

**MONITOREO AUTOMÁTICO PARA EL SEGUIMIENTO DE
CULTIVOS BACTERIANOS SEGUNDA PARTE**



**OSCAR JAVIER VELANDIA CABALLERO
PEDRO PABLO DURÁN BAUTISTA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

**MONITOREO AUTOMÁTICO PARA EL SEGUIMIENTO DE
CULTIVOS BACTERIANOS SEGUNDA PARTE**

**OSCAR JAVIER VELANDIA CABALLERO
PEDRO PABLO DURÁN BAUTISTA**

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

**Director
NIDIA QUINTERO PEÑA
Ingeniera Electrónica, MS.c**

**Codirector
RODRIGO CORREA CELI
Ingeniero Químico, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

Agradezco a mi esposa Andrea del Pilar, a mi hija Isabel Sofía, por ellas tuve fuerza e inspiración para lograr a término este nuevo proyecto de vida. También agradezco a mi madre Amparo Caballero, Hermanos Omar Velandia y Olga Velandia, a mis familiares Tíos y Amigos, a todas las personas que hicieron parte de mi educación y guía en todo este camino por la universidad. Agradezco a mis directores por dejarme ser parte de la elaboración de este libro y por su tiempo y dedicación para la orientación del mismo.

Oscar Javier Velandia Caballero

Agradezco a Dios, a mi padre Pedro Pablo Durán Becerra, a mi madre Luz Marina Bautista, a mis hermanos William Giovanni Durán y Zayda Viviana Durán, a Viviana Alvarez y compañeros de estudio, quienes me motivaron e impulsaron a conseguir el objetivo y a mis directores de proyecto por ser guías constantes en el desarrollo de este libro.

Pedro Pablo Durán Bautista

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	17
1.1. CONCEPTO Y EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO BACTERIANO.....	19
1.2. EFECTO DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE EL CRECIMIENTO.	21
1.3. DETECCIÓN Y MEDIDA DEL CRECIMIENTO.....	22
1.3.1. Recuento de viables.	22
1.3.2. Método turbidimétrico.	23
1.3.2.1. Ley de Lambert-Beer.	23
1.3.3. Recuento directo.	24
1.3.4. Medida del número de partículas.	24
1.3.5. Medida de parámetros bioquímicos.	25
1.3.6. Medida de actividad metabólica.	25
1.3.7. Films secos (Petrifilm).	25
1.3.8. Método del número más probable.	25
1.4. CICLO DE CRECIMIENTO DE POBLACIONES.....	26
1.4.1. Fase lag o de adaptación.....	26
1.4.2. Fase exponencial o logarítmica.....	26

1.4.3.	Fase estacionaria.	26
1.4.4.	Fase de muerte.	28
1.5.	BACTERIAS EN PRESENCIA DE UN CAMPO ELÉCTRICO.	28
1.6.	SACCHAROMYCES CEREVISIAE (LEVADURA).	29
1.7.	DETECCIÓN DE UN OBJETO UTILIZANDO CAMPO ELÉCTRICO.	31
1.8.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO ELECTRÓNICO FUNCIONAL.	32
1.8.1.	Rangos de trabajo.	33
2.	DISEÑO DE ELECTRODOS PARA LA DETECCIÓN DE CULTIVOS BACTERIANOS.	34
2.1.	ASPECTOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE ELECTRODOS.	34
2.1.1.	Dimensionar el área de trabajo del electrodo.	34
2.1.2.	Recubrimiento del electrodo.	35
2.1.3.	Apantallamiento de los electrodos y cables.	36
2.1.4.	Curva característica del equipo.	37
2.1.5.	Conexiones del equipo con los electrodos.	38
2.2.	CÁLCULO TEÓRICO DE LA CAPACITANCIA DEL ELECTRODO TIPO FEF (FRINGIN – ELECTRIC - FIELD).	39
2.2.1.	Electrodo tipo FEF ya implementado.	41
2.2.2.	Cálculo valor teórico de la capacitancia.	41

2.3. DISEÑO DE DIFERENTES MODELOS DE ELECTRODOS	46
2.3.1. Electrodo CEPILLO CIRCULAR 47[mm].	46
2.3.2. Electrodo SNAKE_OP 47[mm].	48
2.3.3. Electrodo ESPIRAL.	51
2.3.4. Electrodo FEF CIRCULAR.	53
2.3.5. Electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.	54
2.4. TENSIÓN CON LAS DIFERENTES CAJAS DE PETRI.....	59
2.5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELECTRODOS SNAKE_OP 47 Y 40 [MM], CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP Y SNAKE_OP RING EN EL TIEMPO CON SALIDA AMPLIFICADA.....	61
3.1. COMPONENTES	63
3.1.1. Componente hardware.....	63
3.1.2. Componente software.....	64
3.1.2.1. Software del computador.	64
3.1.2.2. Interfaz de Usuario.	68
4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	80
4.1. PREPARACIÓN Y DETECCIÓN DEL CULTIVO BACTERIANO	80
4.1.1. Prueba No. 1.....	80
4.1.2. Prueba No. 2.....	82
4.2. ESTUDIOS DE LA SACCHAROMYCES CEREVISIAE [6]	85

5. CONCLUSIONES	87
6. RECOMENDACIONES.....	88
CITAS.....	89
BIBLIOGRAFIA.....	91
ANEXOS.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Ciclo de crecimiento bacteriano.	27
Figura No. 2. Cepa de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
Figura No. 3. Modelo de detección.....	31
Figura No. 4. Medidas Cajas de Petri.	35
Figura No. 5. Apantallamiento del electrodo.	36
Figura No. 6. Apantallamiento del cable que conecta los electrodos con el equipo.....	37
Figura No. 7. Curva característica del modelo electrónico funcional.....	38
Figura No. 8. Cable conector blindado de dos hilos calibre 4mm.	39
Figura No. 9. Sección de un electrodo FEF con diferentes valores de profundidad de penetración	40
Figura No. 10. Electrodo FEF o Cepillo cuadrado de 30x20[mm].....	41
Figura No. 11. Ampliación de la esquina superior derecha.	42
Figura No. 12. Cálculo de Capacitancia entre franjas.....	43
Figura No. 13. Tensión experimental entregada por el equipo.	45
Figura No. 14. Electrodo Cepillo o FEF circular de radio 47[mm]	46
Figura No. 15. Área superior acotada.	47
Figura No. 16. Valor de tensión medido con el equipo al primer diseño de electrodo.....	48
Figura No. 17. Electrodo SNAKE_OP de radio 47[mm].....	49
Figura No. 18. Nivel de tensión entregado por el equipo.	50
Figura No. 19. Electrodo SNAKE_OP de radio 40[mm].....	50
Figura No. 20. Nivel de tensión del segundo diseño parte II.....	51
Figura No. 21. Electrodo “Espiral”	52
Figura No. 22. Nivel de voltaje Electrodo “ESPIRAL”	52
Figura No. 23. Electrodo FEF circular.....	53
Figura No. 24. Nivel de tensión. Electrodo FEF CIRCULAR.	54
Figura No. 25. Electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.....	55

Figura No. 26. Recorte centro del electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.	56
Figura No. 27. Nivel de tensión electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.	57
Figura No. 28. Electrodo SNAKE_OP RING.....	58
Figura No. 29. Nivel de DC Séptimo diseño.	58
Figura No. 30. Análisis del comportamiento de los electrodos.	62
Figura No. 31. Diagrama de flujo Ventana Presentación	65
Figura No. 32. Diagrama de flujo de la Ventana Consola	66
Figura No. 33. Diagrama de Flujo del Módulo Electrodo.....	67
Figura No. 34. Interfaz de usuario	68
Figura No. 35. Ventana de Consola	69
Figura No. 36. Activación de Electrodo.....	70
Figura No. 37. Botones de control	71
Figura No. 38. Interfaz gráfica en ejecución.....	71
Figura No. 39. Selección del tiempo de muestreo	72
Figura No. 40. Crear archivo para guardar datos	73
Figura No. 41. Opción de Descarga de datos.....	73
Figura No. 42. Archivo creado en Excel.....	74
Figura No. 43. Graficas obtenidas.....	74
Figura No. 44. Opción de Manual de Usuario	75
Figura No. 45. Ventana de Créditos de la Aplicación	75
Figura No. 46. Ventana de acceso a Configuración.....	76
Figura No. 47. Ventana de Configuración para ajuste del nivel de tensión de los electrodos	77
Figura No. 48. Ventana de Configuración con niveles de tensión ajustados.....	77
Figura No. 49. Electrodo activo con niveles de tensión ajustados.....	78
Figura No. 50. Consola después de oprimir BOTON APAGAR.....	79
Figura No. 51. Cultivos en Cajas de Petri.....	81
Figura No. 52. Imagen gráfica de la detección del equipo en sus electrodos con cajas de Petri preparadas.....	82
Figura No. 53. Conexión de los electrodos al equipo.	83

Figura No. 54. Gráfica de la detección del equipo en sus electrodos con cajas de Petri preparadas.	84
Figura No. 55. Curvas de crecimiento de <i>Saccharomyces boulardii</i>	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1. Niveles de Tensión, electrodos con caja de Petri.	59
Tabla No. 2. Niveles de Tensión, electrodos con caja de Petri más 30 ml de agua.	60
Tabla No. 3. Diferentes tipos de soluciones para ser detectadas.	83

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Valor capacitancia electrodo tipo fef.....	92
Anexo B. Valor capacitancia electrodo cepillo o fef.....	93
Anexo C. Valor capacitancia electrodo snake_op.....	94
Anexo D. Capacitancia electrodo circular cepillo snake_op.....	97
Anexo E. Comportamiento de cuatro tipos de electrodos.....	98
Anexo F. Datos leídos prueba No. 1.....	99
Anexo G. Manual de usuario.....	103
G 1. Hardware.....	103
G 2. Requerimientos del equipo.....	104
G 3. Creación conexión bluetooth.....	110
G 4. Inicio del aplicativo.....	114
G 5. Consola de trabajo.....	116

RESUMEN

TÍTULO: MONITOREO AUTOMÁTICO PARA EL SEGUIMIENTO DE CULTIVOS BACTERIANOS SEGUNDA PARTE*.

AUTORES: OSCAR JAVIER VELANDIA CABALLERO.
PEDRO PABLO DURÁN BAUTISTA.**

PALABRAS CLAVE: Medición por Campo Eléctrico, Crecimiento de cultivos bacterianos, Velocidad de crecimiento.

CONTENIDO: Este trabajo presenta una segunda parte, de un sistema capaz de detectar la evolución de un cultivo bacteriano, usando la tecnología de medición por campo eléctrico. El sistema incluye el diseño de ocho (08) electrodos de medición y el software necesario para su funcionamiento.

El objetivo diseñar e implementar un sistema prototipo que basado en la interacción de un campo eléctrico (generado por el equipo ya implementado en trabajos anteriores) con los objetos y el medio, permita la medición de parámetros asociados con la presencia de crecimiento bacteriano. El sistema a construir estará basado en la tecnología desarrollada en trabajos anteriores.

Después de plantear el problema, se realiza un estudio de la teoría relacionada con el crecimiento de cultivos bacterianos y el principio de funcionamiento de la medición por campo eléctrico, diseñando siete (07) diferentes tipos de electrodos con su posterior cálculo y así mediante un análisis teórico-práctico establecer el diseño adecuado para la medición de cultivos bacterianos.

En el Capítulo 3, se presenta una descripción del software necesario para la lectura multiplexada de los ocho (08) electrodos junto a la interfaz de usuario que es la encargada de ejecutar, almacenar y presentar en forma gráfica la lectura de datos realizada por los electrodos. Adicional a esto, se presenta la configuración en la programación del micro-controlador del prototipo ya implementado. Finalmente, se evidencian los resultados de las correctas mediciones por medio de pruebas preliminares las cuales ilustran todas las nuevas bondades del equipo. Capítulo 4. Las conclusiones, recomendaciones y manual del usuario son presentadas en el Capítulo 5.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: NIDIA QUINTERO PEÑA, Msc. Codirector: Ph.D. Carlos Rodrigo Correa Cely.

ABSTRACT

TITLE: AUTOMATIC MONITORING FOR TRACING BACTERIAL CROPS*.

AUTHOR: OSCAR JAVIER VELANDIA CABALLERO.
PEDRO PABLO DURÁN BAUTISTA.**

KEY WORDS: Electric field measurement, Growth of bacterial crops, Growth rate.

CONTENTS: This paper presents a system able to detect the evolution of a bacterial culture, using technology electric field measurement. The system includes a data acquisition card, eight (08) measurement electrodes and the necessary software to operate.

This degree work is intended to design and implement a system to prototype based on the interaction of an electric field (generated by the system) with objects and the environment, allows the measurement of parameters associated with the presence of these objects. The build system will be based on technology developed by Motorola.

After stating the problem, a study of the theory related to the growth of bacterial cultures and the operating principle of measuring electric field designing seven different types of electrodes with subsequent calculation and thus by a theoretical and practical analysis is performed to establish suitable design for measuring bacterial cultures.

In Chapter 3, a description of the software needed to read the multiplexed eight (08) electrodes with UI that is entrusted, store and graphically present data read by the electrodes occurs. In addition to this, the configuration in programming the micro-controller prototipo2 already implemented. Finally, the results of the measurements are evident right through preliminary tests which illustrate all the new benefits team, Chapter 4. The conclusions, recommendations and user manual are presented in Chapter 5.

* Degree Work

** Physical-Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering School. Advisor: PhD. Rodrigo Correa.

INTRODUCCIÓN

Gracias a los trabajos realizados en la Universidad Industrial de Santander (Colombia), (investigaciones que se tratarán a lo largo de este trabajo de grado) y al conocimiento adquirido sobre el campo electromagnético y su relación con los objetos y el ambiente en que se encuentran, se logró profundizar en la adaptación de un sistema, que aprovechando las características de los campos eléctricos, puede detectar los cambios en el aumento de bacterias en un rango de tiempo.

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo general, incrementar la funcionalidad del equipo construido en trabajos de grado anteriores, con el fin de mejorar su potencialidad de lectura para el uso simultaneo en varias muestras de cultivos bacterianos y el almacenamiento masivo de los resultados experimentales.

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Diseñar e implementar los electrodos (ocho) con los que se realizarán las pruebas.
- Crear el software necesario para la lectura multiplexada de las ocho (8) muestras adicionales, almacenando la información para su posterior análisis.
- Realizar pruebas preliminares que demuestren todas las nuevas bondades del equipo.

Para alcanzar los objetivos específicos descritos, el documento inicia con una introducción hacia el análisis de la medición del crecimiento de las bacterias y las técnicas de medición empleadas, es decir, la detección mediante el uso de un campo eléctrico, seguido de su respectivo software el cual permite analizar las medidas adquiridas.

Se hizo un enfoque en el conocimiento de la máquina ya implementada [8], la cual tiene como finalidad la lectura y almacenamiento de datos por medio del uso de electrodos que generan campos eléctricos y hacen que el sensor sea capaz de ver una variación de señal con ayuda de una etapa de amplificación, la cual permite visualización y posterior registro de los datos a una interfaz de usuario implementada en software.

El punto de partida, en cuanto a establecer las formas y procedimientos para una adecuada medición de un electrodo, fue el objeto a detectar, forma y tamaño. A través de los cuales, los parámetros que se tuvieron en cuenta influyen con el material en el que fueron contruidos, sus dimensiones y la forma que poseen. El software fue elaborado con la herramienta guide de Matlab y en la realización de las pruebas se utilizó la bacteria *Saccharomyces cerevisiae*, conocida como la levadura del pan, del vino y de la cerveza, ya que esta presenta un crecimiento rápido y significativo.

1. CONCEPTOS DE VARIACIÓN DE CULTIVOS BACTERIANOS Y DETECCIÓN DE UN OBJETO UTILIZANDO CAMPO ELÉCTRICO.

1.1. CONCEPTO Y EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO BACTERIANO.

Se entiende por crecimiento bacteriano al aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo. Por tanto, no se refiere al crecimiento de un único microorganismo sino al demográfico de una población. El estudio que se realizó en este proyecto, fue para analizar la detección de una población bacteriana. [2]

Las bacterias crecen siguiendo una progresión geométrica en la que el número de individuos se duplica al cabo de un tiempo determinado denominado **tiempo de generación** ($\hat{\delta}$). De esta forma, se puede calcular el número de bacterias (N) al cabo de un número de generaciones (n) usando la ecuación No. 1.

$$N = N_0 * 2^n$$

Ecuación No.1. Cálculo del número de bacterias.

Siendo N_0 el número de células en el momento actual. El número de generaciones se puede calcular de la siguiente forma:

$$n = \frac{t}{\hat{\delta}}$$

Ecuación No. 2. Número de generaciones.

Donde t es el tiempo transcurrido.

Los tiempos de generación de bacterias creciendo en ambientes favorables pueden ser muy cortos (valores de \hat{o} de 20 min). Esto lleva a que una única célula ($N_0 = 1$) creciendo con un $\hat{o} = 20$ min, llegue a producir 4.7×10^{21} células en 24 horas.

Si la bacteria crece en un medio líquido, las células que se producen en cada división continúan su vida, independientemente, en la mayoría de los casos formando una suspensión de células libres.

Cuando una célula aislada comienza a crecer sobre un substrato sólido, el resultado del crecimiento al cabo del tiempo es una colonia. Se denomina unidad formadora de colonia (UFC) a una célula viva y aislada que se encuentra en un substrato y en condiciones ambientales adecuadas y produce una colonia en un breve lapso de tiempo.

Una UFC también puede corresponder a más de una célula cuando éstas forman parte de grupos unidos fuertemente (estreptococos o diplococos, por ejemplo) ya que cada grupo formará una sola colonia.

Cuando algunos tipos de bacterias o de levaduras patógenas crecen sobre superficies forman biopelículas (biofilms) en los que las células se asocian entre sí mediante capas de polisacáridos que forman una película que recubre la superficie sobre la que se encuentran las células.

1.2. EFECTO DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE EL CRECIMIENTO.

Entendiendo la influencia medio ambiental sobre los microorganismos se explica cómo se distribuyen, métodos de control y cual condición ambiental es más benéfica para uno u otro microorganismo. Los factores más importantes son: Temperatura, pH, Disponibilidad del agua y oxígeno.

Temperatura: Cada microorganismo es capaz de crecer solamente entre un rango específico de temperaturas. Puede ser estrecho para patógenos, ejemplo *Neisseria gonorrhoeae*.

Para cada microorganismo existe una temperatura mínima por debajo de la cual no existe crecimiento, una temperatura óptima, a la cual el crecimiento es lo más rápido posible y una temperatura máxima a la cual no existe crecimiento. La temperatura óptima siempre está más cerca de la máxima que de la mínima. Se denominan temperaturas cardinales, características de cada microorganismo y pueden variar ligeramente de acuerdo a la composición del medio de cultivo. Las temperaturas cardinales para un microorganismo difieren enormemente; algunos poseen temperaturas tan bajas como 5-10 °C y otros hasta 100 °C. El rango de temperaturas es mucho más amplio, desde puntos por debajo de la congelación del agua hasta 110 °C que es el caso de la Arquea *Pyrodictium brokii*. El rango habitual de crecimiento es de unos 30 °C, aunque no es constante para todos los microorganismos.

Disponibilidad de Agua: Las bacterias requieren la presencia de agua, en una forma disponible, para que puedan crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. [3]

1.3. DETECCIÓN Y MEDIDA DEL CRECIMIENTO.

Existen diferentes sistemas para detectar y medir el crecimiento de microorganismos; los principales son: recuento directo, medida de la masa de las células, recuento de viables, medida del número de partículas, medida de parámetros bioquímicos y medida de la actividad metabólica. [2]

Los métodos más utilizados son el recuento de viables en placa y el método turbidimétrico:

1.3.1. Recuento de viables. Consiste en la dilución de una muestra (con solución salina estéril, buffer fosfato, agua peptona) hasta que las bacterias se diluyan lo suficiente como para contar con precisión. Se siembra un volumen determinado de cultivo o muestra sobre el medio de cultivo sólido adecuado para estimar el número de viables contando el número de colonias que se forman puesto que cada una de estas deriva de una célula aislada. Las placas de final de la serie debe tienen entre 25 y 250 colonias (o entre 30 y 300 colonias). Menos de 25 las colonias no son aceptables por razones estadísticas, y más de 250 colonias en una placa es probable que produzcan colonias muy cerca unos de otros para ser distinguidos como distintas unidades formadoras de colonias (UFC).

En ciertas ocasiones en las que la densidad de microorganismos es demasiado baja, éstos se pueden recolectar por filtración a través de una membrana (de 0.2 μm de tamaño de poro) y posterior colocación de la membrana en un medio de cultivo adecuado para que se formen las colonias.

Las relaciones de dilución, pueden presentarse ya sea con dos puntos (:) o barras (/). Una barra indica la proporción de una parte a un conjunto, por ejemplo, 1 / 2 significa 1 de 2 partes, con un total de 2 partes. Dos puntos indican la proporción de 1 parte a 2 partes, con un total de 3 partes. Así, 1 / 2 es igual a 1:1, pero 1:2 es igual a 1 / 3.

1.3.2. Método turbidimétrico. El sistema se basa en que las células en suspensión dispersan la luz causando la turbidez del cultivo. La turbidez depende de la masa en suspensión y, por tanto, midiendo la masa esta se puede estimar la turbidez. Este es el parámetro de medida más fácil de usar en los cultivos de laboratorio. La densidad de células debe ser del orden de 10^5 por ml. Esta metodología se basa en la ley de Lambert-Beer.

1.3.2.1. Ley de Lambert-Beer. Hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia, así como también entre la transmisión y la longitud del cuerpo que la luz atraviesa. Si conocemos I_0 y I_1 , la concentración de la sustancia puede ser deducida a partir de la cantidad de luz transmitida.

La intensidad de la energía radiante transmitida I_1 es menor a la intensidad inicial I_0 debido precisamente a que la solución fue capaz de absorber cierta cantidad de energía radiante.

La linealidad de la ley de Beer-Lambert se ve limitada por factores químicos e instrumental:

- Desviaciones en los coeficientes de absorción a altas concentraciones ($> 0,01 \text{ M}$), debido a las interacciones electrostáticas entre las moléculas en las proximidades.
- Dispersión de la luz por partículas en la muestra.
- Fluorescencia o fosforescencia de la muestra.
- Los cambios en el índice de refracción a alta concentración del analito.

El lector de Micro placa permite realizar el seguimiento del crecimiento microbiano midiendo la turbidez del cultivo en los pocillos de una micro placa (200 ml de cultivo). La lectura de la densidad óptica del cultivo se realiza automáticamente en los tiempos indicados por el operador, durante todo el tiempo de incubación sin necesidad de tomar muestras a los tiempos correspondientes.

1.3.3. Recuento directo. Consiste en la observación al microscopio de volúmenes muy pequeños de suspensiones de bacterias. Se usan unos portaobjetos especiales denominados cámaras de Petroff-Hausser. Para que la medida sea correcta es necesario que la densidad de células sea del orden de 105 por ml.

1.3.4. Medida del número de partículas. Este método se basa en el uso de contadores electrónicos de partículas. Estos sistemas no indican, si las partículas corresponden a células vivas o muertas; pero pueden dar una idea del tamaño de las partículas.

- **CounterCoulter:** Permite rápidamente determinar el número de partículas presentes en una suspensión y la distribución de sus tamaños. No distingue entre células vivas y muertas ni entre células y agregados de material insoluble presente en la suspensión del cultivo.

1.3.5. Medida de parámetros bioquímicos. Tales como la cantidad de ADN, ARN, proteínas, peptidoglicano, etc. por unidad de volumen de cultivo.

1.3.6. Medida de actividad metabólica. Las bacterias como respiran producen una disminución del *potencial redox*^(*) del medio en que se encuentran como consecuencia del consumo de oxígeno (utilización de colorantes sensibles a oxidación-reducción tales como el azul de metileno).

1.3.7. Films secos (Petrifilm). Son películas deshidratadas de medios de cultivos generales o selectivos en las que se deposita 1 ml de la muestra que rehidrata el medio. Tras la incubación se hace el recuento.

1.3.8. Método del número más probable. Basado en series de diluciones y cálculo estadístico del número de bacterias presentes en las diluciones más altas. Se puede hacer con 3 ó 5 tubos. El método es popular aunque poco exacto.

Es empleado en la medida de parámetros bioquímicos tales como la cantidad de ADN, ARN, proteínas, peptidoglicano, etc. por unidad de volumen.

^(*) Potencial redox: es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno.

1.4. CICLO DE CRECIMIENTO DE POBLACIONES.

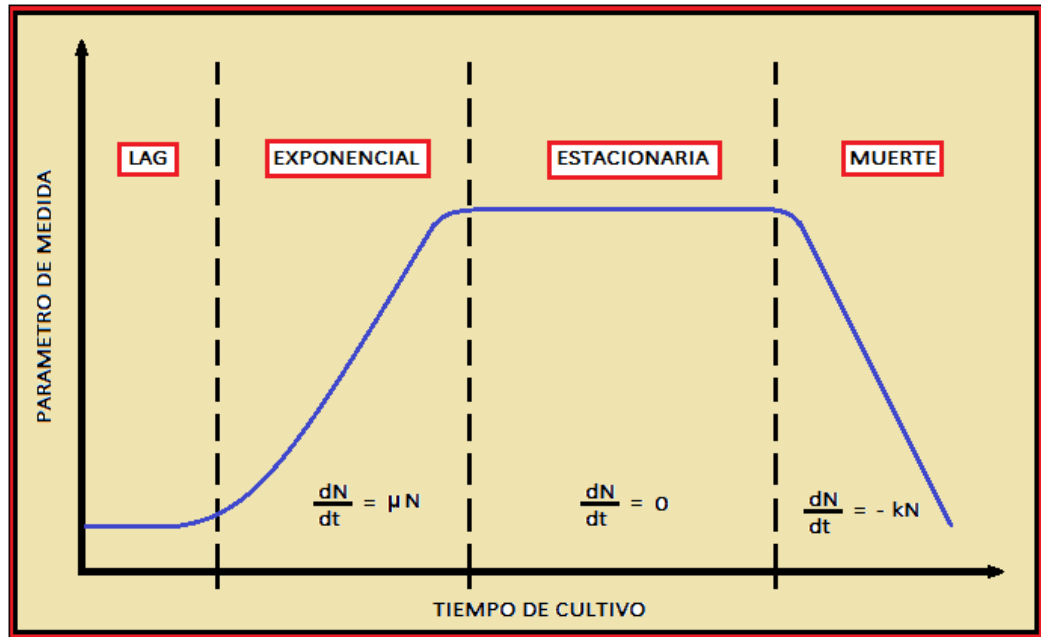
En un cultivo bacteriano en medio líquido, se pueden diferenciar cuatro fases en la evolución de los parámetros que miden el crecimiento microbiano (Ver Figura No. 1). [2]

1.4.1. Fase lag o de adaptación. Durante esta fase los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (de abundancia de nutrientes) para poder iniciar el crecimiento exponencial.

