, el etiquetado y la realización de evaluaciones específicas de riesgo para alimentos que contuvieran ingredientes nanos. Esto hacía que el Parlamento

adoptara una postura en abierto desacuerdo con las sugerencias de la Comisión, que como hemos visto considera que en principio la legislación existente puede cubrir los nuevos casos suscitados por los nanomateriales. Todo esto pone de manifiesto que la regulación de la nanotecnología no es en modo alguno tarea sencilla, y que se requiere colocarla en un contexto más amplio, el de la responsabilidad de los expertos y la gobernanza de la ciencia y la tecnología en las sociedades actuales (un tema que retomaremos en las conclusiones con las que se cierra este trabajo).

Las nanotecnologías pueden desempeñar un papel relevante en la mejora del entorno, pero por suerte o por desgracia necesitaremos mucho más que medidas tecnológicas para arreglar una situación ambiental que se ha convertido en auténtica crisis ecológica global. Por mucho éxito que tengan tomadas de una en una en la mejora de la eficiencia, las aplicaciones nanotecnológicas en su conjunto no necesariamente reducirán la gravedad o extensión el problema ambiental. Hay que situarlas en el contexto de una discusión incómoda tal vez, pero necesaria: el debate en profundidad sobre los cambios que tendremos que hacer en nuestro estilo de vida ya sean restricciones voluntarias del consumo, busca de gratificación en actividades no derrochadoras, etc. El debate tampoco puede pasar por alto las relaciones de poder en materia ambiental, esto es, cómo unos disfrutan de los beneficios económicos y materiales mientras otros se llevan la basura. Se trata, en fin, de una cuestión de justicia ambiental. En otras palabras: se precisa una verdadera ética de la evaluación de las nanotecnologías ambientales, como de cualquier otra tecnología aplicada al medio ambiente.

Por otra parte, la nanotecnología desafía nuestras convicciones sobre lo natural y lo artificial, y nos conduce a la necesidad de reflexionar sobre el estatus moral de seres híbridos en tanto contengan elementos naturales y artificiales —por no mencionar las nuevas formas de vida creadas por una tecnología convergente, la biología sintética—, y sobre la irreversibilidad de unos cambios que alteren el curso de la evolución.

Para concluir, imaginemos un futuro donde las tecnologías estén más allá de toda esperanza de ser controladas, imaginemos una crisis ecológica devastadoramente amplia y profunda, que ponga en peligro lo que llamamos “civilización”. Los ejemplos son innumerables: todos hemos visto producciones cinematográficas, leído relatos o jugado a juegos de ordenador donde los logros humanos son apenas un recuerdo remoto del pasado. Incluso así, es probable que la humanidad sobreviviera durante un considerable período de tiempo. Después de todo, nuestra especie es “dura de pelar”, como ha demostrado por medio de su historia evolutiva. Pero deberíamos preguntarnos acto

seguido: ¿a qué precio esa supervivencia? ¿A costa de qué o de quiénes? ¿En qué condiciones? ¿Con qué pérdidas?

La aplicación de las nanotecnologías a los problemas de la salud es un área clave de desarrollo nanotecnológico en la actualidad, al que se destinan cuantiosos fondos y otros recursos de investigación y desarrollo tecnológico. La prevalencia y gravedad de enfermedades ligadas al desarrollo económico y el aumento de la esperanza de vida, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, unidas a otras fruto de la obesidad y de estilos de vida poco saludables, encuentra su opuesto en la persistencia en los países pobres de dolencias hace tiempo erradicadas en los países ricos pero que continúan devastando la salud de los que menos tienen.

Las expectativas depositadas en la nanomedicina, y todavía más en su uso combinado con las biotecnologías y la biología sintética, son grandes, ya que se persigue un alto control de los mecanismos y sistemas de los seres vivos, con la capacidad de modificarlos y regularlos según los fines deseados. En el caso de la salud humana, las promesas que guían las investigaciones son las de obtener diagnósticos más sencillos de realizar, rápidos y precisos, así como fármacos y modalidades terapéuticas más eficaces, no invasivas y con menores efectos secundarios. Los nanobiosensores se podrán emplear para diagnosticar y controlar los parámetros de los pacientes, de manera que se les ofrezcan diagnósticos precoces y tratamientos personalizados. A ello hay que añadir los usos de la nanotecnología para prótesis mejoradas y regeneración de tejidos y órganos dañados. Todos estos avances contribuirían sin duda a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de los países desarrollados, y si se obtienen innovaciones de bajo coste, también la de los países con peor situación económica.