1.4.2. Fase exponencial o logarítmica. En ella la velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen los nutrientes del medio a velocidad máxima. La evolución del número de células durante esta fase se explica con el modelo matemático descrito anteriormente (Ecuación No. 1). Esta fase corresponde a la de infección y multiplicación dentro del organismo del agente infeccioso.

1.4.3. Fase estacionaria. En ella no se incrementa el número de bacterias (ni la masa u otros parámetros del cultivo). Las células en fase estacionaria desarrollan un metabolismo diferente al de la fase de exponencial y durante ella se produce una acumulación y liberación de metabolitos secundarios que pueden tener importancia en el curso de las infecciones o intoxicaciones producidas por bacterias.

Figura No. 1. Ciclo de crecimiento bacteriano.



Fuente: SALVUCCI, Emiliano. Seminario Crecimiento Microbiano. Argentina, 2009 adaptada por los autores

Los microorganismos entran en fase estacionaria bien porque se agota algún nutriente esencial del medio, porque los productos de desecho que han liberado durante la fase de crecimiento exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano o por la presencia de competidores u otras células que limiten su crecimiento.

La *fase estacionaria* tiene gran importancia porque probablemente represente con mayor fidelidad el estado metabólico real de los microorganismos en muchos ambientes naturales.

1.4.4. Fase de muerte. Se produce una reducción del número de bacterias viables del cultivo. Las fases, parámetros y cinética de crecimiento discutidas para el caso de los medios líquidos se presentan también en los sólidos. La cinética de crecimiento, en este caso, sólo se puede seguir utilizando unos sistemas de detección especiales siendo el más sencillo, la medida del número de células viables por unidad de superficie o por unidad de masa.

1.5. BACTERIAS EN PRESENCIA DE UN CAMPO ELÉCTRICO.

Los campos eléctricos son empleados en usos biotecnológicos, una de las aplicaciones en las que se hace un uso más extensivo es en los dispositivos conocidos como Lab-On-a-Chip. Estos dispositivos utilizan campos que van desde 1[Hz] hasta 1[GHz], y con intensidades de campo desde 0,1 V/cm a 1 KV/cm y se utilizan para actuar sobre las cargas celulares (electroforesis), polarización (dielectroforesis) o sobre el fluido circundante (electroósmosis) [4][5].

- **Electroforesis:** La electroforesis es el movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico. En el ámbito tecnológico, se define como una técnica para la separación de moléculas según la movilidad de estas en un campo eléctrico.
- **Dielectroforesis:** La dielectroforesis (DEP) es una herramienta muy valiosa para manipular y caracterizar suspensiones de células y células individuales en dispositivos microfluídicos.
- **Electroósmosis:** Flujo a través de medios porosos causado por diferencias de potencial eléctrico.

Un ejemplo del uso de campos eléctricos en bacterias, esta descrito en el artículo “*Study of mechanisms of electric field-induced ADN transfection*”^(*). En él se comentan los resultados previamente publicados, así como los obtenidos por la propia experimentación, utilizando amplitudes de campo entre 50 y 200 V/cm, a frecuencias de entre 0,1 Hz y 1 MHz. El autor reporta resultados de transfección con el 100% de supervivencia de las bacterias (*E.Coli*) [6].

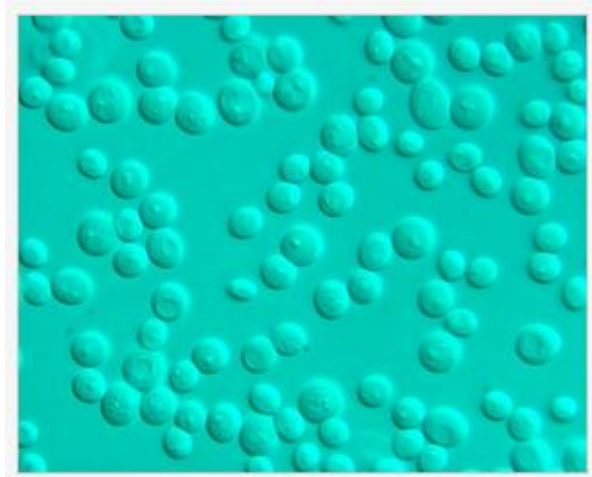
La respuesta de un sistema biológico a un campo eléctrico externo depende tanto de las propiedades eléctricas intrínsecas del sistema como de las características del campo externo y de las propiedades del medio en el cual tiene lugar el fenómeno.

1.6. SACCHAROMYCES CEREVISIAE (LEVADURA).

Conocida como la levadura del pan, del vino y de la cerveza, *Saccharomyces cerevisiae* (Figura No. 2), se ha convertido en un organismo clave para el estudio e investigación biotecnológica, ya que se ha convertido en la representación de un modelo biológico de organismos eucariotas.

^(*) T. D. Xie and T. Y. Tsong, “Study of mechanisms of electric field-induced DNA transfection. II. Transfection by low-amplitude, low-frequency alternating electric fields.” *Biophys. J.*, vol. 58, no. 4, pp. 897–903, Oct. 1990.

Figura No. 2. Cepa de *Saccharomyces cerevisiae*



Fuente: CARRASCOSA. Alfonso. Observación en fresco (levaduras vivas) por microscopía óptica por contraste Nomarsky de una cepa de *Saccharomyces cerevisiae*. Madrid, 2009 adaptada por los autores.

Esta bacteria fue seleccionada para este proyecto, por los siguientes factores:

- Fácil de obtener.
- La temperatura óptima de crecimiento para *Saccharomyces cerevisiae* está en torno a los 25 °C (temperatura ambiente)^(*).
- El tiempo de generación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es rápido, aproximadamente de 90 minutos^(**).

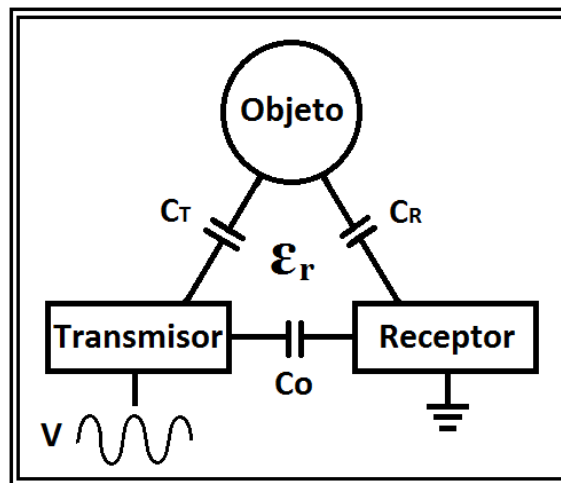
^(*) ACE, Revista de Enología. XXI Congreso Internacional del Cava, Josep Bujan. *Director técnico de Freixenet*. http://www.acenologia.com/noticia64_02.htm. Consulta en Septiembre 09 de 2015.

- Nociva para la salud humana al momento de ser manipulada.

1.7. DETECCIÓN DE UN OBJETO UTILIZANDO CAMPO ELÉCTRICO.

El modelo utilizado para medir las dimensiones de un objeto (posición, tamaño y forma) se muestra en la Figura 3. Está compuesto por dos placas conductoras separadas una distancia conocida, entre las que se encuentra un dieléctrico de permitividad definida (ϵ_r). Una de las placas se conecta a tierra (receptor) y la otra a una tensión (transmisor), que puede ser fijo o variable en el tiempo, de esta forma se crea un campo eléctrico entre las placas, cuya capacitancia asociada es C_0 [7].

Figura No. 3. Modelo de detección



Fuente: SMITH, Joshua. Field mice: Extracting hand geometry from electric field measurements. IBM Systems Journal. USA, 1996 adaptada por los autores.

(**) Dr. Pedro F. Mateos. Crecimiento Microbiano, Departamento de Microbiología y Genética. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca.

Cuando un objeto se acerca a las placas, perturba el campo eléctrico del sistema original y se producen cambios en la capacitancia total. De esta forma se tiene un nuevo sistema con dos capacitancias adicionales entre cada una de las placas y el objeto, C_T y C_R . Debido a que el campo eléctrico se ha modificado, se percibe una variación en la capacitancia total del sistema y por lo tanto en el potencial entre las placas [7]. El dispositivo formado por las placas se conoce con el nombre de electrodo, la variación de tensión obtenida en el electrodo es enviada a un dispositivo electrónico, que identifica, analiza y relaciona la medida de tensión con la variable física (posición, tamaño o forma) que se desea medir del objeto.

Este trabajo tuvo como objeto de estudio una población de bacterias. Cuando se inicia el crecimiento de la población bacteriana, se presenta variación de sus dimensiones (tamaño y forma) y por lo tanto variación del campo eléctrico en el que se encuentran la población de bacterias.

1.8. DESCRIPCIÓN DEL MODELO ELECTRÓNICO FUNCIONAL.

El prototipo construido tiene las siguientes características: [1]

- La intensidad y frecuencia del campo eléctrico que usa el equipo para la detección es de 200 [V/m] y 120 [Khz].
- El equipo trabaja con una fuente de 12 [Vdc] y una potencia consumida de 1[W].
- Usa comunicación inalámbrica bluetooth.
- Genera y detecta el campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad.
- Toma la medida de variación de volumen sin afectar el medio en el que se desarrolla el sistema bacteriano.

- No destruye la muestra del sistema bacteriano en estudio.
- Permite configurar, por medio de la interfaz diseñada, el tiempo de muestreo de los datos.
- Presenta nueve electrodos, uno de referencia y ocho electrodos que permiten realizar la lectura de varias muestras de sistemas bacterianos al mismo tiempo.
- Guarda los datos en una memoria no volátil interna y cuando el usuario lo desee puede descargarlos, utilizando la interfaz de usuario, a un computador personal o a un dispositivo inalámbrico, con el *software* apropiado, por medio del protocolo *bluetooth*, en donde los datos pueden ser visualizados, almacenados y analizados en formato de Excel (.xls).

1.8.1. Rangos de trabajo. Para una correcta detección de datos, los rangos de lectura del equipo fueron los siguientes:

- **Capacitancia:** 10 [pF] a 80 [pF]
- **Voltaje :** 0 [V] hasta 4,3 [V]

2. DISEÑO DE ELECTRODOS PARA LA DETECCIÓN DE CULTIVOS BACTERIANOS.

Este capítulo está dedicado al diseño de diferentes tipos de electrodos, basado en un modelo ya implementado en trabajos de grado anteriores.^(*)

2.1. ASPECTOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE ELECTRODOS.

El objeto a medir, su forma, tamaño, el material con que se fabricaron los electrodos y el rango de medida del equipo. Fueron aspectos fundamentales a la hora del diseño.

2.1.1. Dimensionar el área de trabajo del electrodo. Para dar inicio al diseño de los electrodos elegidos, como primer paso se debió contestar las siguientes preguntas, ¿Qué se quiere medir? y ¿qué área se va a abordar (tamaño)?

En este caso, se va a detectar las variaciones en cultivos bacterianos, en un área de muestra empleada en laboratorios, es decir; en un cultivo bacteriano creado en un agar realizado en un recipiente o caja de Petri^(**), siendo este el medio usado por bacteriólogos.

^(*) Sistema prototipo de detección de cultivos celulares – Julián Andrés Peña Flórez – 2010. Sistema prototipo de instrumentación usado en la acción de un campo eléctrico.- Jairo Andrés Ariza Castañeda-2005. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad- Nidia Quintero - 2012.

^(**) Caja de Petri: Es un recipiente redondo, de cristal o plástico, con cubierta para cerrar el recipiente, aunque no de forma hermética.

Realizando un estudio y búsqueda de las diferentes cajas, que se encuentran en el mercado (Regional Bucaramanga), se encontró que existen cuatro (04) tipos de cajas, elaboradas con dos diferentes tipos de material (Ver figura No. 4), los cuales son plástico y vidrio. Es importante destacar el tipo de material en que están fabricadas las cajas de Petri, ya que influye en el momento de realizar los cálculos para el diseño del electrodo. El material de la caja presenta una permitividad que hace cambiar las características de fabricación del electrodo en su valor de capacitancia, siendo está directamente proporcional a la permitividad.

Figura No. 4. Medidas Cajas de Petri.

1. Petri vidrio grande 50[mm] de radio.
2. Petri vidrio pequeña 30[mm] de radio.
3. Petri plástico grande 45[mm] de radio.
4. Petri plástico pequeña 28[mm] de radio.

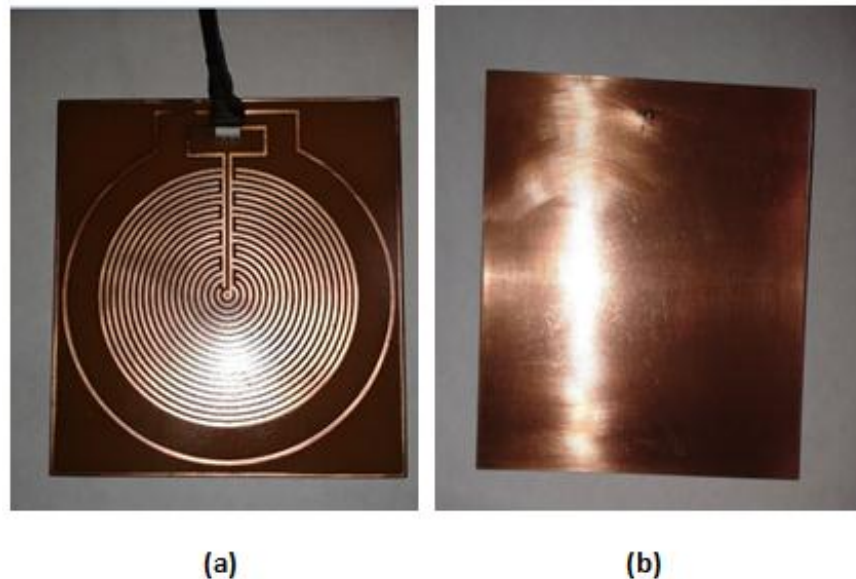
Se escogió la caja de Petri de plástico grande 45[mm] de radio. Por su baja permitividad en comparación con el vidrio.

2.1.2. Recubrimiento del electrodo. Es importante evitar el contacto directo del cultivo con el electrodo como también el contacto directo entre la caja de Petri y el electrodo, ya que se pueden generar lecturas incorrectas. Para esto se recubrió el sensor con una capa aislante de laca para PCB. Teniendo en cuenta la permitividad que esta suma a la capacitancia del electrodo.

2.1.3. Apantallamiento de los electrodos y cables. El apantallamiento se utiliza para reducir los efectos de las interferencias electromagnéticas (EMI) o ruido eléctrico, que pueden deteriorar las prestaciones de transmisión en algunos ambientes. El ruido puede tener su origen en interferencias externas de otros equipos eléctricos o en interferencias generadas por pares vecinos en el propio cable (diafonía^(*)). [8]

Como material de apantallamiento se suelen utilizar láminas o mallas metálicas, cada una con propiedades de apantallamiento diferentes y pueden ser aplicadas alrededor de todo el cable y/o a cada par del cable indistintamente. En los electrodos el apantallamiento es generado por una capa de cobre al respaldo de ellos (Figura No. 5), la cual se conecta al equipo por medio del cable de conexión.

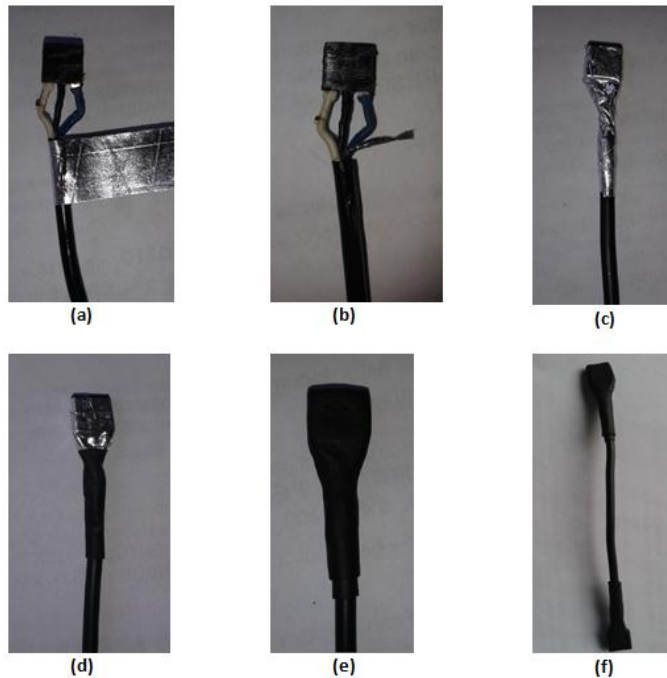
Figura No. 5. Apantallamiento del electrodo. **(a)** Cara superior del electrodo, **(b)** Capa de apantallamiento al respaldo del electrodo.



^(*) **Diafonía:** Perturbación electromagnética producida en un canal de comunicación por el acoplamiento de este con otro u otros vecinos.

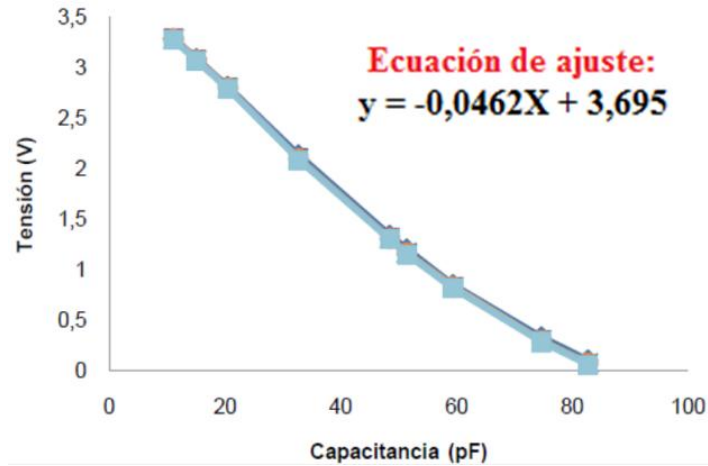
En la figura No. 6 se muestra la forma como se apantallaron los cables de conexión del equipo con los electrodos, usando cinta con película metálica conectada al puerto de apantallamiento proporcionado por el equipo.

Figura No. 6. Apantallamiento del cable que conecta los electrodos con el equipo. (a) Cable con cinta de película de aluminio unido al hilo de apantallamiento. (b) Imagen del cable de conexión con sus tres hilos. (c) Cable de conexión con el recubrimiento de aluminio. (d) y (e) Cable de conexión con recubrimiento aislante. (f) Cable de conexión con recubrimiento aislante.



2.1.4. Curva característica del equipo. Las características del equipo y ecuación de ajuste fueron proporcionados en la Figura No. 7, para el diseño y elaboración de los electrodos.

Figura No. 7. Curva característica del modelo electrónico funcional.



Fuente: QUINTERO, Nidia. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Bucaramanga, 2012 adaptada por los autores.

2.1.5. Conexiones del equipo con los electrodos. El cable usado para la conexión entre el equipo y el electrodo (Figura No. 8), es pieza clave en la obtención de resultados confiables, y evitar obtener errores en la medición.

El cable debe estar conectado correctamente, tener la característica de apantallamiento; es decir, debe tener un blindaje para así evitar la generación de una capacitancia propia, que al ser conectado con el electrodo influye en el valor de las lecturas tomadas por el equipo, en otras palabras se debe evitar la generación de capacitancias parasitas que produzcan errores.

Figura No. 8. Cable conector blindado de dos hilos calibre 4mm.



2.2. CÁLCULO TEÓRICO DE LA CAPACITANCIA DEL ELECTRODO TIPO FEF (FRINGIN – ELECTRIC - FIELD).

Para explicar cómo se forma la capacitancia de los electrodos se debe retomar el diseño del capacitor de placas paralelas.[9]. El cual consiste en dos placas conductoras de igual área acomodadas en paralelo, separadas por un material dieléctrico y con una diferencia de potencial entre ellas.

El valor de capacitancia de un condensador de placas paralelas está dado por la ecuación:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L \times A}{d} (F)$$

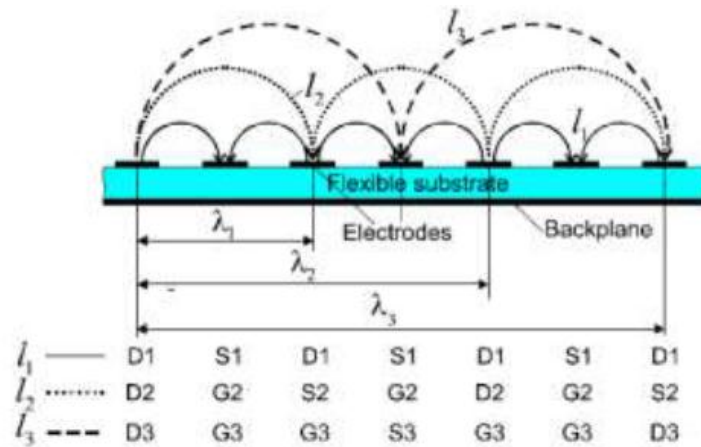
Ecuación No.3. Cálculo del valor de Capacitancia para electrodos tipo FEF. [9]

Donde **d** es la distancia entre placas, **L** el largo de la misma, **A** su ancho, ϵ_0 la permitividad del espacio libre y ϵ_r la permitividad relativa del material.

Con esta ecuación calcularemos el valor de la capacitancia del electrodo tipo FEF o comúnmente llamado electrodo tipo cepillo, implementado en trabajos anteriores.[9].

Para complementar con el análisis se usa otro dato adicional descrito en el trabajo Investigación de Maestría.[1]. En el cual se explica que los electrodos tipo FEF tienen una capacitancia adicional que se encuentra relacionada con la distancia que hay entre los otros electrodos que generan campo. Como muestra la figura No. 9.

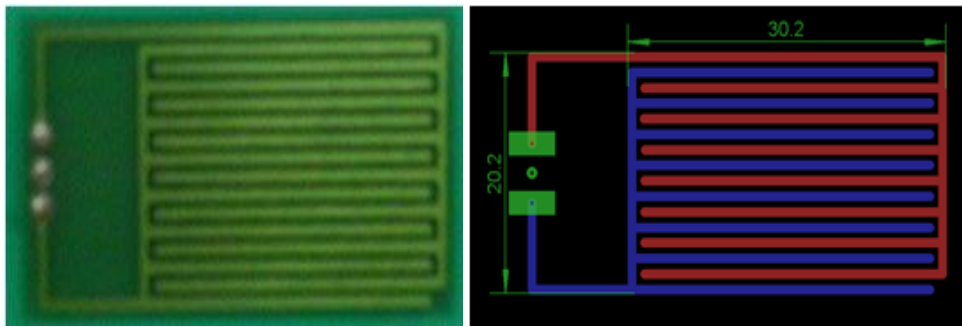
Figura No. 9. Sección de un electrodo FEF con diferentes valores de profundidad de penetración (D: electrodo conductor; S: electrodo detector; G: tierra; λ : separación de las franjas; l: profundidad de penetración).



Fuente: QUINTERO, Nidia. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Bucaramanga, 2012 adaptada por los autores.

2.2.1. Electrodo tipo FEF ya implementado. Se tiene el electrodo FEF o tipo cepillo en la Figura No. 10, usado en trabajos anteriores. Se calculó el valor teórico de la capacitancia y se realizaron pruebas de laboratorio para encontrar su valor de capacitancia práctica (real), con el fin de comparar sus valores y determinar si la construcción del modelo diseñado es consistente a los valores calculados experimentalmente. [1]

Figura No. 10. Electrodo FEF o Cepillo cuadrado de 30x20[mm]. [1].



Fuente: QUINTERO, Nidia. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Bucaramanga, 2012 adaptada por los autores.

2.2.2. Cálculo valor teórico de la capacitancia. Se realiza el cálculo de la capacitancia aplicando la ecuación No. 3. Y la interconexión vista en la Figura No. 9.

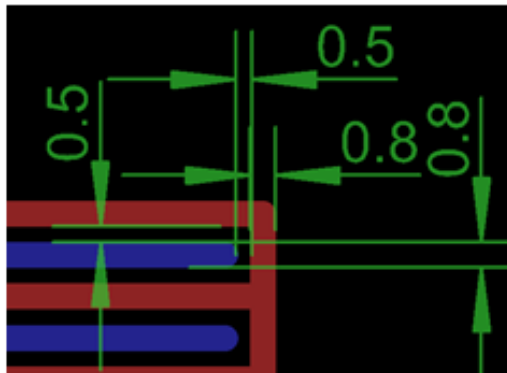
Primero: Hay 14 esquinas que generan campo eléctrico. Se calculó esta capacitancia.

- Se tomó como permitividad relativa el aire y el vacío:

$$\epsilon_0 = 8.8541878176 \dots \times 10^{-12} \text{ F/m,}$$

- El valor de separación entre franjas D es 0.5 [mm] y el ancho de las franjas (azules y rojas) es 0.8 [mm]. Como muestra la Figura No. 11, ampliación de la esquina superior derecha.

Figura No. 11. Ampliación de la esquina superior derecha.