Lo que se conoce como nanomedicina y más en general el campo de las nuevas nanotecnologías biomédicas presenta una constelación de interrogantes bioéticos bastante heterogéneos. La evaluación de los mismos pasa por su clasificación previa de acuerdo a distintos criterios. Cuando menos deben tenerse en cuenta los siguientes:

- El plazo en el que estará disponible la innovación (corto, medio o largo)
- La viabilidad de la innovación que se está analizando (ya existente, viable, posible a largo plazo, mera visión futurista)
- La relación coste-efectividad (ya que repercute directamente en la asignación de recursos y las posibilidades de acceder de manera justa a las innovaciones)

- El grado de novedad del problema bioético planteado (ya conocido, conocido pero agravado por la irrupción de nuevas capacidades tecnológicas, completamente novedoso)
- Las interrelaciones entre las diversas tecnologías convergentes (nano + bio+ info+ cogno).

En general, todos los expertos parecen estar de acuerdo en que se requiere una coordinación mayor y una armonización urgente de los procedimientos reguladores en nanomedicina, a fin de facilitar la recolección de datos y de mejorar la claridad de las normas. Esto es crucial para mejorar el conocimiento sobre la seguridad de la nanomedicina, reducir una carga reguladora desproporcionada sobre las innovaciones en el sector y mejorar la accesibilidad a los productos nanomédicos. Por lo que se refiere a las patentes y los derechos de propiedad, los problemas suscitados por las nanotecnologías nanomédicas son similares a las de otras tecnologías emergentes, lo que significa que pueden intensificar tendencias actuales con un valor ético y social dudoso (privatización del conocimiento y falta de equidad en el acceso a los beneficios). Es preciso hacer un análisis comparativo cuidadoso de los sistemas de patentes a nivel mundial.

La controversia viene impulsada por el desarrollo de un impresionante conjunto de aplicaciones tecnológicas en la forma de nuevos materiales, nuevas sustancias, nuevos dispositivos. Tales posibilidades alientan ciertas visiones utópicas (y distópicas) del futuro humano. Algunas de esas visiones, y en todo caso, escenarios a corto plazo o más pegados a tierra, nos alertan de la plausibilidad de un conjunto de problemas éticos y sociales que a día de hoy se esbozan de manera incipiente. De modo que a fin de que la ética, por decirlo así, no llegue con retraso, vale la pena optar con prudencia y comenzar una reflexión y debate que nos permita, en su caso, preparar convenientemente la normativa y legislación que se requiera con tiempo suficiente (Allhoff et al. 2009). Como en tantos otros campos, sugerimos la gran utilidad, si no necesidad, de llevar a cabo una evaluación ética de las tecnologías en colaboración con quienes las desarrollan, una evaluación “en tiempo real” y continuada. Tal evaluación deberá dedicar una atención especial a preguntarse si las mejoras tecnológicas del cuerpo y de la mente contribuyen realmente a la consecución del ideal de vida buena.

✚ LA ÉTICA Y EL DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA²⁵

El desarrollo de la nano-tecnología ciertamente ha despertado entusiasmos entre los partidarios de un avance tecnológico sin ningún tipo de restricciones supuestamente “ajenas” al “avance” de las ciencias. Tal es el principio que toma por legítimos los avances tecnológicos a priori. Se aboga por el principio de precaución ante cualquier imposición de estas nuevas tecnologías, las cuales están muchas veces envueltas en compromisos comerciales, ajenos a la ética científica.

La nanotecnología se halla en una encrucijada. El surgimiento de un consenso relativo a su dirección, inocuidad, interés y financiación dependerá de cómo se definen y de quiénes vayan a ser, por consiguiente, las partes interesadas. Habida cuenta de que nuestro mundo es cada vez más tributario de la ciencia y la tecnología, y de que se da una creciente sensibilización del público a los peligros y posibilidades que ambas entrañan, se puede afirmar con seguridad que la participación de partes interesadas de toda índole va a “alcanzar” el centro medular del propio quehacer científico. Además, la gran atención y el interés entusiasta de que dan muestras grupos muy diversos –desde los poderes públicos hasta las organizaciones sin fines de lucro, y desde las empresas hasta las agrupaciones de militantes– van a exigir también una coordinación concertada. Es obvio que ya son suficientemente numerosas las personas que desean actuar en este ámbito y que está disminuyendo la necesidad de crear nuevas instituciones, organismos o grupos distintos, mientras que se hace cada vez más apremiante la tarea de reforzar los que ya existen.²⁶

²⁵ Hugh Lacey Swarthmore College/Universidade de São Paulo Traducción del inglés: Luis Alvarenga Departamento de Filosofía, UCA, San Salvador

²⁶ Tomado de la página web: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951s.pdf>