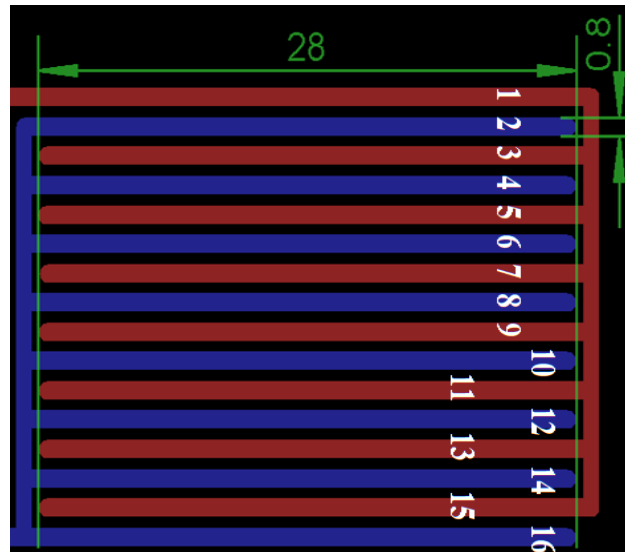


El cálculo del valor de esta capacitancia C ($1,586670456914E-13$ [F]) será (cantidad de extremos * Ecuación No.3.), y es la calculada en la Tabla No. A1. **Anexo A.**

Segundo: Ahora se calcula la capacitancia a lo largo del electrodo mencionado en la Figura No. 12. El cálculo está dado por la Ecuación No. 3. Adicional a esto se calcula el valor de capacitancia entre líneas como se indica en la Figura No. 9.

- Para facilitar el cálculo de la capacitancia entre franjas, se enumeran las franjas de arriba hacia abajo como indica la figura No. 12. Y se construye una tabla para indicar los valores de capacitancia calculados de cada franja (Ver Tabla No. A2). **Anexo A.** (Valor de la capacitancia 7,5985 [pF]).

Figura No. 12. Cálculo de capacitancia entre franjas.



- Es importante destacar que la capa de cobre en la superficie inferior del electrodo se encuentra conectado al puerto de apantallamiento, el cual no permite que exista capacitancia en la superficie inferior del electrodo.

Tercero: Para calcular el efecto borde se tiene que el material de fabricación del electrodo es la fibra de vidrio, la cual tiene una permitividad relativa de valor igual a **14.2**.

- Para calcular el valor de la capacitancia efecto borde, se suma la capacitancia de extremos que se tiene más las dos capacitancias de los extremos de 28mm a una distancia de 0.5 [mm] que serían los dos primeros valores de la Tabla No. A2. Anexo A y esto multiplicarlo por la permitividad relativa de la fibra de vidrio. (Ver ecuación No. 4.).

$$C_{\text{efecto borde}} = 14.2 * (1.586670456914^{-13} + 2 * 3.966676142285^{-13})$$

Ecuación No.4. Cálculo de la Capacitancia para el efecto borde.

$$\text{Valor capacitancia efecto de borde} = 1,3518\text{E-11 [F]}$$

El valor total de la capacitancia del electrodo tipo cepillo es la suma de los tres resultados obtenidos, el valor de la capacitancia extremos, el valor de la capacitancia entre franjas y el valor de la capacitancia efecto borde.

$$\text{Capacitancia total electrodo} = 21,2756\text{E-12 [F]}$$

Con la Ecuación de Ajuste del equipo Figura No. 5. Curva característica del modelo electrónico funcional.

$$Y = -0,0462X + 3,695$$

Ecuación No.5. Ecuación de ajuste del equipo.

Fuente: ARIZA, Jairo. Sistema prototipo de instrumentación basado en la acción de un campo eléctrico.
Bucaramanga, 2005

Y = Valor de Tensión detectado por el equipo este en voltios.

X = Valor de Capacitancia en Pico Faradios del electrodo conectado.

Así con el valor de Capacitancia total electrodo calculado y la ecuación No.5. Se obtuvo el valor de voltaje del electrodo tipo FEF teórico.

$$\text{Capacitancia total electrodo} = 21,2756 \text{ [pF]}$$

$$V_{DC} = -0.0462 * (21.2756) + 3.695 \text{ [V]}$$

Valor de Tensión o nivel DC del electrodo FEF teórico = 2,7120 [V]

Se conectó el electrodo al equipo y se midió con un multímetro el voltaje, a la salida de nivel del equipo. Este valor fue de 2,66[V] como muestra la figura No. 13. Si a estos valores se les calcula un valor del porcentaje de error, se tendría lo mostrado en la ecuación No. 6.

$$\%Error = \left[\frac{2.712 - 2.66}{2.712} \right] * 100\% = 1.917\%$$

Ecuación No. 6. Medición del porcentaje de error.

Figura No. 13. Tensión experimental entregada por el equipo.

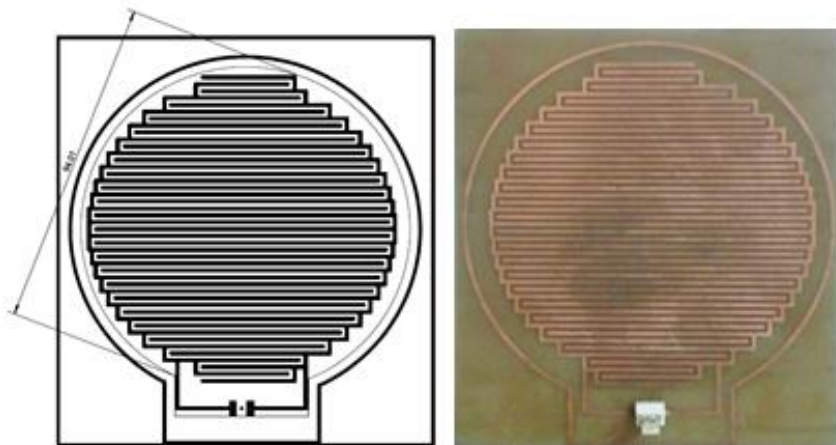


2.3. DISEÑO DE DIFERENTES MODELOS DE ELECTRODOS

Basados en electrodo tipo FEF realizado en el trabajo de Nidia Quintero [1], se realizaron diferentes diseños de electrodos para así lograr encontrar el más adecuado y cumplir con el objetivo de este proyecto. A continuación se mencionan.

2.3.1. Electrodo CEPILLO CIRCULAR 47[mm]. Se diseñó e implementó un electrodo cepillo o FEF en forma circular de radio 47[mm] pensando en la forma y tamaño de la caja de Petri de mayor área, la cual es la de material de vidrio de radio 50[mm], como se muestra en la Figura No. 14.

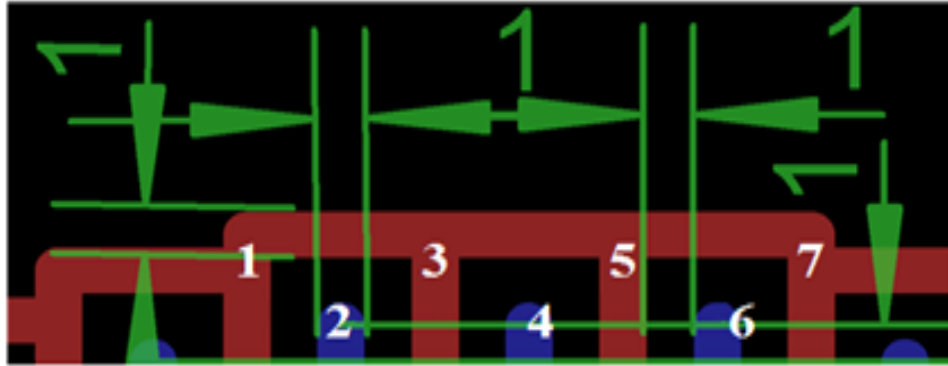
Figura No. 14. Electrodo Cepillo o FEF circular de radio 47[mm].



En la figura No. B1, **Anexo B.** Se observa las diferentes áreas que tiene el electrodo para ser medidas.

Se empezó a calcular la capacitancia en la parte superior del electrodo, ver Figura No. 15.

Figura No. 15. Área superior acotada.



En la Figura No. 15 se observan tres líneas azules y cuatro líneas rojas, con grosor de 1[mm], los espacios son de un milímetro 1[mm]. La distancia D siempre será 1[mm].

El valor total de la Capacitancia de este electrodo es la suma de diferentes secciones del electrodo. Empezando los cálculos de la capacitancia de efecto borde con la permitividad relativa de la baquelita que es 50. También se adiciona la capacitancia que hay entre puntas azules que adicionan capacitancia con la línea roja horizontal, si se enumeran las líneas verticales de izquierda a derecha calculamos la capacitancia como expresa la Figura No. 9. Todo esto se calcula con la ecuación No. 3, se encuentran algunos de estos cálculos de capacitancia en la Tabla No. B1. **Anexo B.** No calculamos el valor total teórico, solo tomamos el valor experimental.

Se conecta el electrodo tipo cepillo al equipo, obteniéndose el nivel de tensión (ver Figura No. 16.) que lo representa y de esta forma experimental se obtiene el valor de capacitancia despejando la “x” de la ecuación No. 5.

Figura No. 16. Valor de tensión medido con el equipo al primer diseño de electrodo.



La capacitancia total experimental para este electrodo es:

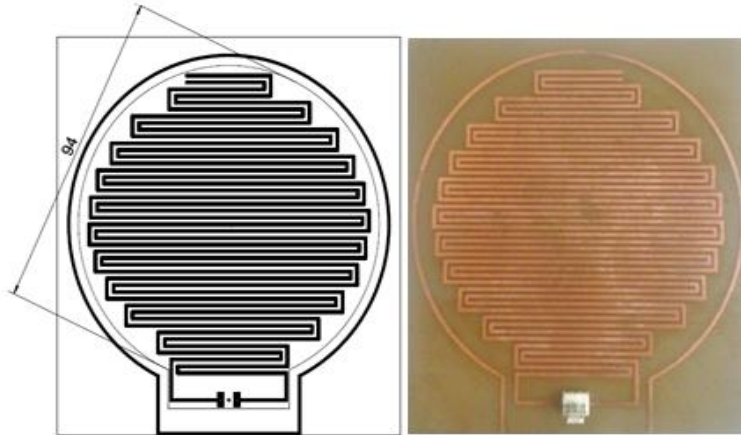
$$\text{Capacitancia Total} = 62.8788 \text{ [pF]}.$$

La Capacitancia experimental está en el valor permitido por el equipo.

2.3.2. Electrodo SNAKE_OP 47[mm]. Para aumentar el rango de excursión se debe aumentar la tensión o disminuir la capacitancia en el electrodo, esto se logra aumentando la distancia entre líneas y manteniendo el área de las mismas. Esto se puede ver en la ecuación No. 3, ya que la distancia es inversamente proporcional al valor de capacitancia.

A la hora del diseño también se debe mantener el área de trabajo del electrodo igual. En este orden de ideas nació el diseño *SNAKE_OP*. El cual consta de dos líneas entrelazadas tipo culebra, dejando dos líneas con la misma carga, aumentando la distancia entre líneas de diferente carga. (Ver Figura No. 17).

Figura No. 17. Electrodo SNAKE_OP de radio 47[mm].



Análisis teórico del cálculo de la capacitancia:

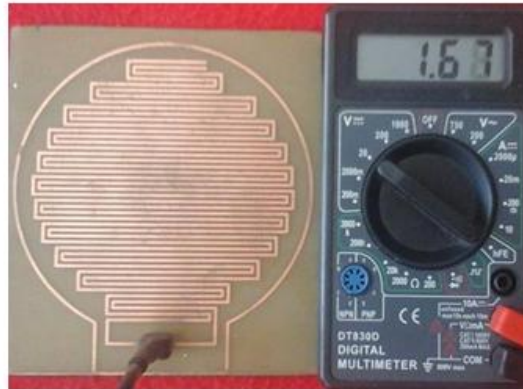
Primero se zonifican las diferentes áreas que hay en el electrodo como indica la figura No. C1 del **Anexo C**.

De la figura No. C1 del **Anexo C**, se observa que existe uniformidad, entonces se divide en cuatro partes iguales el electrodo y así se calculó solo una cuarta parte, también se calcula la capacitancia del efecto borde y la capacitancia en sus extremos. Estos Valores se suman y se obtuvo el valor de la capacitancia Total del electrodo SNAKE_OP. La Tabla No. C1 del **Anexo C**. Muestra este resultado.

$$\text{Capacitancia Electrodo SNAKE_OP} = 40,7899 \text{ [pF]}$$

Se conecta el electrodo al equipo obteniendo el valor práctico de tensión (Ver Figura No. 18.), y de esta forma práctica se obtiene el valor de capacitancia despejando la “x” de la ecuación No. 5.

Figura No. 18. Nivel de tensión entregado por el equipo.



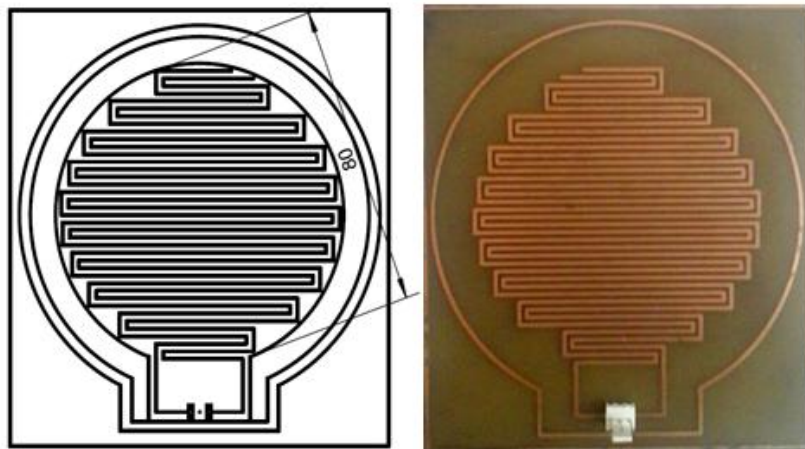
Capacitancia Electrodo SNAKE_OP práctica = 43,8311 [pF]

Si calculamos el porcentaje de error este sería:

$$\%Error = \frac{40,7899 - 43,8311}{40,7899} * 100\% = 7.45\%$$

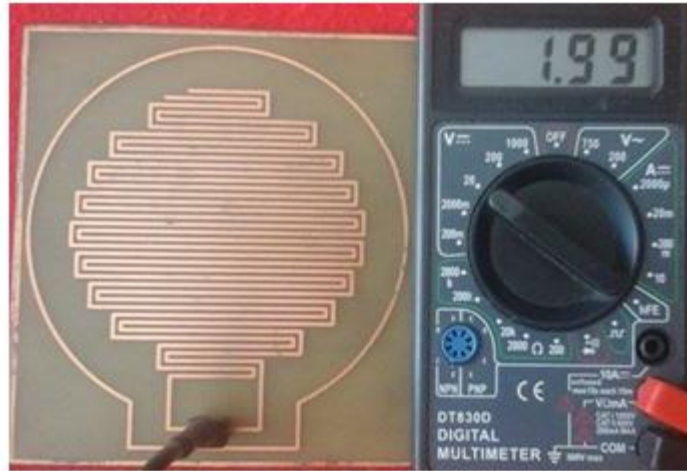
Este mismo diseño se redujo a un radio de 40[mm] como muestra la Figura No. 19.

Figura No. 19. Electrodo SNAKE_OP de radio 40[mm].



Al conectar el electrodo al equipo, se obtiene un valor de tensión de 1.99 [V]. Como lo indica la Figura No. 20.

Figura No. 20. Nivel de tensión del segundo diseño parte II.



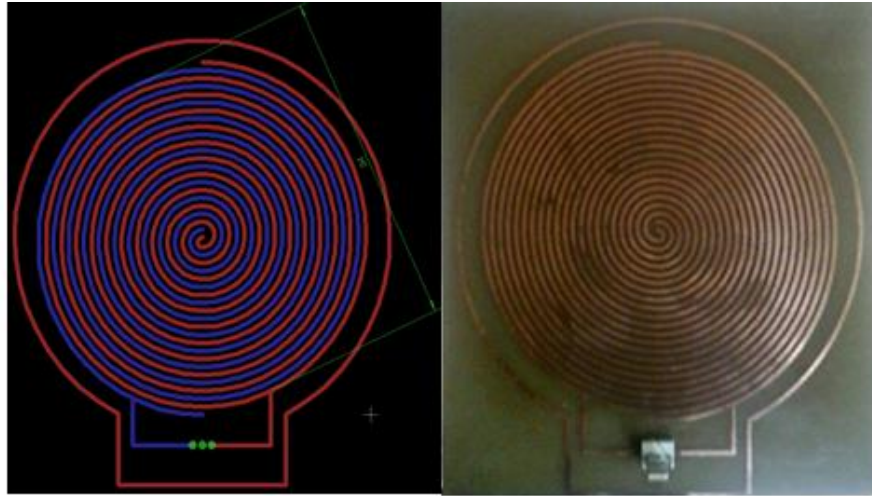
Con este valor de voltaje y con la ecuación No. 5. Se obtiene un valor de capacitancia:

$$\text{Capacitancia} = 36.9047 \text{ [pF]}$$

Como era de esperarse se obtuvo un valor menor de capacitancia y un valor mayor de tensión en comparación con el electrodo SNAKE_OP de 45[mm].

2.3.3. Electrodo ESPIRAL. Diseño de un electrodo de forma interna circular. La Figura No. 21. Muestra un electrodo en forma de espiral circular de radio 47[mm].

Figura No. 21. Electrodo “Espiral”.



Al conectar el electrodo al equipo, se obtiene su valor de nivel de tensión de 0.83 [V].
Como lo indica la Figura No. 22.

Figura No. 22. Nivel de voltaje Electrodo “ESPIRAL”



Con este valor de voltaje y con la ecuación No. 5. Se calcula el valor de capacitancia de este electrodo.

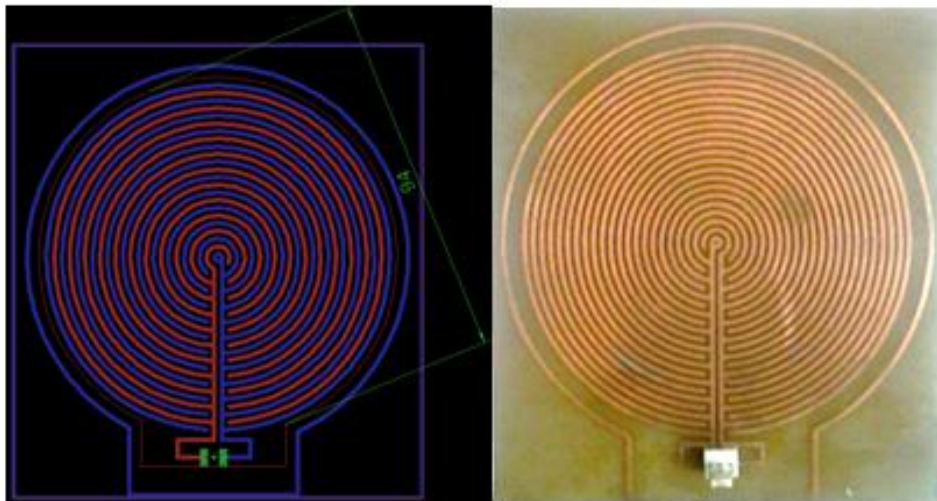
$$\text{Capacitancia total diseño ESPIRAL} = 62.0129 \text{ [pF]}$$

Esto indicó que está en los niveles permitidos por el equipo.

Como es un valor cercano al límite de lo permitido por el equipo, se concluyó que no era necesario elaborar un nuevo diseño con un menor radio. En lugar de esto, se procedió a elaborar otro diseño diferente.

2.3.4. Electrodo FEF CIRCULAR. Este diseño fue realizado con base en el electrodo tipo cepillo o FEF pero de forma circular como se ve en la figura No. 23. Este electrodo es de radio 47[mm].

Figura No. 23. Electrodo FEF circular.



Al conectar el electrodo al equipo, se obtiene su valor de nivel de tensión, de 0.70 [V]. Como lo indica la Figura No. 24.

Figura No. 24. Nivel de tensión. Electrodo FEF CIRCULAR.



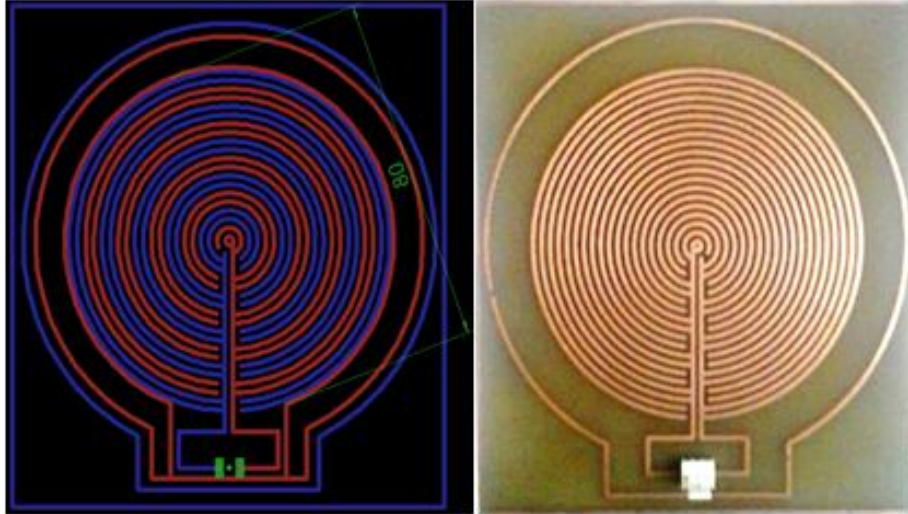
Con este valor de voltaje y con la ecuación No. 5. Se calcula el valor de capacitancia de este electrodo.

$$\text{Capacitancia total electrodo FEF CIRCULAR} = 64.826 \text{ [pF]}$$

Este valor se encuentra en los niveles permitidos por el equipo.

2.3.5. Electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP. Este diseño es la iteración de los electrodos circular FEF y SNAKE_OP. Este modelo sería un CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP a la vez de radio 40[mm]. Como muestra la figura No. 25.

Figura No. 25. Electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.



- Calculo teórico capacitancia electrodo circular cepillo SNAKE_OP.

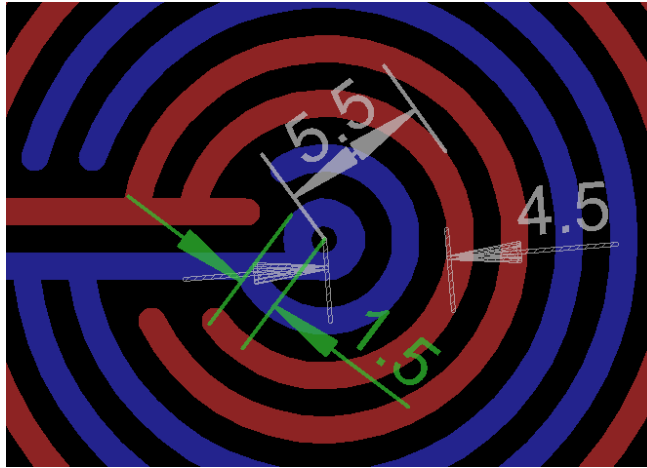
Este electrodo usa la fórmula del cálculo capacitancia por unidad de área cilindros concéntricos por el ancho de línea 1[mm], todas las líneas tiene el mismo ancho.

$$C = \frac{C}{L} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{b}{a}} *(1\text{mm})$$

Entonces: a , es el radio externo del círculo más pequeño, b es el radio interno del círculo más grande, ϵ es la permitividad del aire = 8,85418E-12 y C su capacitancia.

Observando la Figura No. 26. Un recorte en el centro del electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP para mostrar cómo se hicieron los cálculos de cada sección circular.

Figura No. 26. Recorte centro del electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.



La capacitancia de esta sección con $a=1.5$ [mm], $b=4.5$ [mm] y Ancho=1 [mm] sería:

$$C = \frac{(2\pi(8,8541E-12))}{\ln \frac{4.5}{1.5}} (0.001) = 0,0506 \text{ [pF]}$$

Siguiendo la Figura No. 7, más el efecto borde y la capacitancia de las dos líneas centrales. Se realizó la Tabla No. D1 del **Anexo D** y calculamos el total de la capacitancia:

$$\text{Capacitancia total electrodo} = 33,0518 \text{ [pF]}$$

Al conectar el electrodo al equipo, se detecta un valor de tención 2.13 [V]. Como lo muestra la Figura No. 27.

Figura No. 27. Nivel de tensión electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP.



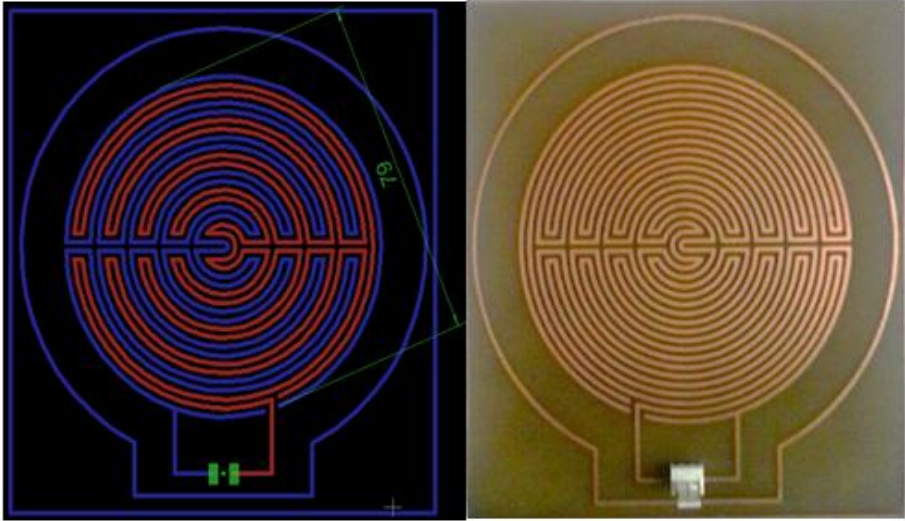
Con este valor de voltaje y con la ecuación No. 5. Se calcula el valor de capacitancia de este electrodo.

$$\text{Capacitancia total electrodo} = 33.87445887 \text{ [pF]}$$

$$\% \text{Error} = \frac{33,05186772787 - 33.87445887}{33,05186772787} * 100\% = 2.48\%$$

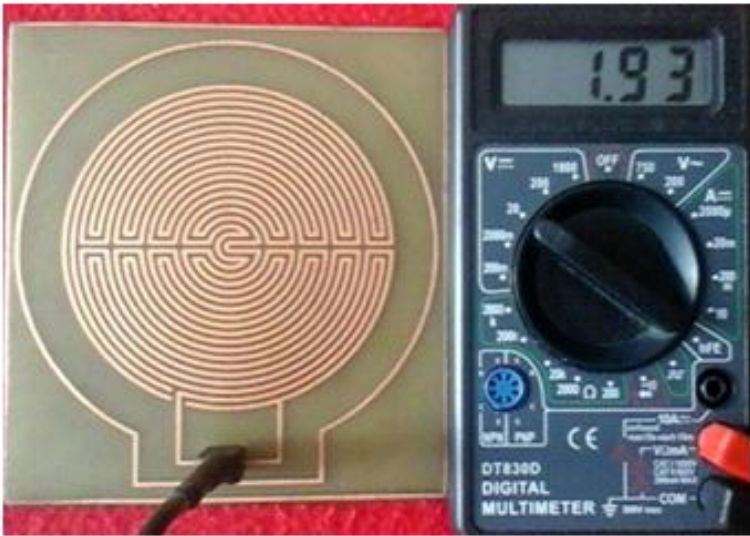
2.3.6. Electrodo SNAKE_OP RING. Como el electrodo tipo SNAKE_OP ha entregado un nivel de tensión sobre los 2[V]. Se diseñó el electrodo SNAKE_OP RING, De 40[mm] de radio. Figura No. 28.

Figura No. 28. Electrodo SNAKE_OP RING.



Conectando el electrodo al equipo, se detecta un valor de tensión 1.93 [V]. Como lo muestra la Figura No. 29.

Figura No. 29. Nivel de DC Séptimo diseño.



Con este valor de voltaje y con la ecuación No. 5, se calcula el valor de capacitancia de este electrodo.

$$\text{Capacitancia total electrodo SNAKE_OP RING} = 38.2034 \text{ [pF]}$$

Lo cual indica que está en los niveles permitidos por el equipo.

2.4. TENSIÓN CON LAS DIFERENTES CAJAS DE PETRI.

El nivel de tensión detectado por el equipo al conectar los electrodos diseñados, marca el rango de excursión. Este nivel cambia al poner sobre los electrodos las diferentes cajas de Petri. En la Tabla No. 1, se tabuló el nivel detectado en cada electrodo.

Tabla No. 1. Niveles de Tensión, electrodos con caja de Petri.

NOMBRE DEL ELECTRODO	NIVEL DC SIN PETRI [V]	NIVEL DC CON CAJA DE PETRI [V]			
		VIDRIO		PLASTICO	
		GRANDE	PEQUEÑA	GRANDE	PEQUEÑA
CEPILLO CIRCULAR	0,79	0,003	0,36	0,6	0,77
SNAKE_OP 47 [mm]	1,67	0,5	1,23	1,46	1,64
SNAKE_OP 40 [mm]	1,99	0,7	1,51	1,78	1,96
ESPIRAL	0,83	0,03	0,4	0,62	0,79
FEF CIRCULAR	0,7	0,03	0,35	0,54	0,7
CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP	1,95	0,75	1,5	1,76	1,95
SNAKE_OP RING	1,93	0,77	1,49	1,7	1,88

Se analizó los diferentes niveles de tensión detectados por el equipo y se observó en varios electrodos que este nivel bajó. Esto con caja de Petri vacía.

Se hizo el mismo experimento ahora se le adicionó 30ml de agua para la caja de Petri grande y 10ml de agua para la caja de Petri pequeña. Tomada directamente del tubo. Se detectaron y tabularon los nuevos valores de tensión (Tabla No.2).

Tabla No. 2. Niveles de Tensión, electrodos con caja de Petri más 30 ml de agua.

NOMBRE DEL ELECTRODO	NIVEL DC SIN PETRI [V]	NIVEL DC CON CAJA DE PETRI Y AGUA [V]			
		VIDRIO		PLASTICO	
		GRANDE 30mL	PEQUEÑA 10mL	GRANDE 30mL	PEQUEÑA 10mL
CEPILLO CIRCULAR	0,79	0	0,36	0,56	0,77
SNAKE_OP 47 [mm]	1,67	0,45	0,92	1,22	1,64
SNAKE_OP 40 [mm]	1,99	0,65	1,2	1,57	1,96
ESPIRAL	0,83	0	0,31	0,57	0,79
FEF CIRCULAR	0,7	0	0,33	0,5	0,7
CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP	1,95	0,7	1,18	1,52	1,95
SNAKE_OP RING	1,93	0,72	1,2	1,49	1,87

Al colocar las diferentes cajas de Petri en cada uno de los electrodos, los valores digitados en rojo de la Tabla No. 1 y No. 2, son valores de niveles de tensión detectados por el equipo, los cuales están en el límite de trabajo del equipo^(*). Y por esto se determinó que estos electrodos no son apropiados para ser usados y se descartaron.

Analizados estos resultados se descartó tres diseños, los cuales mostraron niveles de tensión cero. Estos son: CEPILLO CIRCULAR, EPIRAL y FEF CIRCULAR.

^(*) Rango de valores de tensión detectados por el equipo: De 1 [V] a 4 [V], Tabla No. 1 del Trabajo de Nidia Quintero. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Trabajo de Investigación de Maestría, p. 31.

2.5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELECTRODOS SNAKE_OP 47 Y 40 [MM], CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP Y SNAKE_OP RING EN EL TIEMPO CON SALIDA AMPLIFICADA.

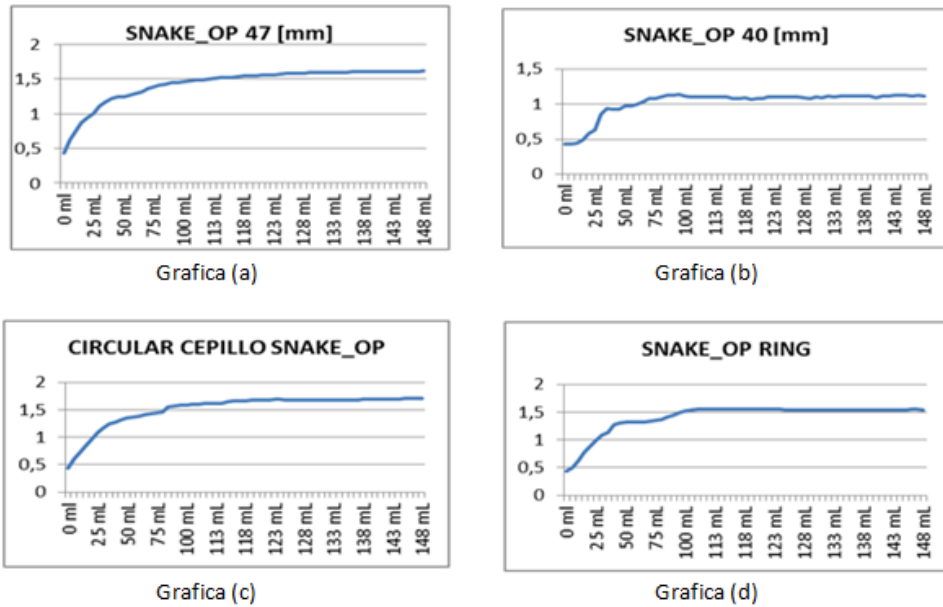
Como objeto a detectar se mezcla: ½ Litro de agua de un charco, 200 gramos de levadura, 100ml de leche. Esto se dejó por 2 días a temperatura ambiente.

El proceso se realizó de la siguiente forma:

- Se colocó un electrodo y se midió de nuevo el valor de tensión que detecta con la caja de Petri grande de plástico vacía.
- Se llenó progresivamente la caja de Petri con 5ml de la mezcla elaborada. Se detectó con el equipo, se tabuló y graficó. Esto se hizo con cada uno de los cuatro electrodos.

Estos datos se encuentran en la Tabla No. El **Anexo E**. Las gráficas están en la figura No. 30.

Figura No. 30. Análisis del comportamiento de los electrodos.



Se escogió el electrodo **CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP**. Este es el de mayor nivel de tensión y el de más rápida respuesta con las muestras, como se observa en la gráfica (c) de la Figura No. 30.

En el proyecto se construyeron 9 electrodos en total del tipo seleccionado (Circular Cepillo Snake_OP), 8 de ellos se emplearon para la detección de los cultivos bacterianos y uno de ellos se dejó como referencia.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE PARA LA LECTURA MULTIPLEXADA DE LAS OCHO MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACION.

En este capítulo se presenta el software desarrollado para la comunicación entre el usuario y el equipo^(*), permitiendo la lectura, la visualización y el almacenamiento de información, generada por la detección del hardware.

3.1. COMPONENTES

El equipo consta de tres partes, el hardware que realiza la adquisición de los datos, el software y la interfaz de usuario que permiten la configuración, puesta en marcha, visualización y descarga de datos del hardware. A continuación se describe con más detalle cada una de ellas [1].

3.1.1. Componente hardware. Se continuo con el modelo del hardware del prototipo elaborado anteriormente, teniendo presente la modificación de los dispositivos de lectura de datos (electrodos^(**) diseñados en el capítulo 2) empleados, consistentes en la generación del campo eléctrico y la detección de las variaciones debidas al cambio en el cultivo bacteriano [1].

^(*) Construido en el trabajo de investigación de Maestría, “Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad”. Nidia Quintero – 2012. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

^(**) Diseño de Electrodo seleccionado tipo “Circular cepillo y Snake”.

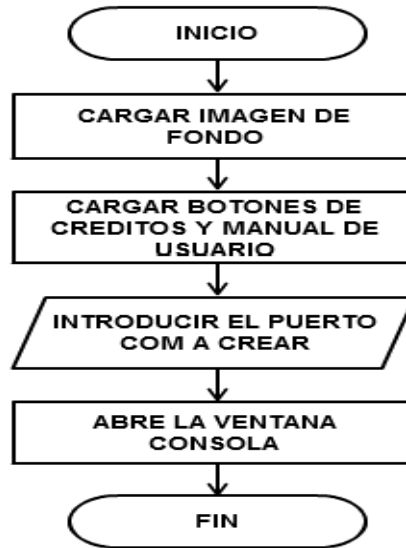
3.1.2. Componente software. El componente software consta de dos partes: el software embebido en el microcontrolador y el software desarrollado en el computador para visualizar y analizar los datos [1].

Se mantuvo el código generado en el microcontrolador del equipo elaborado [1], ya que se adapta a las condiciones para la lectura multiplexada de los ocho electrodos. La descripción del funcionamiento se da en el libro de Nidia Quintero capítulo 3, pág. (45-50).

3.1.2.1. Software del computador. Para describir el software “*Bacteria*” realizado, se empleara el uso de diagramas de flujo, y se dará una explicación de los módulos empleados en el software elaborado.

- a. Ventana de Presentación o Inicio:** En esta ventana se carga la presentación del software y se realiza la configuración del puerto de comunicación entre el pc y el equipo. El diagrama de flujo que describe el proceso de la Ventana Presentación o Inicio, se muestra en la Figura No. 31.

Figura No. 31. Diagrama de flujo Ventana Presentación.



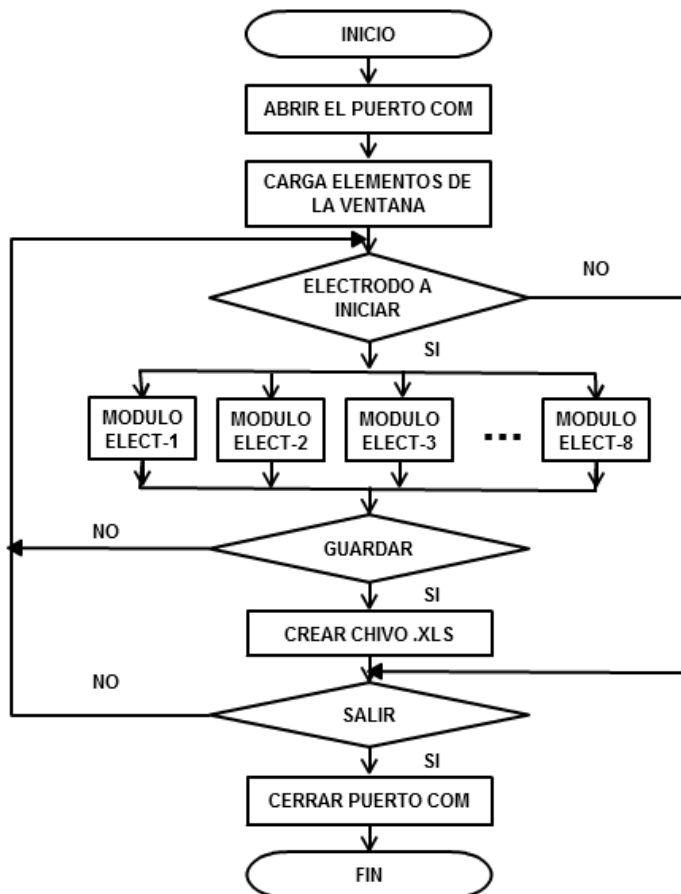
b. Ventana Consola: Ventana que permite iniciar, visualizar y guardar la información de cada uno de los ocho electrodos de forma independiente. Adicionalmente, presenta las siguientes opciones que pueden ser ejecutadas por el Ingeniero y Bacteriólogo aunque con algunas excepciones:

- Botón de Configuración: Es el que da la opción de realizar el ajuste de Nivel de forma manual para todos los electrodos en forma individual, para que presenten condiciones iniciales iguales, con respecto al electrodo de referencia. Esta opción es exclusiva del Ingeniero, quien puede acceder, proporcionando una clave de acceso.
- Ajuste de ganancia en un rango de 1 a 10, aplicable a todos los electrodos en forma conjunta.
- Botón de apagado y botón de guardado general, es decir aplica en forma instantánea a todos los electrodos.
- Selección de valores predeterminados de tiempo de muestreo, accesible al Bacteriólogo.
- Botón de Créditos: muestra información de los autores del proyecto.

- Botón de Manual de usuario, proporciona una guía sobre el uso de la aplicación.

En la Figura No. 32 se puede ver la descripción del proceso de operación de la Ventana Consola, mediante un diagrama de flujo.

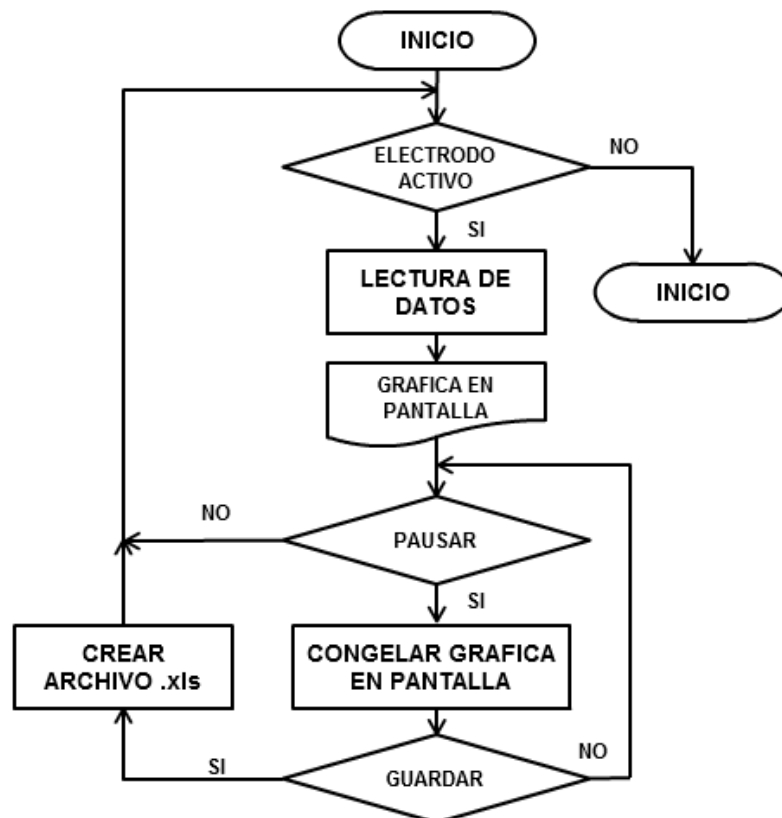
Figura No. 32. Diagrama de flujo de la Ventana Consola



En la Figura No. 33, se describe el diagrama de flujo del Módulo ELECT-1, el cual es igual para los ocho electrodos. En él se tienen las funciones de:

- Opción Activar: Inicia la lectura de datos y visualización de los mismos en su respectiva gráfica.
- Opción Pausar: Permite congelar la imagen de la gráfica del electrodo hasta que se le dé, la opción de continuar, sin perder la lectura de datos mientras se encontró en pausa.
- Opción Desactivar: Finaliza la lectura de datos y permite guardar los datos.
- Opción Guardar: Permite guardar la información leída por el hardware en cualquier momento.

Figura No. 33. **Diagrama de Flujo del Módulo Electrodo.**



3.1.2.2. Interfaz de Usuario. Se realizó en la herramienta de software Matlab, la cual dispone de un editor de interfaces de usuario-GUI, está disponible para una variedad de plataformas^(*) y es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo.

La interfaz de usuario (Figura No. 34) permite la comunicación directa entre el usuario y el equipo, su funcionalidad es crear y abrir el puerto COM para que exista la comunicación con el equipo a través del dispositivo Bluetooth.

Adicional presenta opciones como la ayuda por medio del Manual de usuario para tener una guía de uso, la configuración de valores de ganancia y nivel de ajuste, inicio de operación independiente o en conjunto de lectura de los electrodos, visualización y descarga de datos generados por el hardware.

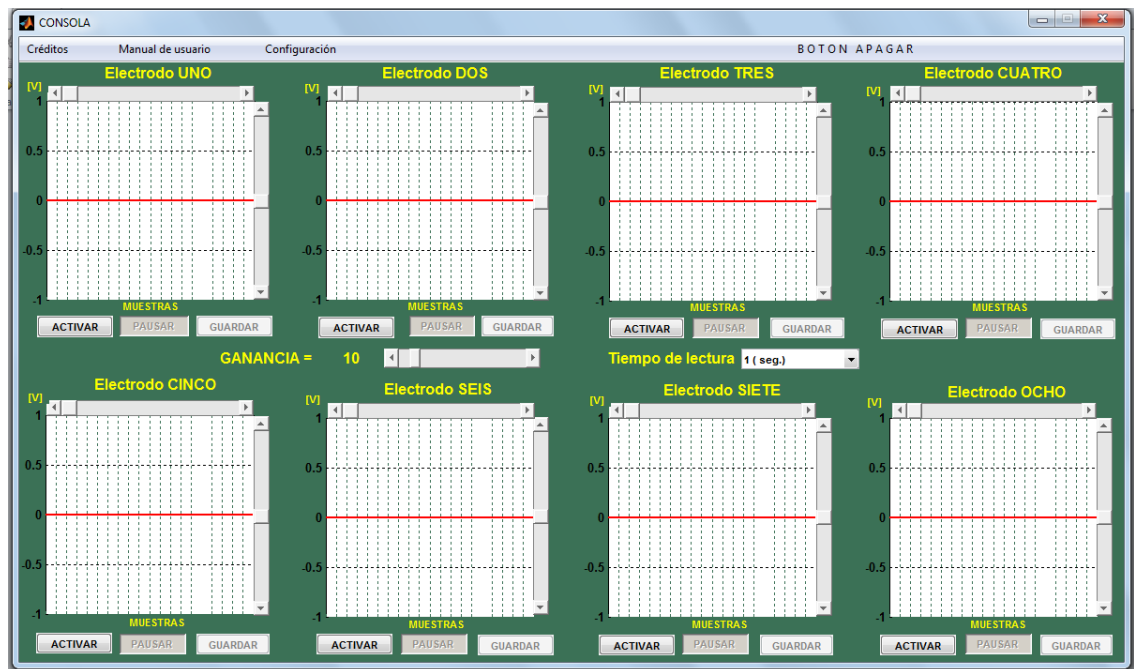
Figura No. 34. Interfaz de usuario.



^(*) Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

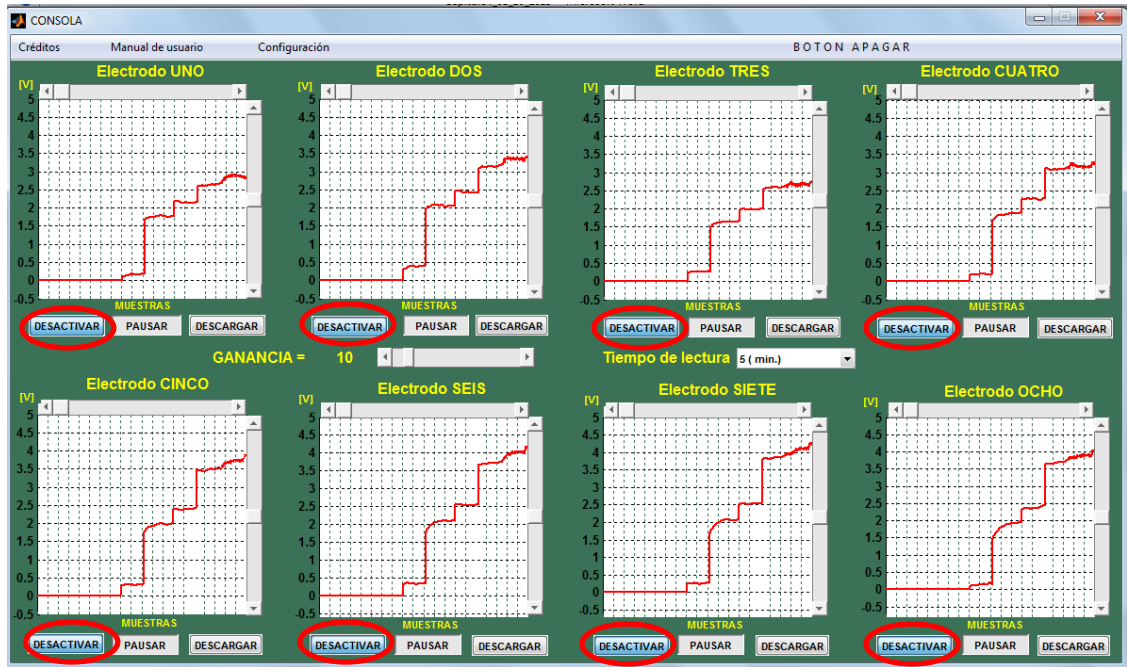
La Ventana Consola (ver Figura No. 35), permite el acceso al usuario bacteriólogo a las siguientes opciones:

Figura No. 35. Ventana de Consola



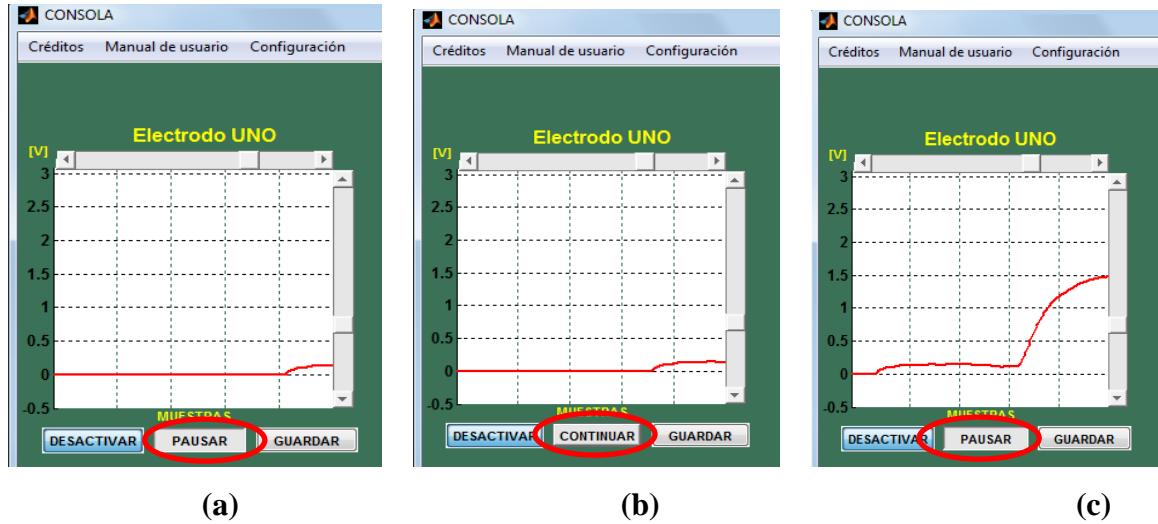
- Activar y desactivar, la cantidad de electrodos que se deseen utilizar para el experimento (de uno a ocho electrodos) en forma independiente, permitiendo mostrar mediante la visualización gráfica, las lecturas obtenidas. Se observa en la Figura No. 36 (círculos rojos).

Figura No. 36. Activación de Electrodo



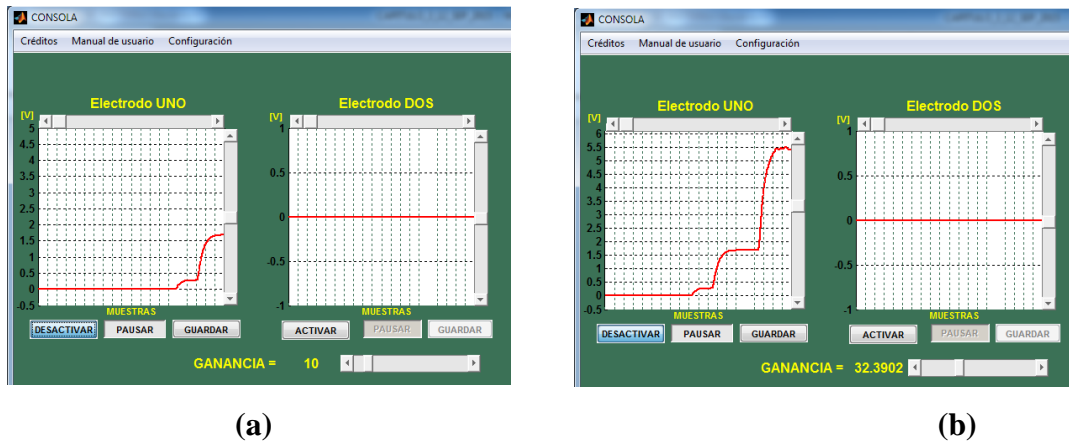
- Permite realizar una pausa o congelamiento de la imagen gráfica para realizar un análisis de resultados sin tener que detener la lectura de datos, se muestra en la Figura No. 37a y 37b. Para continuar la visualización de la lectura del electrodo seleccionado, se da “click” en continuar (ver Figura No. 37c).

Figura No. 37. Botones de control. Aplicación de la opción de PAUSAR para el electrodo 1, (b) Aplicación de la opción CONTINUAR para el electrodo 1 y (c) Imagen al desactivar la opción PAUSE.



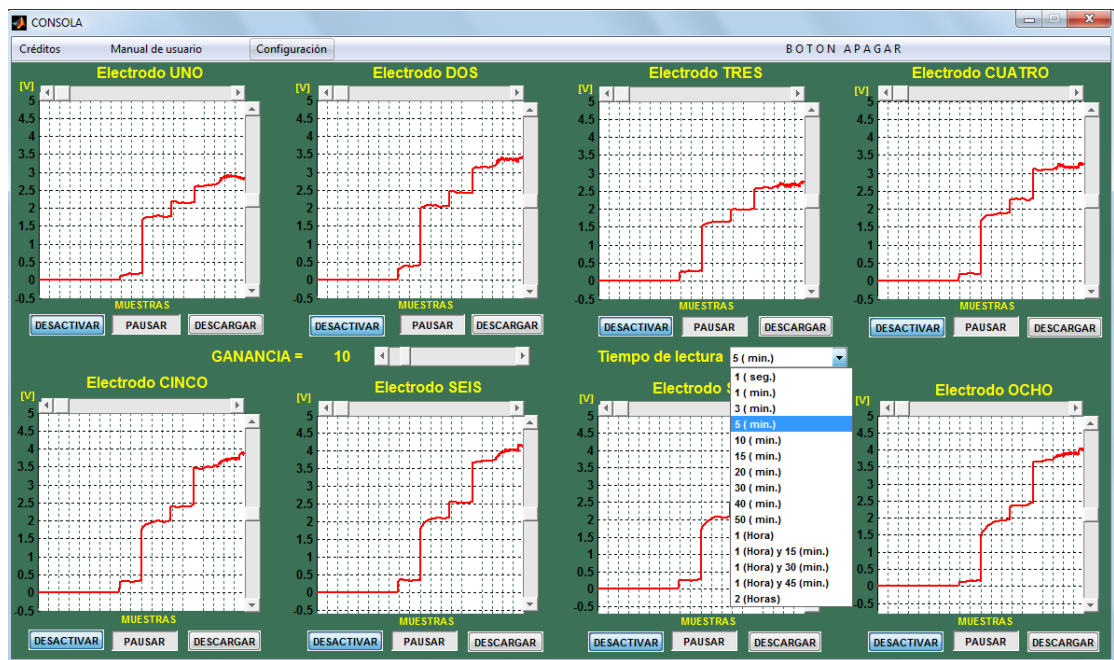
- Variar el valor de ganancia para una mejor visualización de los datos. Se observa un ejemplo de lectura para el electrodo No. 1 y No. 2 (inactivo), en la Figura No. 38.

Figura No. 38. Interfaz gráfica en ejecución. (a) Lectura de datos electrodo No. 1 y No. 2 (inactivo) con Ganancia= 10 [V/V], (b) Lectura de datos electrodo No. 1 al variar el valor de Ganancia = 32,3902[V/V].



- Seleccionar el intervalo de tiempo, para que el equipo realice la lectura de una muestra por cada electrodo activo. Se aplica conjuntamente para los ocho electrodos, se muestra en la Figura No. 39, un ejemplo de selección de tiempo cuando el electrodo No. 1 está activo.

Figura No. 39. Selección del tiempo de muestreo.



- Crear el archivo con extensión .xls, donde se van a guardar los datos leídos por el equipo del electrodo seleccionado (ver Figura No. 40), permitiendo así la descarga de las lecturas obtenidas en cualquier momento, como se puede ver en la Figura No. 41. La opción de guardar las lecturas obtenidas, se realiza para cada electrodo de forma individual o conjunta.

Figura No. 40. Crear archivo para guardar datos.

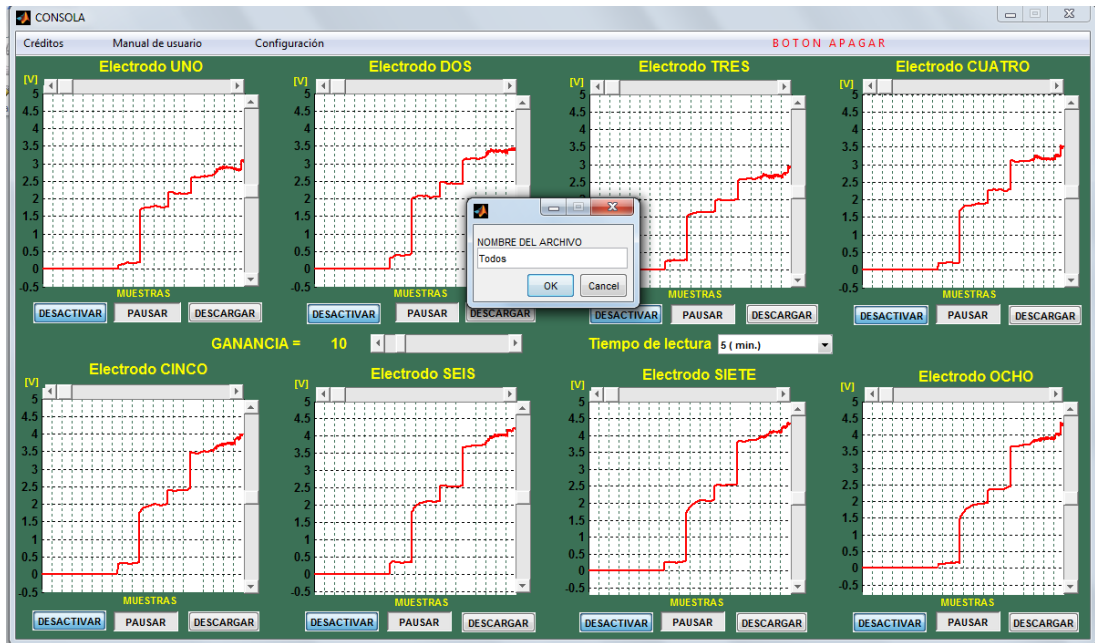
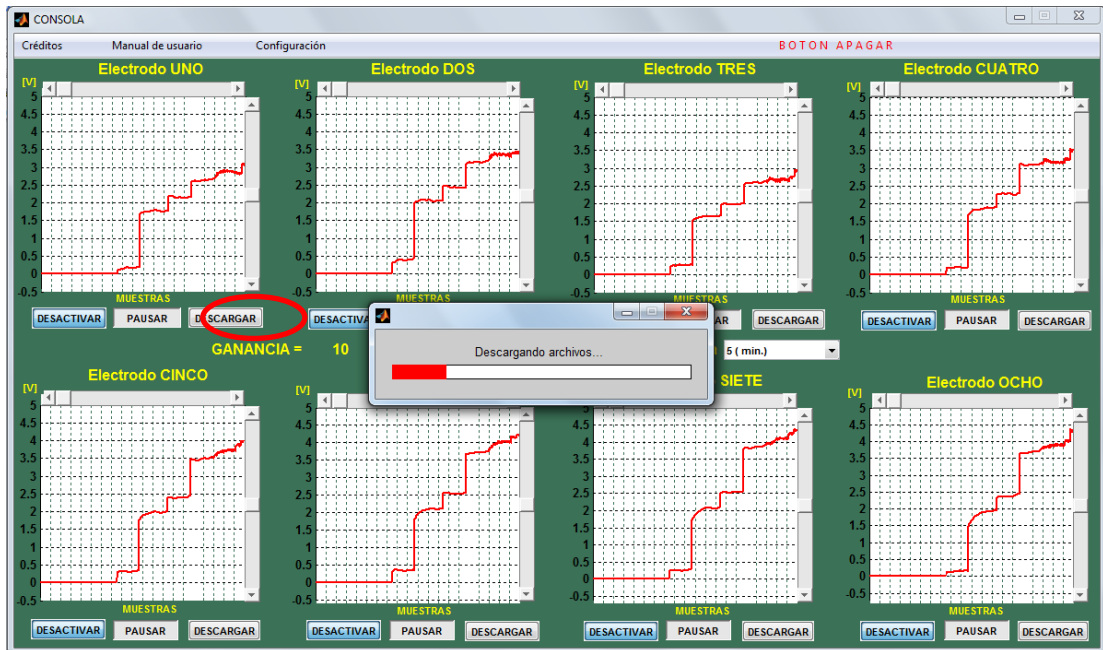
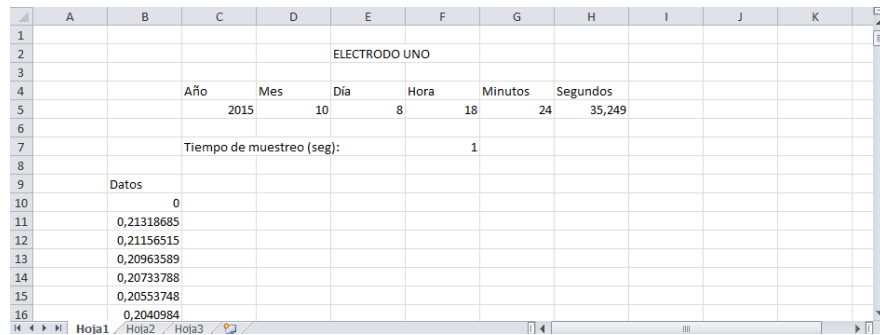


Figura No. 41. Opción de Descarga de datos.



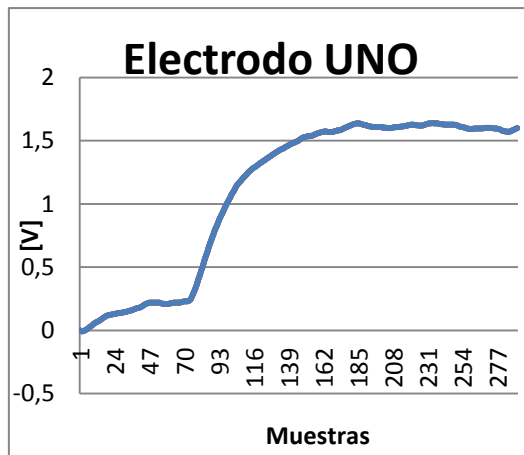
El archivo donde se guardan los datos se crea en la carpeta donde se encuentra la aplicación, en la Figura No. 42 se muestra un ejemplo de las lecturas realizadas por el equipo y los datos descargados del electrodo No. 1 en archivo creado en Excel.

Figura No. 42. Archivo creado en Excel.

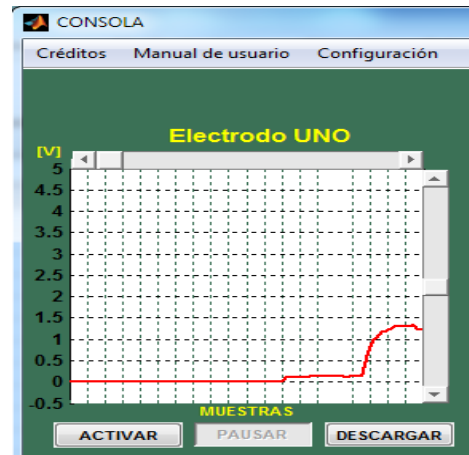


Usando la herramienta Excel, se grafican los datos descargados en el archivo creado y se observó que generaron la misma grafica a la visualizada en la consola de la aplicación. En la Figura No. 43 se muestra la comparación de las gráficas obtenidas.

Figura No. 43. Graficas obtenidas, (a) En Excel, (b) En la aplicación



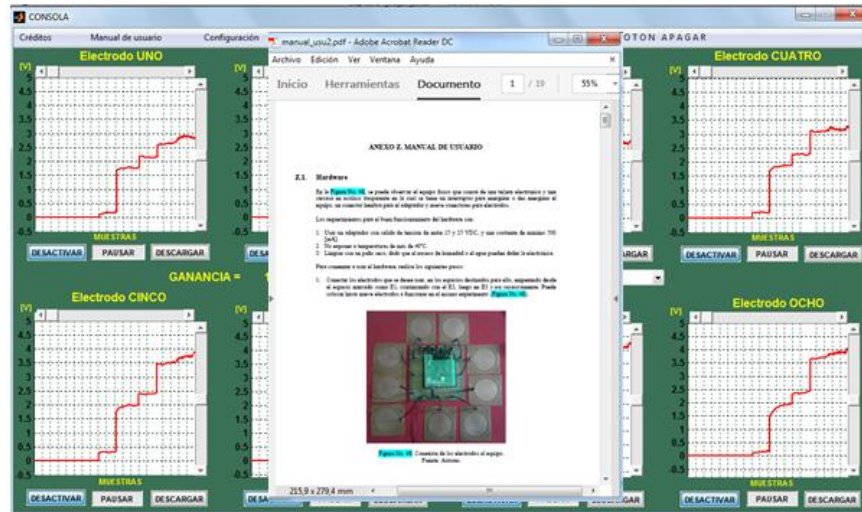
(a)



(b)

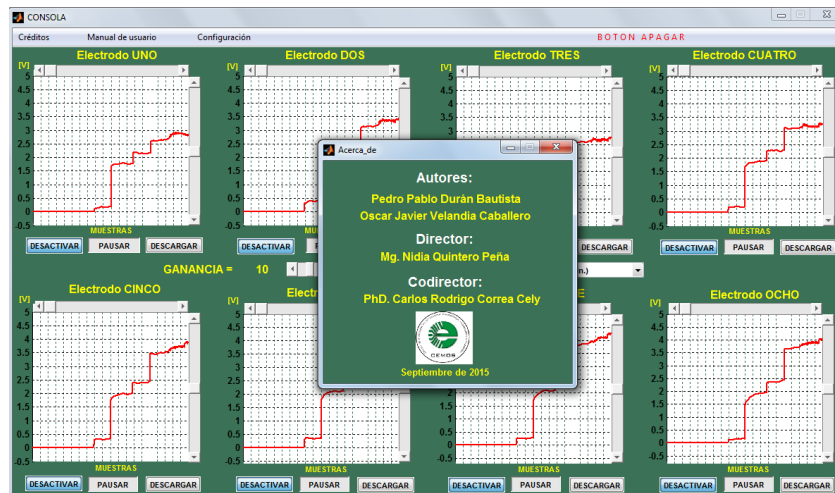
- Ver Manual de usuario (Anexo G), para tener una guía de uso del aplicativo. Ver Figura No. 44.

Figura No. 44. Opción de Manual de Usuario.



- Acceder a la opción “Créditos”. Ver Figura No. 45.

Figura No. 45. Ventana de Créditos de la Aplicación.



La Ventana consola, permite que todas las opciones nombradas para el uso del usuario bacteriólogo sean accesibles para el usuario Ingeniero, a quien adicionalmente se le permite la opción de “configuración”, esta presenta un acceso por contraseña, como se muestra en la Figura No. 46. En este módulo de configuración es donde el ingeniero realiza cambios y ajustes individuales en el valor de Nivel de DC, esto para que los ocho electrodos presenten condiciones de inicio similares.

La opción de configuración, muestra los valores de Nivel de tensión que presenta cada uno de los ocho electrodos, el valor de tensión del electrodo de referencia, los cuales no son ajustables ya que son los leídos por el equipo. Permite el ingreso de un valor denominado “Nivel de ajuste”, el cual es el valor de nivel de tensión en el que se estabiliza la señal para dar inicio a la lectura de datos, de esta forma se realiza el ajuste. (Ver Figura No. 48).

Figura No. 46. Ventana de acceso a Configuración.



La aplicación tiene por defecto condiciones iniciales de nivel de tensión para los electrodos antes de ser activados por primera vez, en la Figura No. 47 se observan los valores iniciales.

Figura No. 47. Ventana de Configuración para ajuste del nivel de tensión de los electrodos.

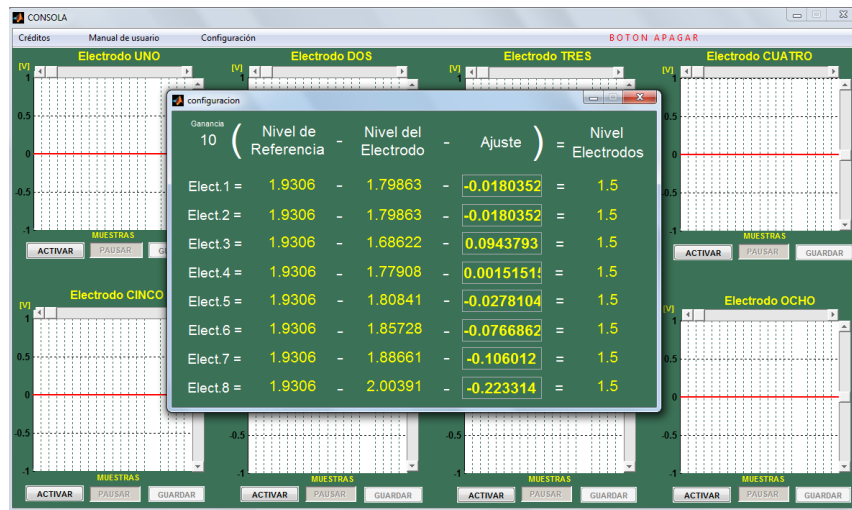
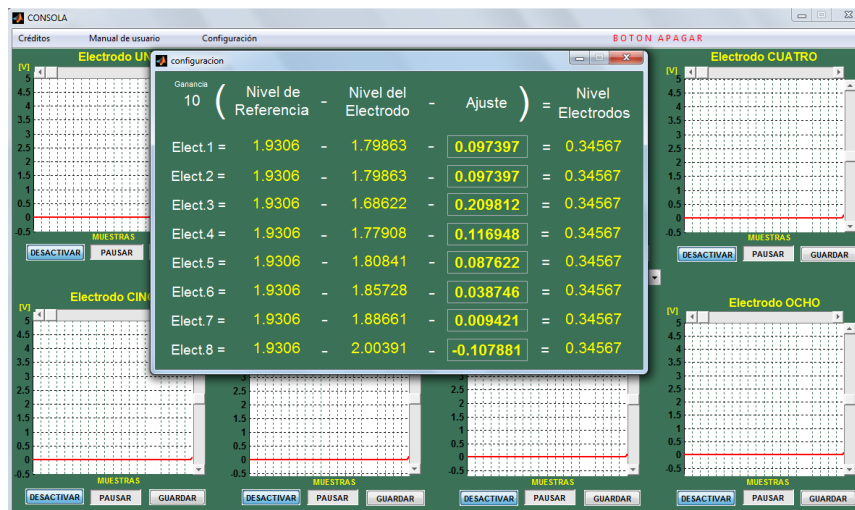
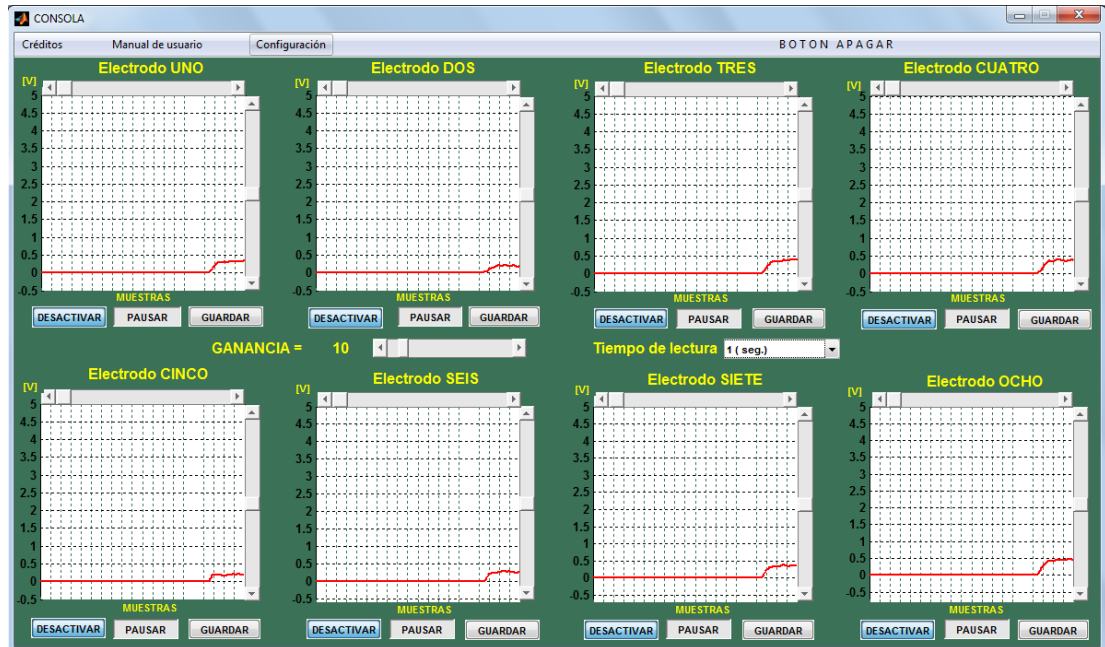


Figura No. 48. Ventana de Configuración con niveles de tensión ajustados.



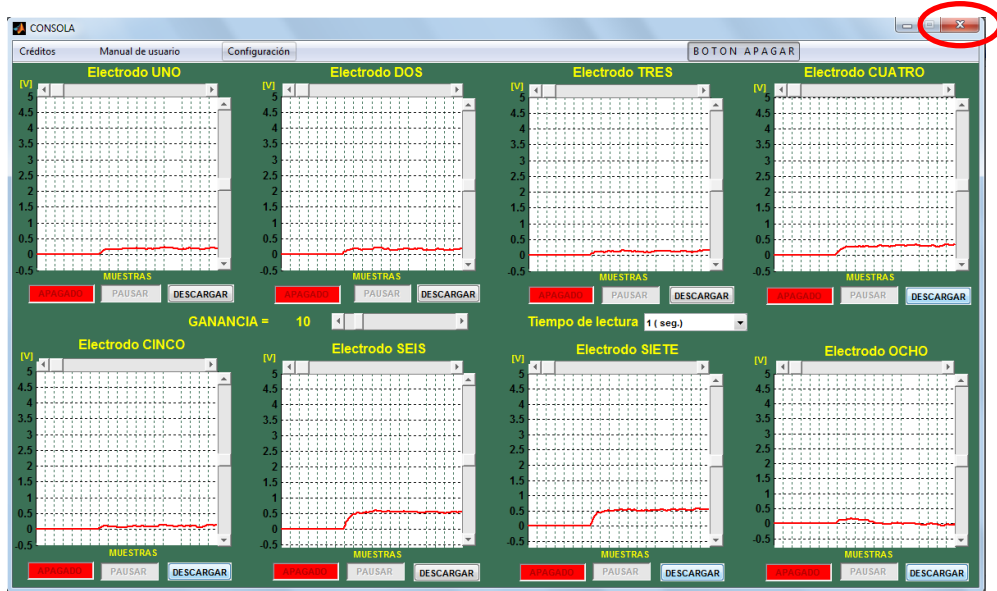
En la Figura No. 49 se muestran los electrodos en operación y ajustados a un mismo nivel de tensión.

Figura No. 49. ElectrodoS activos con niveles de tensión ajustados.



- Para terminar el uso del software, se hace por medio del “BOTON APAGAR”, este botón en su presentación hace intermitencia en su color de letra entre negro y rojo. Su función es apagar la comunicación entre el computador y el equipo pero no cierra la ventana “Consola” mostrada en la Figura No. 40. Permite que el usuario pueda manipular las 8 ventanas gráficas y guarde los datos obtenidos, además esta función deshabilita los botones de ACTIVAR y PAUSAR, como se muestra en la Figura No. 50.

Figura No. 50. Consola después de oprimir BOTON APAGAR y opción de Cerrar.



Otra opción para cerrar la aplicación es dar “click” en el botón cerrar de la ventana “Consola” (Círculo rojo de la Figura No. 50).

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El objetivo de este capítulo, es comprobar mediante pruebas, el buen funcionamiento del equipo. Se harán variaciones en las condiciones del cultivo bacteriano, de forma que los cambios provocados por estas variaciones sean detectados por el equipo.

Para la realización de las pruebas se utilizó la bacteria *Saccharomyces cerevisiae*, conocida como la levadura del pan, del vino y de la cerveza, ya que esta presenta un crecimiento rápido y significativo.

4.1. PREPARACIÓN Y DETECCIÓN DEL CULTIVO BACTERIANO

Se procedió a preparar los cultivos de población bacteriana en las cajas de Petri en solución de agua potable de uso común. Estos se realizaron con diferentes condiciones. A continuación se describe el proceso de detección.

4.1.1. Prueba No. 1. En dos cajas de Petri se colocaron 15 centímetros cúbicos [c.c.] de levadura y 5 c.c. de levadura, respectivamente. A estas dos cajas se le adicionaron igual cantidad de agua 2 [ml], la caja de Petri con 15 c.c. de levadura se colocó en el electrodo No. 6 y la caja con 5 c.c. de levadura, se colocó en el electrodo No. 5, además se colocaron tres cajas de Petri con 15 [ml] de agua y 0.3 c.c. de levadura, en los electrodos No. 2, No. 4 y No. 8. La selección de los electrodos no interfiere en la detección de los datos, puede ser de forma aleatoria. Figura No. 51.

Figura No. 51. Cultivos en Cajas de Petri, (a) 15 c.c. de levadura (Caja izquierda) y 5 c.c. de levadura (Caja derecha) y 2 [ml] de agua y (b) solución de 15 [ml] de agua (centro) y 0.3 c.c. de levadura (izquierda).



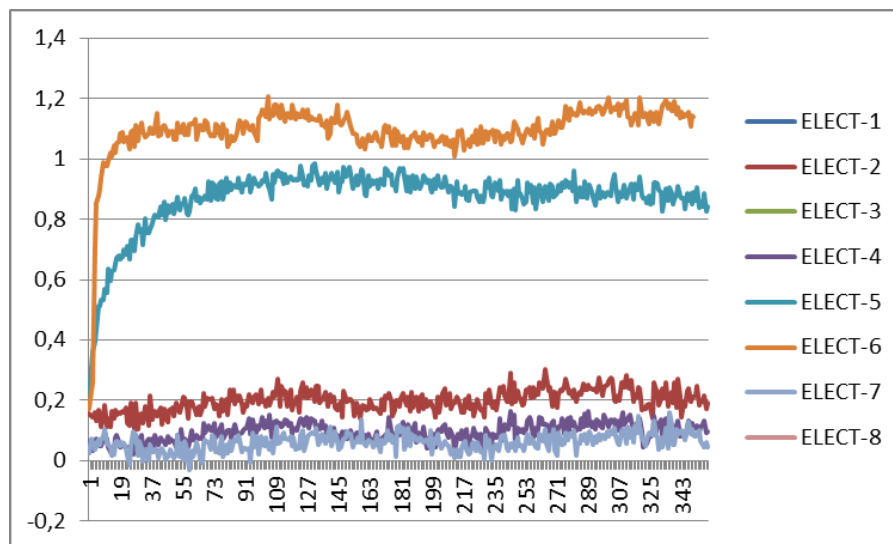
La Figura No. 52, muestra las gráficas de los datos leídos por el equipo, que describen el comportamiento de los cultivos bacterianos en las diferentes cajas de Petri y los electrodos usados.

Se observó que las cajas de Petri con 15 [ml] de agua y 0.3 c.c. de levadura, se mantienen constantes en su nivel inicial de detección, indicando que en esta solución no hay crecimiento bacteriano. Los electrodos usados fueron el No. 2, el No. 4 y el No. 7.

En el electrodo No. 5, se colocó la caja de Petri con 5 c.c. de levadura y 2 [ml] de agua. Se observó que el nivel de la solución sube a un nivel inicial de 0.6 [V] después de transcurrido el tiempo (2 días 11 horas y 40 minutos), esta solución crece a un nivel máximo de (0,984782452 [V]) que sería la detección de un crecimiento bacteriano. Luego empieza a mostrar un decrecimiento, que representa la muerte de las bacterias, (ver Figura No. 52).

En el electrodo No. 4, se colocó la caja de Petri con 15c.c. de levadura y 2 [ml] de agua. Se observó que el nivel de voltaje de la solución sube a un nivel inicial de 0.85 [V], debido a que contiene más levadura. Transcurrido un tiempo de 2 días 11 horas y 40 minutos, esta solución crece a un nivel máximo de 1,208247219 [V], que sería la detección de un crecimiento bacteriano y luego empieza a mostrar un decrecimiento, que representa la muerte de las bacterias, (ver Figura No. 52).

Figura No. 52. Imagen gráfica de la detección del equipo en sus electrodos con cajas de Petri preparadas.



La tabla de datos de las gráficas de la Figura No. 52, se encuentra en el **Anexo F**, Tabla No. F1, que son los datos guardados en el archivo de Excel generado por el software.

4.1.2. Prueba No. 2. Se procedió a colocar la misma cantidad de levadura pero con diferente cantidad de agua como indica la Tabla No. 3.

Tabla No. 3. Diferentes tipos de soluciones para ser detectadas.

	Levadura en c.c.	Agua en [ml]
Electrodo 1	2.5	1
Electrodo 2	2.5	2
Electrodo 3	2.5	3
Electrodo 4	2.5	4
Electrodo 5	2.5	5
Electrodo 6	2.5	6
Electrodo 7	2.5	7
Electrodo 8	2.5	8

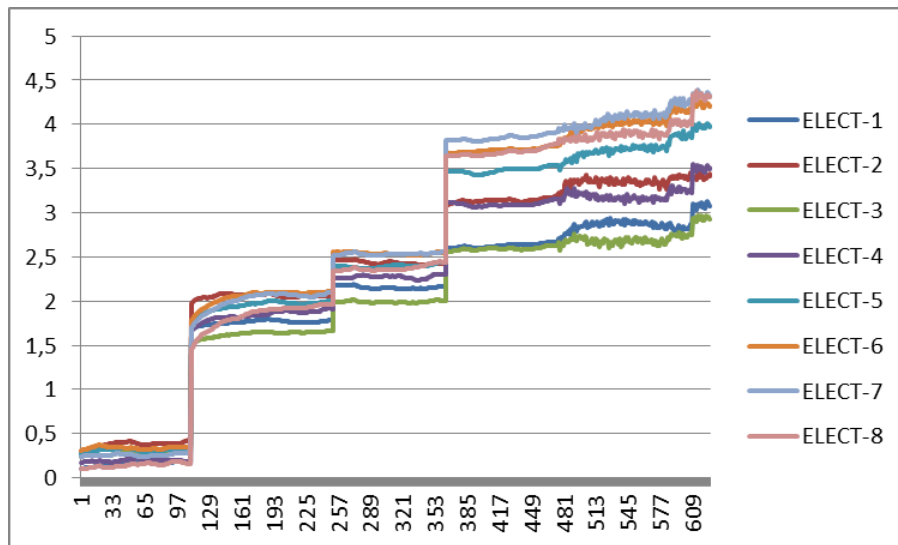
La Figura No. 53, muestra la detección que hace el equipo. Los electrodos usados y el comportamiento en las diferentes cajas de Petri.

Figura No. 53. Conexión de los electrodos al equipo.



La Figura No. 54, muestra la detección que hace el equipo. Los electrodos usados y el comportamiento en las diferentes cajas de Petri.

Figura No. 54. Gráfica de la detección del equipo en sus electrodos con cajas de Petri preparadas.



En la Figura No. 54, se observan 4 niveles (escalones), los cuales son:

- **Primer nivel:** Es la detección de los electrodos sin nada.
- **Segundo nivel:** Es la detección de los electrodos con caja de Petri.
- **Tercer nivel:** Es la detección de los electrodos más los 2.5 c.c. de levadura.
- **Cuarto nivel:** Es la detección de los electrodos más los 2.5 c.c. de levadura más los diferentes valores de agua.

En el último nivel se observó el crecimiento que tiene la levadura en las diferentes soluciones. Nueva mente se puede comprobar que el equipo detecta un crecimiento de población bacteriana.

4.2. ESTUDIOS DE LA SACCHAROMYCES CEREVISIAE [6]

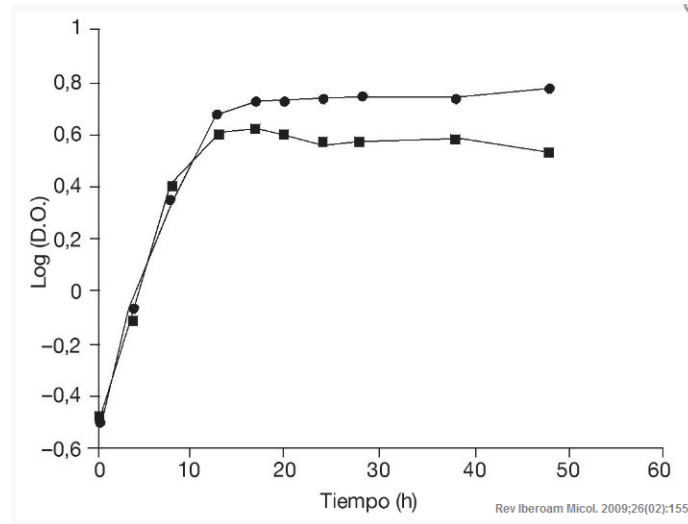
La existencia de estudios realizados por otras instituciones y la comparación de resultados son importantes para la veracidad y mayor credibilidad de los resultados obtenidos en este trabajo.

Un estudio para evaluar la vitalidad y la viabilidad de la levadura pro biótica *Saccharomyces boulardii* después de su congelación y descongelación, y el efecto del pre acondicionamiento fisiológico sobre dichas propiedades^(*). Los resultados indican que la velocidad específica de crecimiento (0,3 h⁻¹) y la biomasa (2-3× 10⁸ células/ml) de *Saccharomyces boulardii* obtenida en frascos agitados tanto a 28 como a 37 °C fueron semejantes.

Se realizaron fermentaciones en lote y en lote alimentado con la finalidad de evaluar la cantidad y calidad de la biomasa de levadura obtenida. En primer lugar, se determinaron las curvas de crecimiento de la levadura en medio contenido en frascos Erlenmeyer incubados con agitación durante 48 h a temperaturas de 28 y 37 °C (Figura No. 55) con la finalidad de evaluar los parámetros cinéticos.

^(*) Studies of viability and vitality after freezing of the probiotic yeast *Saccharomyces boulardii*: physiological preconditioning effect, <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-micologia-290-articulo-estudios-viabilidad-vitalidad-frente-al-13139640>
Consulta en Octubre 13 de 2015.

Figura No. 55. Curvas de crecimiento de *Saccharomyces boulardii*. (En frascos agitados durante 48 h a 28 °C y 37 °C).



Fuente: PARDO, Silvina. GALVAGNO, Miguel. CERRUTTI, Patricia. Studies of viability and vitality after freezing of the probiotic yeast *Saccharomyces boulardii*: physiological preconditioning effect. Buenos Aires, 2009 adaptada por autores.

Al comparar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas por el equipo con los electrodos diseñados y construidos, con los estudios realizados por instituciones especializadas [10], se observó que las Figuras No. 52 y 54 mostraron un comportamiento igual, al que muestra la Figura No. 55. Demostrándose así el correcto funcionamiento y confiabilidad del equipo, en la detección de crecimiento de cultivos bacterianos.

5. CONCLUSIONES

- Se cumplieron todos los objetivos académicos aprobados en el plan de trabajo de grado el cual hace parte de la línea de trabajo “desarrollo de nuevos prototipos” del grupo de investigación CEMOS.
- Se incrementó la funcionalidad del equipo construido en trabajos de grado anteriores. Se mejoró su capacidad de lectura para el uso simultáneo en varias muestras de cultivos bacterianos y el almacenamiento masivo de los resultados experimentales.
- Se diseñaron siete tipos de electrodos teniendo en cuenta aspectos como el objeto a detectar, forma, tamaño y comportamiento del crecimiento bacteriano (Figura.1).
- Se construyeron ocho electrodos (con la misma configuración) que resultaron ser los más apropiados desde el punto de vista de sensibilidad y facilidad de construcción, para la presente aplicación.
- Se desarrolló una aplicación con el uso de la herramienta Matlab, la cual permite al usuario una interacción fácil con el equipo, durante experimentos en tiempo real.
- Se realizaron pruebas preliminares que demostraron todas las nuevas bondades del equipo.

6. RECOMENDACIONES

- Modificar el software implementado para adaptarlo a futuros trabajos con comunicación por wifi.
- Desarrollar un dispositivo que permita una mejor distribución espacial en la conexión de los electrodos con el equipo.

CITAS

- [1] QUINTERO, Nidia. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Colombia, Bucaramanga, 2012. Trabajo de Investigación de Maestría. . Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander.
- [2] SALVUCCI, Emiliano. Hacia una Nueva Biología. Seminario Crecimiento Microbiano. [en línea], <<https://esalvucci.wordpress.com/crecimiento-microbiano>> [citado en 09 de Abril de 2010].
- [3] ALLAUCA, Veronica. Desarrollo de la tecnología de elaboración de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) germinado fresco para aumentar el valor nutritivo del grano. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Escuela de Bioquímica y Farmacia. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2005.
- [4] DESAI, S. P. VOLDMAN, Joel. “Cell-based sensors for quantifying the physiological impact of microsystems”. Integr. Biol. (Camb). 2011, vol. 3, no. 1, pp. 48–56.
- [5] FREEMAN, Bob A; Microbiología de Burrows 22a Edición, Editorial Interamericana, España, 1986. Pags. 57- 62.
- [6] PARDO, Silvina. GALVAGNO, Miguel. CERRUTTI, Patricia. Studies of viability and vitality after freezing of the probiotic yeast *Saccharomyces boulardii*: physiological preconditioning effect. Laboratorio de Microbiología Industrial, 2009, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. [en línea], <<http://www.elsevier.es/es-revista-revista->

iberoamericana-micologia-290-articulo-estudios-viabilidad-vitalidad-frente-al-13139640> [citado en 07 de Octubre de 2015].

- [7] SMITH, J.R. Field mice: Extracting hand geometry from electric field measurements. IBM Systems Journal. USA, Massachusetts, 1996. 35, 587-608.

- [8] Nexans Global expert in cables and cabling systems. Cables Apantallados [en línea], <http://www.nexans.es/eservice/Spaines_ES/navigate_257769/Cables_apantallados.html> [citado en 07 de Octubre de 2015].

- [9] ARIZA, Jairo. Sistema prototipo de instrumentación basado en la acción de un campo eléctrico. Trabajo de grado en Ingeniería. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Área de instrumentación. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005.

- [10] OLIVA, Alfredo. Estudio de los procesos celulares inducidos por campos eléctricos en sistemas Lab-on-a-Chip. Trabajo de Doctorado. Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC) - Laboratorio de Nanobioingeniería Departamento de Electrónica - Universidad de Barcelona, 2014

BIBLIOGRAFIA

ARIZA CASTAÑEDA, Jairo Andrés. . Sistema prototipo de instrumentación basado en la acción de un campo eléctrico. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Área de instrumentación, 2005. 102p.

PEÑA FLOREZ, Julián Andrés. Sistema Prototipo de Detección de Crecimiento de Cultivos Celulares. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Área de instrumentación, 2010 102p.

QUINTERO PEÑA, Nidia. Detección de la variación de volumen de semillas mediante el uso de un campo eléctrico de baja frecuencia y baja intensidad. Tesis Maestría. Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Área de instrumentación, 2012 105p.

ANEXOS

Anexo A. Valor capacitancia electrodo tipo fef

Tabla No. A1. Cálculo capacitancias extremos

Permitividad del aire	L	Valor de capacitancia Total extremos[F]
8,854187817600E-12	0,8	
Cantidad de extremos	Distancia D [mm]	
14	0,5	1,586670456914E-13

Tabla No. A2. Cálculos de Capacitancia entre franjas.

L [mm]	A [mm]	Permitividad del aire		Capacitancia entre:	Distancia D [mm]:	Valor de capacitancia:
0,8	28	8,854187817600E-12				
				Capacitancia entre:	Distancia D [mm]:	Valor de capacitancia:
2 y 1	0,5	3,966676142285E-13		10 y 1	10,9	1,819576212057E-14
2 y 3	0,5	3,966676142285E-13		10 y 3	8,3	2,389563941135E-14
2 y 5	3,1	6,397864745621E-14		10 y 5	5,7	3,479540475688E-14
2 y 7	5,7	3,479540475688E-14		10 y 7	3,1	6,397864745621E-14
2 y 9	8,3	2,389563941135E-14		10 y 9	0,5	3,966676142285E-13
2 y 11	10,9	1,819576212057E-14		10 y 11	0,5	3,966676142285E-13
2 y 13	13,5	1,469139311957E-14		10 y 13	3,1	6,397864745621E-14
2 y 15	16,1	1,231887000710E-14		10 y 15	5,7	3,479540475688E-14
4 y 1	3,1	6,397864745621E-14		12 y 1	13,5	1,469139311957E-14
4 y 3	0,5	3,966676142285E-13		12 y 3	10,9	1,819576212057E-14
4 y 5	0,5	3,966676142285E-13		12 y 5	8,3	2,389563941135E-14
4 y 7	3,1	6,397864745621E-14		12 y 7	5,7	3,479540475688E-14
4 y 9	5,7	3,479540475688E-14		12 y 9	3,1	6,397864745621E-14
4 y 11	8,3	2,389563941135E-14		12 y 11	0,5	3,966676142285E-13
4 y 13	10,9	1,819576212057E-14		12 y 13	0,5	3,966676142285E-13
4 y 15	13,5	1,469139311957E-14		12 y 15	3,1	6,397864745621E-14
6 y 1	5,7	3,479540475688E-14		14 y 1	16,1	1,231887000710E-14
6 y 3	3,1	6,397864745621E-14		14 y 3	13,5	1,469139311957E-14
6 y 5	0,5	3,966676142285E-13		14 y 5	10,9	1,819576212057E-14
6 y 7	0,5	3,966676142285E-13		14 y 7	8,3	2,389563941135E-14
6 y 9	3,1	6,397864745621E-14		14 y 9	5,7	3,479540475688E-14
6 y 11	5,7	3,479540475688E-14		14 y 11	3,1	6,397864745621E-14
6 y 13	8,3	2,389563941135E-14		14 y 13	0,5	3,966676142285E-13
6 y 15	10,9	1,819576212057E-14		14 y 15	0,5	3,966676142285E-13
8 y 1	8,3	2,389563941135E-14		16 y 1	18,7	1,060608594194E-14
8 y 3	5,7	3,479540475688E-14		16 y 3	16,1	1,231887000710E-14
8 y 5	3,1	6,397864745621E-14		16 y 5	13,5	1,469139311957E-14
8 y 7	0,5	3,966676142285E-13		16 y 7	10,9	1,819576212057E-14
8 y 9	0,5	3,966676142285E-13		16 y 9	8,3	2,389563941135E-14
8 y 11	3,1	6,397864745621E-14		16 y 11	5,7	3,479540475688E-14
8 y 13	36,9	5,374899921795E-15		16 y 13	3,1	6,397864745621E-14
8 y 15	8,3	2,389563941135E-14		16 y 15	0,5	3,966676142285E-13
				Suma1=		7,598516328956E-12

Anexo B. Valor capacitancia electrodo cepillo o fef

Figura No. B1. Áreas acotadas para medir la capacitancia del electrodo

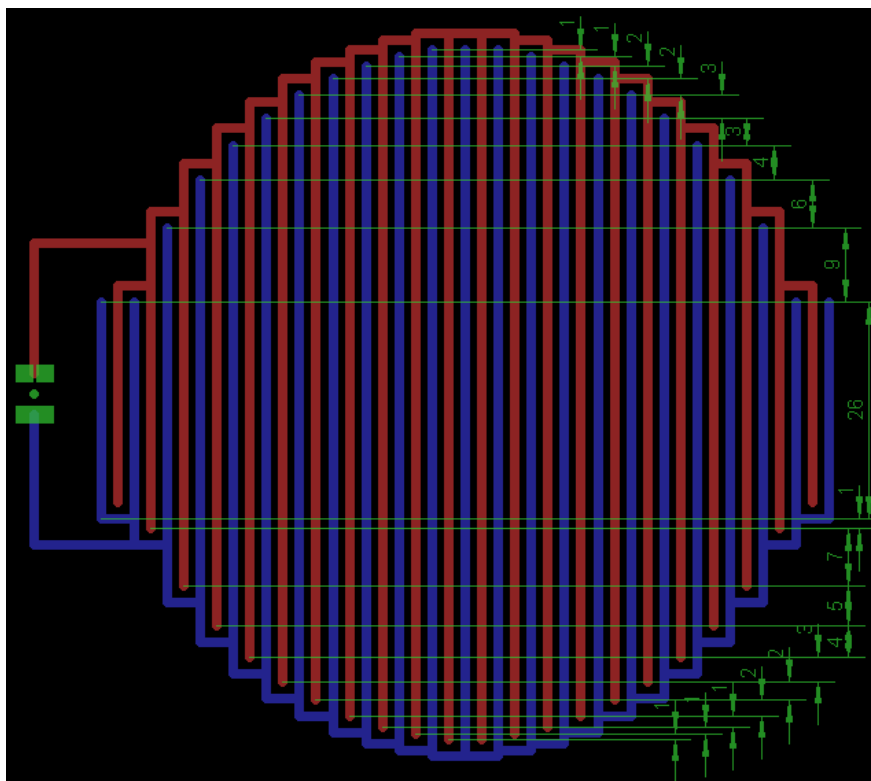


Tabla No. B1. Intervalo de valores de capacitancia existentes.

Capacitancia entre:	Distancia D [mm]	Valor de capacitancia:
1 y 2	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
2 y 3	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
2 y 5	5	$1.770837564 \times 10^{-15}$
2 y 7	9	$9.837986464 \times 10^{-16}$
4 y 3	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
4 y 5	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
4 y 1	5	$1.770837564 \times 10^{-15}$
4 y 7	5	$1.770837564 \times 10^{-15}$
6 y 5	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
6 y 7	1	$8.854187818 \times 10^{-15}$
6 y 3	5	$1.770837564 \times 10^{-15}$
6 y 1	9	$9.837986464 \times 10^{-16}$
Capacitancia parcial Área 1 =		$6.217607445 \times 10^{-14}$

Anexo C. Valor capacitancia electrodo snake_op

Figura No. C1. Zonificación de áreas en el electrodo "SNAKE"

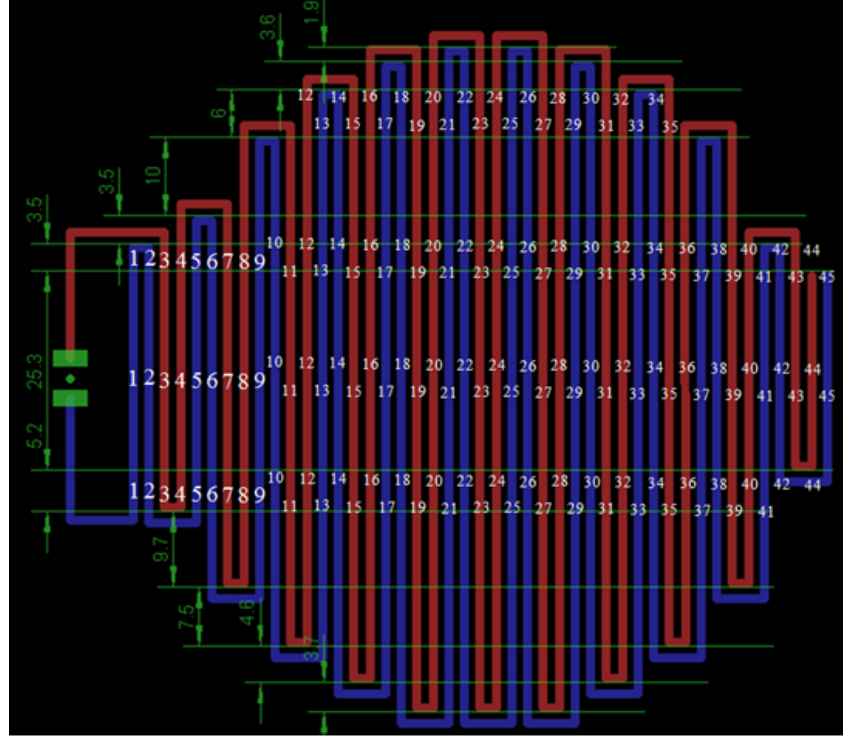


Tabla No. C1. Cálculos de los valores de capacitancia

C. entre:	D [mm]:	Valor C.									
A	24 y 25	1	1,68E-14	A	24 y 25	1	5,31E-14	A	32 y 30	3	1,77E-14
	24 y 26	3	5,61E-15		24 y 26	3	1,77E-14		32 y 33	1	5,31E-14
	27 y 25	3	5,61E-15		24 y 29	9	5,90E-15		32 y 34	3	1,77E-14
	27 y 26	1	1,68E-14		24 y 30	11	2,90E-15		35 y 25	19	2,80E-15
	28 y 25	5	3,36E-15		27 y 25	3	1,77E-14		35 y 26	17	3,13E-15
	28 y 26	3	5,61E-15		27 y 26	1	5,31E-14		35 y 29	11	4,83E-15
	24 y 25	1	3,19E-14		27 y 29	3	1,77E-14		35 y 30	9	5,90E-15
	24 y 26	3	1,06E-14		27 y 26	1	5,31E-14		35 y 33	3	1,77E-14
	24 y 29	9	3,54E-15		27 y 30	5	1,06E-14		35 y 34	1	5,31E-14
	24 y 30	11	2,90E-15		27 y 33	11	4,83E-15		24 y 25	1	8,85E-14
A	27 y 25	3	1,06E-14	27 y 34	13	4,09E-15	24 y 26	3	2,95E-14		
	27 y 26	1	3,19E-14	28 y 25	5	1,06E-14	24 y 29	9	9,84E-15		
	27 y 29	3	1,06E-14	28 y 26	3	1,77E-14	24 y 30	11	8,05E-15		
	27 y 30	5	6,38E-15	28 y 29	1	5,31E-14	24 y 33	17	5,21E-15		
	28 y 25	5	6,38E-15	28 y 30	3	1,77E-14	24 y 34	19	4,66E-15		
	28 y 26	3	1,06E-14	28 y 33	9	5,90E-15	24 y 37	25	3,54E-15		
	28 y 29	1	3,19E-14	28 y 34	11	4,83E-15	24 y 38	27	3,28E-15		
	28 y 30	3	1,06E-14	31 y 25	11	4,83E-15	27 y 25	3	2,95E-14		
	31 y 25	11	2,90E-15	31 y 26	9	5,90E-15	27 y 26	1	8,85E-14		
	31 y 26	9	3,54E-15	31 y 29	3	1,77E-14	27 y 29	3	2,95E-14		
A	31 y 29	3	1,06E-14	31 y 30	1	5,31E-14	27 y 30	5	1,77E-14		
	31 y 30	1	3,19E-14	31 y 33	3	1,77E-14	27 y 33	11	8,05E-15		
	31 y 33	3	1,77E-14	31 y 34	5	1,06E-14	27 y 34	13	6,81E-15		
	32 y 25	13	4,09E-15	32 y 25	13	4,09E-15	27 y 37	19	4,66E-15		
	32 y 26	11	4,83E-15	32 y 26	11	4,83E-15	27 y 38	21	4,22E-15		
	32 y 29	5	1,06E-14	32 y 29	5	1,06E-14	28 y 25	5	1,77E-14		
	32 y 30	3	1,77E-14				28 y 26	3	2,95E-14		
	32 y 33	1	5,31E-14								
	32 y 34	3	1,77E-14								
	32 y 35	5	1,06E-14								

	28 y 29	1	8,85E-14		28 Y 38	19	3,26E-15		24 v 25	1	5,31E-14
	28 y 30	3	2,95E-14		28 Y 41	25	2,48E-15		24 v 26	3	1,77E-14
	28 y 33	9	9,84E-15		28 Y 42	27	2,30E-15		24 v 29	9	5,90E-15
	28 y 34	11	8,05E-15	A	31 Y 25	11	5,63E-15		24 v 30	11	4,83E-15
	28 y 37	17	5,21E-15	R	31 Y 26	9	6,89E-15		24 v 33	17	3,13E-15
	28 y 38	19	4,66E-15	E	31 Y 29	3	2,07E-14		24 v 34	19	2,80E-15
	31 y 25	11	8,05E-15	A	31 Y 30	1	6,20E-14		24 v 37	25	2,13E-15
	31 y 26	9	9,84E-15		31 Y 33	3	2,07E-14		24 v 38	27	1,97E-15
	31 y 29	3	2,95E-14	5	31 Y 34	5	1,24E-14		24 v 41	33	1,61E-15
	31 y 30	1	8,85E-14		31 Y 37	11	5,63E-15		24 v 42	35	1,52E-15
	31 y 33	3	2,95E-14	Y	31 Y 38	13	4,77E-15		24 v 45	41	1,30E-15
	31 y 34	5	1,77E-14		31 Y 41	19	3,26E-15		27 Y 25	3	1,77E-14
	31 y 37	11	8,05E-15	6	31 Y 42	21	2,95E-15		27 Y 26	1	5,31E-14
	31 y 38	13	6,81E-15		32 Y 25	13	4,77E-15		27 Y 29	3	1,77E-14
	32 y 25	13	6,81E-15		32 Y 26	11	5,63E-15		27 Y 30	5	1,06E-14
	32 y 26	11	8,05E-15		32 Y 29	5	1,24E-14		27 Y 33	11	4,83E-15
	32 y 29	5	1,77E-14		32 Y 30	3	2,07E-14		27 Y 34	13	4,09E-15
	32 y 30	3	2,95E-14		32 Y 33	1	6,20E-14		27 Y 37	19	2,80E-15
	32 y 33	1	8,85E-14		32 Y 34	3	2,07E-14		27 Y 38	21	2,53E-15
	32 y 34	3	2,95E-14		32 Y 37	9	6,89E-15		27 Y 41	27	1,97E-15
A	32 y 37	9	9,84E-15		32 Y 38	11	5,63E-15		27 Y 42	29	1,83E-15
R	32 y 38	11	8,05E-15		32 Y 41	17	3,65E-15		27 Y 45	35	1,52E-15
E	35 y 25	19	4,66E-15		32 Y 42	19	3,26E-15		28 Y 25	5	1,06E-14
A	35 y 26	17	5,21E-15		35 Y 25	19	3,26E-15		28 Y 26	3	1,77E-14
4	35 y 29	11	8,05E-15		35 Y 26	17	3,65E-15		28 Y 29	1	5,31E-14
	35 y 30	9	9,84E-15		35 Y 29	11	5,63E-15		28 Y 30	3	1,77E-14
	35 y 33	3	2,95E-14		35 Y 30	9	6,89E-15		28 Y 33	9	5,90E-15
	35 y 34	1	8,85E-14		35 Y 33	3	2,07E-14		28 Y 34	11	4,83E-15
	35 y 37	3	2,95E-14		35 Y 34	1	6,20E-14		28 Y 37	17	3,13E-15
	35 y 38	5	1,77E-14		35 Y 37	3	2,07E-14		28 Y 38	19	2,80E-15
	36 y 25	21	4,22E-15		35 Y 38	5	1,24E-14		28 Y 41	25	2,13E-15
	36 y 26	19	4,66E-15		35 Y 41	11	5,63E-15		28 Y 42	27	1,97E-15
	36 y 29	13	6,81E-15		35 Y 42	13	4,77E-15		28 Y 45	33	1,61E-15
	36 y 30	11	8,05E-15		36 Y 25	21	2,95E-15	A	31 Y 25	11	4,83E-15
	36 y 33	5	1,77E-14		36 Y 26	19	3,26E-15	R	31 Y 26	9	5,90E-15
	36 y 34	3	2,95E-14		36 Y 29	13	4,77E-15	E	31 Y 29	3	1,77E-14
	36 y 37	1	8,85E-14		36 Y 30	11	5,63E-15	A	31 Y 30	1	5,31E-14
	36 y 38	3	2,95E-14		36 Y 33	5	1,24E-14		31 Y 33	3	1,77E-14
	39 y 25	27	3,28E-15		36 Y 34	3	2,07E-14		31 Y 34	5	1,06E-14
	39 y 26	25	3,54E-15	A	36 Y 37	1	6,20E-14	7	31 Y 37	11	4,83E-15
	39 y 29	19	4,66E-15	R	36 Y 38	3	2,07E-14		31 Y 38	13	4,09E-15
	39 y 30	17	5,21E-15	E	36 Y 41	9	6,89E-15		31 Y 41	19	2,80E-15
	39 y 33	11	8,05E-15	A	36 Y 42	11	5,63E-15		31 Y 42	21	2,53E-15
	39 y 34	9	9,84E-15		39 Y 25	27	2,30E-15		31 Y 45	27	1,97E-15
	39 y 37	3	2,95E-14		39 Y 26	25	2,48E-15		32 Y 25	13	4,09E-15
	39 y 38	1	8,85E-14	5	39 Y 29	19	3,26E-15		32 Y 26	11	4,83E-15
	24 y 25	1	6,20E-14	Y	39 Y 30	17	3,65E-15		32 Y 29	5	1,06E-14
	24 y 26	3	2,07E-14		39 Y 33	11	5,63E-15		32 Y 30	3	1,77E-14
	24 y 29	9	6,89E-15	6	39 Y 34	9	6,89E-15		32 Y 33	1	5,31E-14
	24 y 30	11	5,63E-15		39 Y 37	3	2,07E-14		32 Y 34	3	1,77E-14
	24 y 33	17	3,65E-15		39 Y 38	1	6,20E-14		32 Y 37	9	5,90E-15
	24 y 34	19	3,26E-15		39 Y 41	3	2,07E-14		32 Y 38	11	4,83E-15
	24 y 37	25	2,48E-15		39 Y 42	5	1,24E-14		32 Y 41	17	3,13E-15
A	24 y 38	27	2,30E-15		40 Y 25	29	2,14E-15		32 Y 42	19	2,80E-15
R	24 y 41	33	1,88E-15		40 Y 26	27	2,30E-15		32 Y 45	25	2,13E-15
E	24 y 42	35	1,77E-15		40 Y 29	21	2,95E-15		35 Y 25	19	2,80E-15
A	27 Y 25	3	2,07E-14		40 Y 30	19	3,26E-15		35 Y 26	17	3,13E-15
5	27 Y 26	1	6,20E-14		40 Y 33	13	4,77E-15		35 Y 29	11	4,83E-15
	27 Y 29	3	2,07E-14		40 Y 34	11	5,63E-15		35 Y 30	9	5,90E-15
Y	27 Y 30	5	1,24E-14		40 Y 37	5	1,24E-14		35 Y 33	3	1,77E-14
	27 Y 33	11	5,63E-15		40 Y 38	3	2,07E-14		35 Y 34	1	5,31E-14
6	27 Y 34	13	4,77E-15		40 Y 41	1	6,20E-14		35 Y 37	3	1,77E-14
	27 Y 37	19	3,26E-15		40 Y 42	3	2,07E-14		35 Y 38	5	1,06E-14
	27 Y 38	21	2,95E-15		44 Y 25	35	1,77E-15		35 Y 41	11	4,83E-15
	27 Y 41	27	2,30E-15		44 Y 26	33	1,88E-15		35 Y 42	13	4,09E-15
	27 Y 42	29	2,14E-15		44 Y 29	27	2,30E-15		35 Y 45	19	2,80E-15
	28 Y 25	5	1,24E-14		44 Y 30	25	2,48E-15		36 Y 25	21	2,53E-15
	28 Y 26	3	2,07E-14		44 Y 33	19	3,26E-15		36 Y 26	19	2,80E-15
	28 Y 29	1	6,20E-14		44 Y 34	17	3,65E-15		36 Y 29	13	4,09E-15
	28 Y 30	3	2,07E-14		44 Y 37	11	5,63E-15		36 Y 30	11	4,83E-15
	28 Y 33	9	6,89E-15		40 Y 38	9	6,89E-15		36 Y 33	5	1,06E-14
	28 Y 34	11	5,63E-15		40 Y 41	3	2,07E-14		36 Y 34	3	1,77E-14
	28 Y 37	17	3,65E-15		40 Y 42	1	6,20E-14		36 Y 37	1	5,31E-14

	36 Y 38	3	1,77E-14		39 Y 42	5	1,06E-14		40 Y 45	9	5,90E-15		
	36 Y 41	9	5,90E-15		39 Y 45	11	4,83E-15		44 Y 25	35	1,52E-15		
A R E A 7	36 Y 42	11	4,83E-15	A R E A 7	40 Y 25	29	1,83E-15	A R E A 7	44 Y 26	33	1,61E-15		
	36 Y 45	17	3,13E-15		40 Y 26	27	1,97E-15		44 Y 29	27	1,97E-15		
	39 Y 25	27	1,97E-15		40 Y 29	21	2,53E-15		44 Y 30	25	2,13E-15		
	39 Y 26	25	2,13E-15		40 Y 30	19	2,80E-15		44 Y 33	19	2,80E-15		
	39 Y 29	19	2,80E-15		40 Y 33	13	4,09E-15		44 Y 34	17	3,13E-15		
	39 Y 30	17	3,13E-15		40 Y 34	11	4,83E-15		44 Y 37	11	4,83E-15		
	39 Y 33	11	4,83E-15		40 Y 37	5	1,06E-14		44 Y 38	9	5,90E-15		
	39 Y 34	9	5,90E-15		40 Y 38	3	1,77E-14		44 Y 41	3	1,77E-14		
	39 Y 37	3	1,77E-14		40 Y 41	1	5,31E-14		44 Y 42	1	5,31E-14		
	39 Y 38	1	5,31E-14		40 Y 42	3	1,77E-14		44 Y 45	1	5,31E-14		
	39 Y 41	3	1,77E-14										

	L [mm]	Eo
A [mm]	1	8,85E-12
1,9	AREA1 =	5,383346193101E-14
3,6	AREA2 =	2,168793059613E-13
6	AREA3 =	6,109383587709E-13
10	AREA4 =	1,465413444770E-12
7	AREA5Y6 =	1,354980897191E-12
12,65	AREA7 =	1,239706790414E-12
	Total C =	1,480818187450E-11

Permitividad del aire	L	A
8,854187817600E-12	1	3
Cantidad de extremos:	Distancia D [mm]:	Valor de capacitancia total extremos[F]:
22	1	5,843763959616E-13
Permitividad del aire	L	A
8,854187817600E-12	1	34
Cantidad de extremos efecto borde:	Distancia D [mm]:	Valor de capacitancia total extremos[F]:
4	1	1,204169543194E-12

	Permitividad fibra vidrio
	14,2
Capacitancia efecto borde	2,539735233600E-11
Capacitancia electrodo =	4,078991060646E-11

Anexo D. Capacitancia electrodo circular cepillo snake_op

Tabla No. D1. Datos de la capacitancia electrodo CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP

Area		Permitividad del aire
2*pi*0.001		8,854187817600E-12
a	b	Valor de (capacitancia/L)*A:
1,5	4,5	5,063888632860E-14
1,5	6,5	3,793977796036E-14
1,5	12,5	2,623848491248E-14
1,5	14,5	2,452193168058E-14
1,5	20,5	2,127470688931E-14
1,5	22,5	2,054337943308E-14
1,5	28,5	1,889409262637E-14
1,5	30,5	1,846868255315E-14
1,5	36,5	1,742956355596E-14
1,5	38,5	1,714304835548E-14
3,5	4,5	2,213661316050E-13
3,5	6,5	8,986911014619E-14
3,5	12,5	4,370306588946E-14
3,5	14,5	3,913962519210E-14
3,5	20,5	3,147236598221E-14
3,5	22,5	2,989785453323E-14
3,5	28,5	2,652778218256E-14
3,5	30,5	2,569673681669E-14
3,5	36,5	2,372844238877E-14
3,5	38,5	2,320055568571E-14
5,5	8,5	1,277973658303E-13
5,5	10,5	8,603489896920E-14
5,5	16,5	5,063888632860E-14
5,5	18,5	4,586270773325E-14
5,5	24,5	3,723915314521E-14
5,5	26,5	3,538070570947E-14
5,5	32,5	3,131593212689E-14
5,5	34,5	3,029744173309E-14
7,5	8,5	4,444799123134E-13
7,5	10,5	1,653405444791E-13
7,5	16,5	7,055867013451E-14
7,5	18,5	6,161755713919E-14
7,5	24,5	4,699603660006E-14
7,5	26,5	4,407436567525E-14
7,5	32,5	3,793977796036E-14
7,5	34,5	3,645507880519E-14
9,5	12,5	2,027151371122E-13
9,5	14,5	1,315634420896E-13
9,5	20,5	7,233143874119E-14
9,5	22,5	6,452213622208E-14
9,5	28,5	5,063888632860E-14
9,5	30,5	4,769447786598E-14
9,5	36,5	4,133109739145E-14
9,5	38,5	3,975549299170E-14
11,5	12,5	6,672035178133E-13
11,5	14,5	2,40004979746E-13
11,5	20,5	9,623704269324E-14
11,5	22,5	8,288905327225E-14
11,5	28,5	6,129917969153E-14
11,5	30,5	5,703676809867E-14
11,5	36,5	4,816811934273E-14
11,5	38,5	4,604153510477E-14

13,5	16,5	2,772328200535E-13
13,5	18,5	1,765656912669E-13
13,5	24,5	9,334572038094E-14
13,5	26,5	8,248511595745E-14
13,5	32,5	6,332306326268E-14
13,5	34,5	5,929266014458E-14
15,5	16,5	8,898302167672E-13
15,5	18,5	3,144310186960E-13
15,5	24,5	1,215126289027E-13
15,5	26,5	1,037330119697E-13
15,5	32,5	7,513843583229E-14
15,5	34,5	6,953025979660E-14
17,5	20,5	3,516059571966E-13
17,5	22,5	2,213661316050E-13
17,5	28,5	1,140704061021E-13
17,5	30,5	1,001438682709E-13
17,5	36,5	7,567901184018E-14
17,5	38,5	7,055867013451E-14
19,5	20,5	1,112418215360E-12
19,5	22,5	3,887643244421E-13
19,5	28,5	1,465982193535E-13
19,5	30,5	1,243706309843E-13
19,5	36,5	8,874254024678E-14
19,5	38,5	8,178318536741E-14
21,5	24,5	4,259104663277E-13
21,5	26,5	2,660673607231E-13
21,5	32,5	1,346423823667E-13
21,5	34,5	1,176395669638E-13
23,5	24,5	1,334986876547E-12
23,5	26,5	4,630473299327E-13
23,5	32,5	1,715783362239E-13
23,5	34,5	1,448918162510E-13
25,5	28,5	5,001769848285E-13
25,5	30,5	3,107123837798E-13
25,5	36,5	1,551234197622E-13
25,5	38,5	1,350369709219E-13
27,5	28,5	1,557544491535E-12
27,5	30,5	5,373009272699E-13
27,5	36,5	1,964936195165E-13
27,5	38,5	1,653405444791E-13
29,5	32,5	5,744202659782E-13
29,5	34,5	3,553224536147E-13
31,5	32,5	1,780095204019E-12
31,5	34,5	6,115358400410E-13
33,5	36,5	6,486482962189E-13
33,5	38,5	3,999092953359E-13
35,5	36,5	2,002641315416E-12
35,5	38,5	6,857581410854E-13
Capacitancia 1		2,298649717521E-11

		Permitividad fibra vidrio
		14,2
a	b	Valor de (capacitancia/L)*A:
35,5	38,5	9,737765603412E-12
C. lineas		3,28E-13
		Capacitancia Total
		3,305186772787E-11

Anexo E. Comportamiento de cuatro tipos de electrodos

Tabla No. E1. Nivel de Tensión de los electrodos

CANTIDAD DE MEZCLA	NIVEL DE TENSIÓN			
	SNAKE_OP 47 [mm]	SNAKE_OP 40 [mm]	CIRCULAR CEPILLO SNAKE_OP	SNAKE_OP RING
0 ml	0,43	0,43	0,43	0,43
5 ML	0,63	0,4313	0,6	0,5
10 ML	0,754	0,4378	0,737	0,618
15 ML	0,87	0,484	0,833	0,78
20 ML	0,94	0,585	0,97	0,88
25 ML	1	0,63	1,094	1
30 ML	1,104	0,86	1,17	1,09
35 ML	1,165	0,939	1,24	1,143
40 ML	1,215	0,93	1,273	1,27
45 ML	1,24	0,93	1,328	1,305
50 ML	1,245	0,97	1,359	1,318
55 ML	1,267	0,972	1,369	1,33
60 ML	1,285	1	1,385	1,33
65 ML	1,314	1,034	1,414	1,33
70 ML	1,36	1,084	1,43	1,345
75 ML	1,388	1,084	1,45	1,359
80 ML	1,415	1,1	1,469	1,373
85 ML	1,425	1,124	1,555	1,417
90 ML	1,444	1,125	1,569	1,442
95 ML	1,449	1,135	1,581	1,492
100 ML	1,46	1,111	1,589	1,52
105 ML	1,47	1,1	1,598	1,534
110 ML	1,48	1,1	1,604	1,55
111 ML	1,485	1,1	1,613	1,561
112 ML	1,494	1,1	1,618	1,563
113 ML	1,509	1,1	1,621	1,558
114 ML	1,52	1,1	1,623	1,56
115 ML	1,52	1,1	1,645	1,56
116 ML	1,525	1,08	1,658	1,555
117 ML	1,532	1,08	1,67	1,553
118 ML	1,538	1,095	1,67	1,554
119 ML	1,549	1,07	1,676	1,554
120 ML	1,549	1,075	1,678	1,554
121 ML	1,55	1,075	1,678	1,55
122 ML	1,555	1,1	1,686	1,549
123 ML	1,559	1,1	1,689	1,549
124 ML	1,567	1,1	1,69	1,55
125 ML	1,575	1,1	1,678	1,544
126 ML	1,574	1,1	1,681	1,54
127 ML	1,579	1,1	1,684	1,538
128 ML	1,583	1,09	1,679	1,534
129 ML	1,586	1,08	1,677	1,534
130 ML	1,587	1,1	1,676	1,534
131 ML	1,59	1,09	1,675	1,534
132 ML	1,59	1,12	1,676	1,534
133 ML	1,59	1,1	1,675	1,534
134 ML	1,593	1,12	1,679	1,534
135 ML	1,596	1,12	1,678	1,534
136 ML	1,599	1,12	1,68	1,534
137 ML	1,6	1,12	1,68	1,534
138 ML	1,6	1,12	1,688	1,54
139 ML	1,6	1,12	1,688	1,54
140 ML	1,6	1,09	1,693	1,54
141 ML	1,605	1,12	1,697	1,54
142 ML	1,6	1,12	1,699	1,54
143 ML	1,606	1,125	1,7	1,545
144 ML	1,601	1,13	1,702	1,545
145 ML	1,603	1,13	1,704	1,545
146 ML	1,605	1,11	1,705	1,549
147 ML	1,607	1,13	1,708	1,549
148 ML	1,61	1,12	1,708	1,545

Anexo F. Datos leídos prueba No. 1

Tabla No. F1. Datos leídos por el equipo y guardados en el archivo .xls.

DATOS - ELECTRODOS						
	Año	Mes	Día	Hora	Minutos	Segundos
ELECT-1						
ELECT-2	2015		10	9	12	28
ELECT-3						
ELECT-4	2015		10	9	12	28
ELECT-5	2015		10	9	12	28
ELECT-6	2015		10	9	13	39
ELECT-7	2015		10	9	12	28
ELECT-8						
Tiempo de muestreo (seg):					600	

ELECT-2	ELECT-4	ELECT-5	ELECT-6	ELECT-7
0,20823652	0,1128769	0,90808748	1,20824722	0,04673998
0,26356694	0,111874	0,88642559	1,20377882	0,08152832
0,24108684	0,13874408	0,94244045	1,20044191	0,11758797
0,26057374	0,13881039	0,90013101	1,19586051	0,1072258
0,28156958	0,13182006	0,8710538	1,19386998	0,05774553
0,25812317	0,11205308	0,86379347	1,19227643	0,05285934
0,22748867	0,10345001	0,90638253	1,18711667	0,05621413
0,25321244	0,12437315	0,89009813	1,18653062	0,09576807
0,20880375	0,12834551	0,87376022	1,18554923	0,08072085
0,21711769	0,13306816	0,85779694	1,18422328	0,05893704
0,21443336	0,1049634	0,9048174	1,18236833	0,15869025
0,21109255	0,1303437	0,92138533	1,18047976	0,05836005
0,1676929	0,0876883	0,93232974	1,17956792	0,04886906
0,23796159	0,13060229	0,9584867	1,1788467	0,11423839
0,24725975	0,11416856	0,95086183	1,17855526	0,07600683
0,25841174	0,13915263	0,87344679	1,17760047	0,09879351
0,16970592	0,08558857	0,95643922	1,17742743	0,06350985
0,27609962	0,12826142	0,91025506	1,17562997	0,09064378
0,27055307	0,12702127	0,92987968	1,17534498	0,09424003
0,23965392	0,0742027	0,82466547	1,17309781	0,04622316
0,24347368	0,11960626	0,91323126	1,17290356	0,10370828
0,25471098	0,11636304	0,86876602	1,16965787	0,06789682
0,27092991	0,131979	0,90773137	1,16954761	0,08768782
0,22791195	0,13655644	0,87266092	1,16936125	0,0615228
0,19909517	0,13767213	0,94847955	1,16899391	0,10662547
0,24868419	0,14464809	0,87193787	1,16867108	0,07204617
0,2609191	0,15983403	0,89151202	1,16592772	0,09883867
0,18038279	0,06034054	0,86330763	1,16541827	0,04106695
0,23897546	0,12987612	0,91249602	1,16494573	0,09748874
0,23327811	0,14391555	0,92217058	1,16489318	0,08046715

0,19683555	0,1439346	0,92760354	1,16406344	0,05698404
0,19422065	0,10066115	0,90978685	1,1639016	0,08224694
0,20884013	0,14174472	0,90910796	1,16384334	0,08007281
0,25785769	0,13728063	0,93944951	1,16287992	0,09921083
0,27135259	0,13028646	0,91536621	1,16186044	0,09002174
0,22134768	0,14109829	0,87411477	1,16139497	0,08624225
0,18858676	0,10843177	0,92996235	1,16115235	0,07858218
0,23409753	0,15524323	0,92426749	1,16055274	0,08703043
0,23605982	0,12696536	0,87361487	1,16016195	0,05339356
0,18985921	0,08489027	0,85076659	1,15995254	0,05322545
0,22763077	0,10469148	0,88636399	1,15884378	0,11963523
0,20719404	0,07724393	0,86664479	1,15714537	0,06554353
0,17758613	0,08057063	0,84813802	1,15659635	0,09377828
0,20334955	0,1352688	0,88818502	1,15644953	0,07607284
0,23814404	0,13344307	0,86273687	1,15643699	0,12735017
0,22987647	0,09868265	0,92049353	1,15636191	0,08418426
0,19503023	0,07211449	0,95420528	1,1559093	0,09617924
0,27544459	0,13544976	0,87678203	1,15573961	0,09875928
0,23774021	0,10271586	0,84456064	1,15500111	0,07996861
0,14422677	0,08589132	0,86995567	1,15498948	0,09971045
0,19858797	0,10973314	0,92658886	1,15466074	0,04975404
0,23595936	0,11575953	0,86872614	1,15347578	0,05753601
0,23819799	0,15283664	0,87653698	1,15296774	0,08362264
0,21941853	0,11168882	0,91874321	1,15277144	0,11493469
0,23564111	0,12962308	0,96099507	1,152239	0,09973548
0,16952401	0,09715361	0,87677885	1,15155652	0,07320055
0,23956579	0,1403207	0,92056524	1,15117698	0,06971919
0,25434387	0,11118665	0,87305114	1,1505621	0,0704631
0,17155506	0,05497966	0,86756699	1,15051195	0,05106482
0,14794567	0,06162604	0,8091152	1,15045663	0,03921558
0,25150535	0,16316605	0,91368891	1,14971471	0,08991858
0,18167572	0,13252133	0,92006838	1,14964151	0,07301528
0,21058218	0,10263898	0,92694397	1,1494599	0,04348364
0,21447197	0,10698995	0,8875604	1,14873004	0,08433582
0,17609295	0,11487237	0,88089265	1,14861189	0,10638221
0,18064526	0,07628332	0,83284975	1,1484063	0,07019121
0,21745539	0,1091349	0,88628738	1,14784405	0,0585287
0,13980217	0,08331861	0,85363276	1,14758159	0,08482086
0,27085432	0,12402315	0,9591098	1,14750751	0,05820131
0,24009055	0,11323641	0,88884943	1,14667226	0,07159167
0,21029355	0,11561226	0,89219862	1,14653843	0,08024631
0,23732344	0,12623257	0,91895627	1,14606388	0,0801342
0,21163256	0,12628855	0,89579614	1,14478613	0,09139174
0,22577056	0,11950388	0,91807589	1,14466021	0,0909384
0,19604788	0,10203171	0,85857997	1,14447668	0,01869176
0,23230459	0,11410956	0,88354344	1,14438778	0,11435461
0,21342153	0,12379206	0,85068785	1,14403762	0,1064879
0,190375	0,10282299	0,91362805	1,14367252	0,06268246
0,19956838	0,10064377	0,88874003	1,14257103	0,05254911
0,2286759	0,09971088	0,94760674	1,14224935	0,02423475
0,22053642	0,11460375	0,93538457	1,14193591	0,06718688
0,24162716	0,13907466	0,88352638	1,14080037	0,11138714
0,2086309	0,09738957	0,94268192	1,14079059	0,07666772
0,15978375	0,12919602	0,934213	1,1407172	0,04216253
0,21244462	0,11690714	0,91484543	1,14067108	0,03262279
0,19569798	0,0857045	0,86990425	1,14048257	0,08573704
0,23271628	0,14210863	0,97537354	1,14032099	0,08497537
0,21221559	0,10426948	0,88992947	1,13973804	0,08595398
0,23066797	0,12453134	0,91543663	1,13962508	0,07584178
0,23460863	0,13928393	0,93040517	1,13883364	0,09115126

0,17824674	0,13113555	0,9507289	1,13882768	0,07506788
0,18229614	0,05746919	0,85452331	1,13815865	0,07482
0,17192024	0,04493143	0,86881477	1,13777043	0,07018952
0,19668001	0,10510288	0,86388878	1,13672973	0,06036244
0,23823018	0,15073923	0,90477162	1,13599587	0,07813715
0,17925503	0,12436527	0,94096563	1,13535604	0,06019697
0,19392503	0,10019828	0,95276045	1,13521614	0,05018106
0,24173557	0,14416974	0,92489623	1,13516326	0,06126828
0,23563547	0,12314528	0,93969638	1,13491989	0,08260529
0,24717724	0,08849268	0,90613265	1,13445424	0,05795871
0,2103842	0,08126727	0,87551648	1,13428217	0,09277281
0,2181635	0,10578515	0,88349685	1,13372403	0,0428264
0,18665756	0,10640131	0,91032901	1,13352394	0,02107376
0,18382741	0,1508835	0,90233865	1,13299645	0,03642687
0,23288049	0,13607494	0,97482605	1,13147114	0,09461842
0,16620731	0,07806464	0,90004955	1,13090304	0,03956421
0,19466045	0,13282795	0,98478245	1,12982328	0,08976149
0,1924644	0,10415154	0,9336941	1,12979146	0,03856638
0,21299655	0,10681429	0,92789295	1,12922475	0,08400975
0,24725608	0,10774365	0,96036547	1,12853189	0,10832239
0,1791044	0,09252215	0,87590512	1,12790981	0,06940521
0,2154784	0,08704044	0,91190036	1,12759762	0,07038234
0,24724566	0,11586231	0,92984476	1,12752	0,05476099
0,22528124	0,10237235	0,90609591	1,12743555	0,08700273
0,20841569	0,08867475	0,90038394	1,12737761	0,07350767
0,23109131	0,08445341	0,97377839	1,1270925	0,07327141
0,21098027	0,11027457	0,94662096	1,12635924	0,08634286
0,22098175	0,11415024	0,91111068	1,126007	0,09228162
0,18354525	0,06187509	0,88941642	1,12478591	0,03652376
0,23181795	0,13638661	0,94786496	1,12404448	0,07350245
0,25794747	0,14852627	0,92291433	1,12357654	0,13062272
0,20393846	0,08566546	0,97410724	1,12354244	0,08924849
0,25807054	0,15320918	0,90174102	1,12346111	0,06179231
0,18773487	0,11040583	0,91260631	1,12304977	0,04073521
0,17938458	0,12887626	0,90818146	1,12132564	0,07184793
0,17570517	0,06777151	0,92060833	1,12072953	0,09764168
0,17596142	0,08430904	0,87297287	1,11998353	0,08293841
0,15597956	0,08374685	0,76510142	1,11995314	0,04319623
0,1812736	0,10905478	0,91766222	1,11881517	0,03870967
0,20705289	0,10668054	0,86720204	1,11730295	0,0622605
0,19579993	0,10173799	0,87730733	1,11694276	0,03212901
0,18883652	0,07737142	0,8693546	1,11625768	0,02902479
0,20250783	0,10929332	0,91903254	1,11616797	0,07810373
0,21145612	0,04720619	0,85086115	1,11530011	0,00175978
0,18350262	0,07080415	0,87346296	1,11526101	0,01462777
0,19939296	0,09163587	0,93730899	1,11507147	0,08298691
0,19427182	0,06015035	0,8241143	1,11477723	-0,02907794
0,1856717	0,11999075	0,89825182	1,11451079	0,03567354
0,18920495	0,08218726	0,87856156	1,11445672	0,09278542
0,1957285	0,05086661	0,82788646	1,11440659	0,03476399
0,16502771	0,07120797	0,86680792	1,11420428	0,01309754
0,14621685	0,09724918	0,92398209	1,11401859	0,05940729
0,1868875	0,09107229	0,89110631	1,11362418	0,02833888
0,19244732	0,06419769	0,73983922	1,11319602	0,08976579
0,19747492	0,07473409	0,93414858	1,11291395	0,04624084
0,26538012	0,13223741	0,91742587	1,11269218	0,10654297
0,21508728	0,08503817	0,96852289	1,11248473	0,06221364
0,17091932	0,05909387	0,85822193	1,11219666	0,02431059
0,15251472	0,07566719	0,85300062	1,1118542	0,00501801
0,24438993	0,07756868	0,85325789	1,11125996	0,06322868

0,204927	0,13118392	0,93747948	1,11110801	0,08746729
0,24418958	0,11459291	0,9050478	1,10993523	0,14764602
0,19036376	0,13591345	0,92024775	1,10949231	0,09121358
0,16827825	0,08757934	0,87665926	1,10847172	0,02755126
0,19650301	0,12143245	0,88577784	1,10812825	0,08758708
0,22253141	0,14524769	0,94473115	1,1075005	0,06704365
0,17621118	0,09405807	0,88360293	1,10734561	0,0186853
0,17932325	0,09069575	0,86383196	1,10650636	0,03594334
0,20270205	0,10054671	0,94980159	1,10573075	0,0898904
0,16998348	0,0798339	0,91303356	1,10503092	0,05635937
0,22372091	0,14111205	0,92281301	1,10427196	0,05212205
0,22801228	0,11565381	0,95204832	1,10374564	0,05561724
0,17427325	0,06439448	0,81641422	1,10357229	0,03591409
0,14670805	0,05113623	0,79660317	1,10350812	0,00592662
0,16561108	0,08599194	0,81567166	1,10302519	0,03540135
0,2160031	0,06984008	0,76571982	1,10262047	0,0533321
0,12050106	0,0677949	0,81219363	1,10256179	0,0415595
0,23619674	0,11509052	0,89427828	1,10196117	0,0690454
0,18169976	0,07201944	0,87473286	1,10190272	0,02930059
0,2299874	0,11041025	0,92840376	1,10047213	0,07823114
0,1685681	0,0806913	0,91523485	1,09975131	0,07546625
0,21921971	0,14114309	0,9437962	1,09949101	0,04276033
0,23155263	0,13200218	0,91998471	1,09749256	0,08773633
0,16112449	0,10034226	0,88054939	1,09734795	0,04513519
0,17525901	0,09028213	0,87240625	1,09678011	0,03017341
0,22400542	0,12387544	0,86609263	1,09673055	0,05622295
0,23060345	0,09352281	0,86014318	1,09663426	0,033934
0,27403408	0,12138354	0,8882104	1,09652597	0,0585832
0,2340655	0,08465985	0,83560932	1,09614537	0,04373177
0,19153068	0,07609934	0,88605418	1,0952708	0,02105493
0,17707925	0,07392048	0,87034938	1,09492276	-0,00446853
0,20527878	0,08935134	0,88848902	1,09476681	-0,00518576
0,1534274	0,07226745	0,75861799	1,09432187	0,06358349
0,20511579	0,09592954	0,93639896	1,09429627	0,05154191
0,17892466	0,07585629	0,8929129	1,0942683	0,03400185
0,25765998	0,14484076	0,91388357	1,09402243	0,08799184
0,17060082	0,02272975	0,7305922	1,09395733	0,09569131
0,16629754	0,06057158	0,82290325	1,09333915	0,02156399
0,16777042	0,07864703	0,91209992	1,09262296	0,05180569
0,12472166	0,03216613	0,71648428	1,09253696	-0,00142899
0,17544487	0,06445785	0,84841226	1,09243678	0,01605004
0,23389495	0,10358178	0,85766114	1,09182922	0,06698775
0,20245369	0,11680362	0,92538285	1,09094485	0,05938763
0,22539032	0,10961958	0,92327933	1,09001809	0,08507797
0,20566547	0,08953959	0,88398726	1,0899728	0,01494239
0,19893269	0,10073091	0,93533491	1,08951916	0,11098208
0,19190577	0,04810453	0,73088162	1,08894694	0,0489992
0,18612061	0,04121603	0,87685061	1,08825004	0,00208546
0,17495329	0,08637642	0,92493675	1,08776905	0,05851181
0,21166391	0,11588546	0,93553761	1,08717725	0,04428389
0,16230124	0,04937595	0,67441972	1,08712478	0,05992584
0,23440065	0,08771147	0,93604538	1,08691137	0,06759147
0,21559892	0,08643667	0,89374226	1,08681763	0,03374926
0,21456117	0,08915071	0,9045695	1,08680915	0,06420662
0,24459793	0,14546737	0,888503	1,08635137	0,05813415
0,30461578	0,12229139	0,91091748	1,08627177	0,10456154
0,17045012	0,11181005	0,94626936	1,08620956	0,06169817
0,17755666	0,10475173	0,85117755	1,0859692	0,05599667
0,20596316	0,09280176	0,95943263	1,085727	0,09966125
0,16910384	0,07454487	0,8386757	1,08569471	0,03793018

0,16064889	0,06782256	0,82904286	1,08569153	0,01280039
0,20319134	0,12617794	0,90080427	1,08564214	0,0807785
0,16179037	0,10042302	0,91836984	1,08517383	0,04047106
0,17935878	0,07249638	0,88935459	1,08504615	0,01488018
0,1922117	0,07198906	0,89939466	1,08471264	0,04439594
0,14783292	0,0692558	0,91638897	1,08468599	0,0627505
0,15751161	0,04542271	0,66873346	1,08457204	0,04893197
0,22722096	0,08074157	0,87787355	1,08420078	0,0327948
0,19413481	0,1047326	0,87615793	1,08378053	0,03466764
0,22102396	0,06357088	0,94144698	1,08334326	0,11079332
0,25452354	0,13905418	0,88790641	1,08324855	0,07509767
0,11583796	0,07417174	0,75568607	1,08280399	0,001089
0,19536327	0,10913121	0,89139486	1,08254939	0,04282136
0,13733827	0,07364517	0,78490571	1,08231023	0,02827686
0,22830981	0,13325206	0,87436255	1,0821019	0,10305757
0,15606158	0,03546229	0,80076111	1,08202053	0,02875802
0,14720864	0,09875478	0,91728642	1,08199406	0,02610875
0,19096023	0,09101542	0,94558033	1,08141711	0,06006909
0,2096852	0,10544825	0,880092	1,08140261	0,05050153
0,17532323	0,0781834	0,84316736	1,08130779	0,03547124
0,20806398	0,13143735	0,91191434	1,081252	0,0785456
0,20603266	0,10112169	0,92144987	1,0806676	0,08634002
0,19455641	0,06735112	0,90188603	1,07998678	0,09927271
0,20771324	0,09741054	0,88688367	1,07964583	0,05362389
0,19075144	0,07602018	0,92721997	1,07920249	0,0505952
0,13934808	0,04396688	0,81582814	1,07891991	-0,00069917
0,24479144	0,114117	0,91769761	1,07843571	0,08492256
0,17034206	0,09065336	0,94516615	1,07808216	0,06817224
0,20677532	0,0716066	0,86908557	1,07762761	0,06368836
0,24908997	0,08290801	0,89357955	1,07739277	0,0836297
0,17293976	0,09657603	0,92759103	1,0773181	0,08520048
0,16176122	0,05250022	0,80729284	1,0771951	0,01084088
0,17300996	0,12579503	0,9147975	1,07716427	0,0780038
0,24361699	0,1392401	0,92925265	1,07697693	0,05502124
0,18388613	0,07160961	0,88966975	1,07696431	0,02152971
0,2216152	0,11224004	0,90684952	1,07669178	0,04913051
0,20297229	0,10066219	0,86213093	1,07634584	0,03899014
0,18798662	0,08496701	0,894208	1,07578277	0,05553245
0,22317414	0,12685276	0,96955426	1,07576967	0,10786756
0,17480233	0,09915568	0,94490366	1,07488949	0,07375445
0,17653841	0,06188819	0,75264648	1,07480986	0,03822823
0,22860407	0,0920813	0,93329749	1,07429545	0,08965713
0,20140122	0,0736471	0,89717802	1,0739859	0,03253162
0,12766411	0,08124605	0,84586099	1,07387512	0,01171821
0,12554022	0,0453466	0,71051048	1,07329245	0,01621718
0,1805174	0,08673525	0,9676359	1,07270405	0,11652682
0,20818583	0,08771707	0,90099192	1,07252026	0,07686269
0,20333988	0,09835384	0,90459357	1,07248774	0,04036834
0,17901882	0,04759519	0,80120262	1,07180347	0,0385094
0,22033345	0,09330189	0,91521049	1,07049478	0,08224687
0,17086721	0,0605003	0,91614483	1,07022495	0,04698023
0,18416843	0,09513228	0,92243001	1,07000112	0,05534691
0,17591527	0,04262514	0,68503419	1,06933929	0,04319373
0,16426379	0,09615657	0,88899916	1,06772445	0,05039631
0,180959	0,08390165	0,92173665	1,06726415	0,0884973
0,2021808	0,12132369	0,92479307	1,06708913	0,07910456
0,18356556	0,08333792	0,95913135	1,06695451	0,07074638
0,21024859	0,10771197	0,90633249	1,06669022	0,0538347
0,14360722	0,03388952	0,87158023	1,06636869	0,00587881
0,21098303	0,06209998	0,94015725	1,06598525	0,06977232

0,18842749	0,0936954	0,85150105	1,0657575	0,03182837
0,15369946	0,08556174	0,86211228	1,06482937	0,06156134
0,20481147	0,06139618	0,93391747	1,06455665	0,06820341
0,18651795	0,1213524	0,90903275	1,06429512	0,07148737
0,19337394	0,04653728	0,85216598	1,06388762	0,0221202
0,19013656	0,0756221	0,89601773	1,06374371	0,03819605
0,19081949	0,09153858	0,90451191	1,06340406	0,04474379
0,21384067	0,02810539	0,86200234	1,06320712	0,01988033
0,19963462	0,09934651	0,94691335	1,06315811	0,08592883
0,21488012	0,12135578	0,88484325	1,06249745	0,08320763
0,17978221	0,04008228	0,92257372	1,06231679	0,06754987
0,18209356	0,05323332	0,89148107	1,06209912	0,06566934
0,14959054	0,06643375	0,81749908	1,06196022	0,01051437
0,18490071	0,06285596	0,92725145	1,0612108	0,06021542
0,16833158	0,06032989	0,90246973	1,06107834	0,05683936
0,10374792	0,05826348	0,78205889	1,06068014	0,01686623
0,20485484	0,07335911	0,90896483	1,06037436	0,06419748
0,21122765	0,1013283	0,94641365	1,06014385	0,08852063
0,23407909	0,10603146	0,91180252	1,05968422	0,06570665
0,21182352	0,11576852	0,91562614	1,05940175	0,06055595
0,18898025	0,1216968	0,83550921	1,05883321	0,04453242
0,22491463	0,10511898	0,9072633	1,05849312	0,03629574
0,16187922	0,05537247	0,69992221	1,05733733	0,05565339
0,20872604	0,11375727	0,96008826	1,05724505	0,09584547
0,2123194	0,07637346	0,92390735	1,05616975	0,0354126
0,23497729	0,10252303	0,91907555	1,05596488	0,06623231
0,15425396	0,05885633	0,93325583	1,05589624	0,02816701
0,28955558	0,16513471	0,89335405	1,05558122	0,05756191
0,14722743	0,11043365	0,89437673	1,05545448	0,05984271
0,16805616	0,07489731	0,87742787	1,05535963	0,04991751
0,16505511	0,09338583	0,90944148	1,05534049	0,06649922
0,1600154	0,10354792	0,91560276	1,05495703	0,06692223
0,16086091	0,06082452	0,6810348	1,05485482	0,05983895
0,19654666	0,08649063	0,92204128	1,05382716	0,05391767
0,16526389	0,07322658	0,85609996	1,05369721	0,02744622
0,18522026	0,10343168	0,86652338	1,05360086	0,04625134
0,17898106	0,0910379	0,91303105	1,05136952	0,07729081
0,2038216	0,08407152	0,90991939	1,05094328	0,0660934
0,14314919	0,04458859	0,89966481	1,05086057	0,05618126
0,17958164	0,05225539	0,8590351	1,05075764	0,03990592
0,15195009	0,08557565	0,67129356	1,05061539	0,06669267
0,22854218	0,06484686	0,86738903	1,0491505	0,08148887
0,17673627	0,10322999	0,86510859	1,04874876	0,03744957
0,24054983	0,11904139	0,93910726	1,04671098	0,0641204
0,20460629	0,08818499	0,87291809	1,04656836	0,05992492
0,23958621	0,11964199	0,85806025	1,04614992	0,06450701
0,16866032	0,0757679	0,96525074	1,04584398	0,13822451
0,14066398	0,03744808	0,63109776	1,04505722	0,02066144
0,203901	0,07770575	0,88821442	1,04486778	0,04823305
0,14855029	0,09073596	0,91480276	1,04439309	0,06155057
0,21945582	0,07975067	0,91941351	1,04352999	0,07005073
0,20001812	0,07783119	0,89221767	1,04195735	0,01505376
0,17271972	0,07590884	0,88923072	1,04102357	0,02733979
0,16908269	0,08893142	0,93148578	1,04081941	0,07313944
0,17290791	0,09613469	0,9086288	1,04076218	0,02285714
0,10032588	0,05660253	0,69693301	1,03922262	0,06452764
0,15363584	0,09969657	0,88737189	1,03867881	0,0258982
0,14117708	0,09072977	0,93133217	1,03866314	0,06260443
0,20521185	0,07251483	0,92591429	1,03805919	0,06738563
0,21065504	0,12150716	0,9400899	1,0363295	0,10771564

0,20819896	0,08198943	0,93906298	1,03609353	0,03531163
0,11513105	0,03691781	0,66589835	1,0329835	-0,01573682
0,1796145	0,08295201	0,88253192	1,03084055	0,05474568
0,15833989	0,05568162	0,88338553	1,02747258	0,05994361
0,1141374	0,02885147	0,59563971	1,02141262	0,04553774
0,16916264	0,07727144	0,65289175	1,02122889	0,06021319
0,19075224	0,02118066	0,84213302	1,00912814	0,00789954
0,16313365	0,03693958	0,62766	1,00814556	0,01850858
0,14218388	0,04443806	0,63490494	0,99424023	0,05262555
0,15143016	0,07474212	0,53430972	0,9892259	0,07539884
0,11360569	0,0682791	0,55539955	0,97732668	0,0590071
0,18430134	0,09144617	0,57011663	0,97696567	0,10358652
0,11435446	0,05079963	0,53075019	0,93634154	0,07235043
0,14842147	0,05069239	0,51297488	0,90172322	0,05261554
0,16763744	0,06174104	0,51412696	0,87919303	0,06712971
0,13382222	0,07400714	0,43546816	0,85247068	0,05625173
0,1608776	0,06215156	0,39333864	0,707125	0,03870474
0,14490024	0,03461029	0,36063129	0,25831637	0,062037
0,14981731	0,05100341	0,31217573	0,23088586	0,07147138
0,15808	0,06536332	0,21054286	0,17012688	0,02663474
0,21595532	0,11234201	0,85982482		0,08216334
0,24842024	0,11551872	0,90449416		0,08696792
0,18504578	0,09473677	0,83751458		0,0992848
0,19916316	0,1128421	0,85749833		0,06696926
0,19739813	0,11957553	0,84013721		0,0522523
0,2161688	0,13110888	0,88516636		0,04476127
0,17361022	0,0935771	0,82455139		0,05956231
0,19284791	0,09483435	0,84308487		0,04589128

Anexo G. MANUAL DE USUARIO

G 1. HARDWARE

En la Figura No. 48, se puede observar el equipo físico que consta de una tarjeta electrónica y una carcasa en acrílico transparente en la cual se tiene un interruptor para energizar o desenergizar el equipo, un conector hembra para el adaptador y nueve conectores para electrodos.

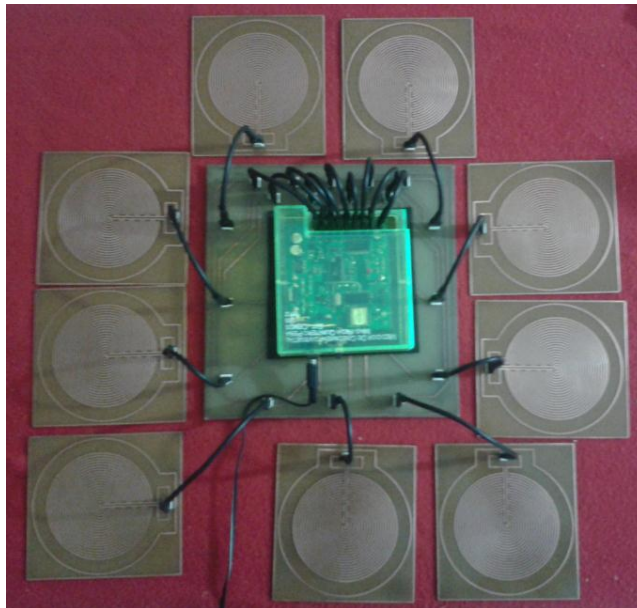
Los requerimientos para el buen funcionamiento del hardware son:

1. Usar un adaptador con salida de tensión de entre 15 y 25 VDC, y una corriente de mínimo 500 [mA].
2. No exponer a temperaturas de más de 40°C.
3. Limpiar con un paño seco, dado que el exceso de humedad o el agua pueden dañar la electrónica.

Para comenzar a usar el hardware, realice los siguientes pasos:

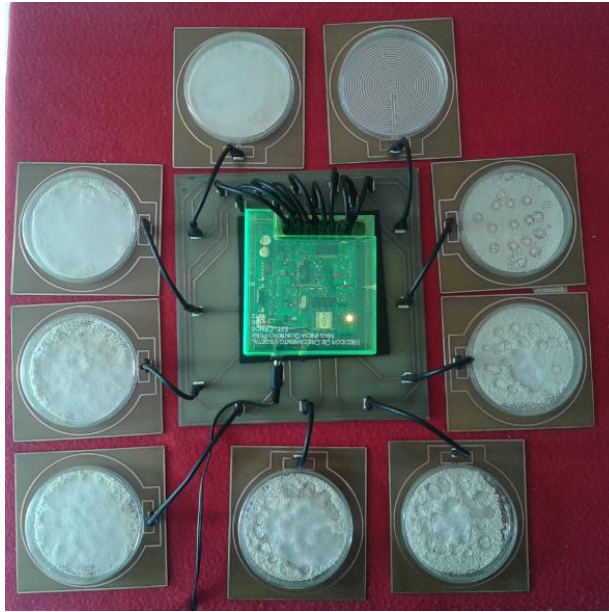
1. Conectar los electrodos que se desee usar, en los espacios destinados para ello, empezando desde el espacio marcado como E1, continuando con el E2, luego en E3 y así sucesivamente. Puede colocar hasta nueve electrodos a funcionar en el mismo experimento (Figura No. 48).

Figura No. 48. Conexión de los electrodos al equipo.



2. Colocar los sistemas vegetales dentro del campo eléctrico de los electrodos como se muestra en la Figura No. 49.

Figura No. 49. Colocación de las muestras en los electrodos.



3. Conectar el adaptador a la red eléctrica de 110 Vac y al equipo.
4. Mover el interruptor para energizar, debe iluminarse la luz roja que indica la correcta energización del sistema.

G 2. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO

Para instalar el aplicativo, es importante verificar que se tienen los siguientes requerimientos mínimos:

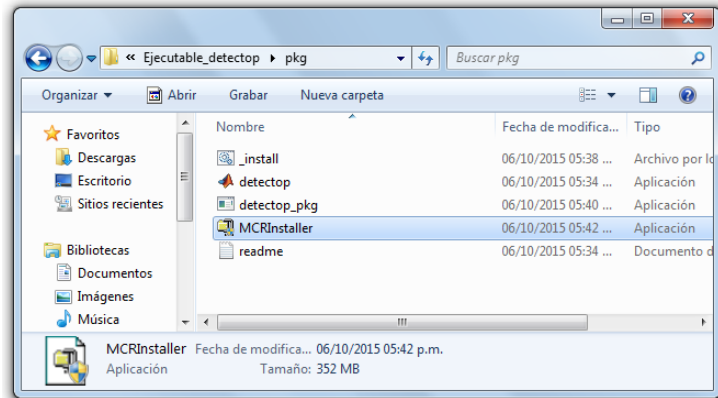
1. Sistema operativo Windows XP, Vista o Siete a 64 bits.
2. 1 GB o más de espacio en el disco duro.
3. 1 GB o más de memoria RAM.
4. Procesador de 1,8 GHz o mejor.
5. Dispositivo de comunicación por bluetooth.

Los requerimientos se han determinado de acuerdo a las pruebas que se han realizado en algunos computadores, sin embargo es posible que funcione en un

computador con características similares. Para realizar la instalación siga los siguientes pasos:

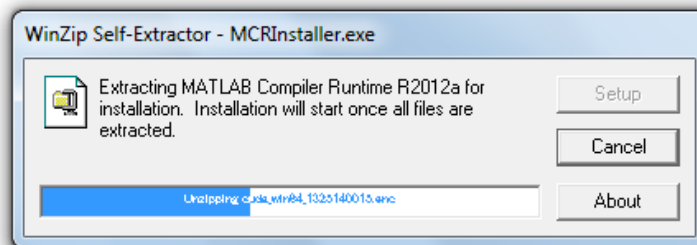
1. Copiar la carpeta de nombre “Ejecutable_detectop”, e ingresar a ella.
2. Abrir la carpeta de nombre “pkg”.
3. Ejecutar el archivo de instalación con el nombre “MCRInstaller.exe”, para iniciar la instalación del programa (Figura No.51).

Figura No. 51. Archivo de inicio de instalación.



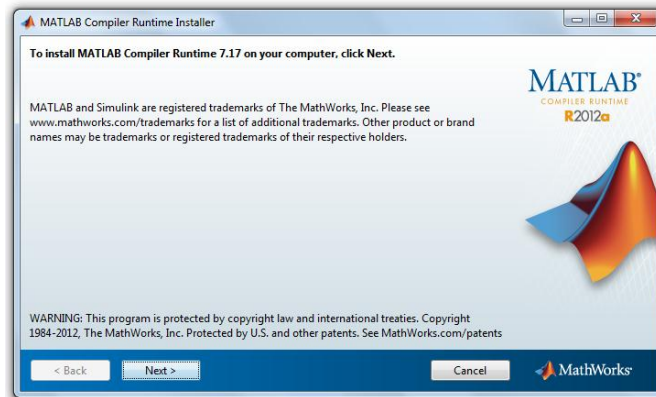
Inicia la instalación del MCRInstaller.exe (Figura No.52).

Figura No. 52. Proceso de instalación.



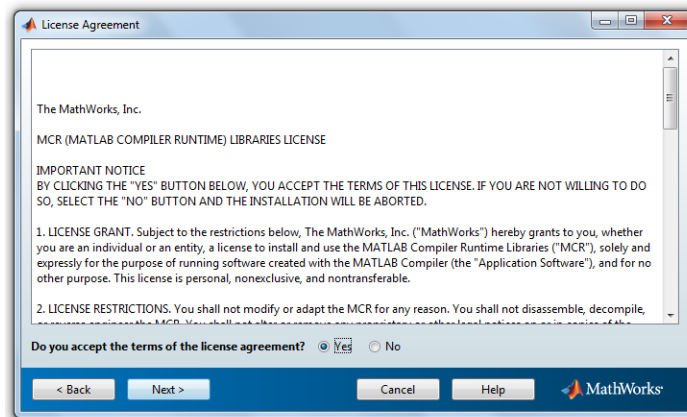
Aparece ventana de Matlab. (Figura No. 53)

Figura No. 53. Ventana de compilación de Matlab.



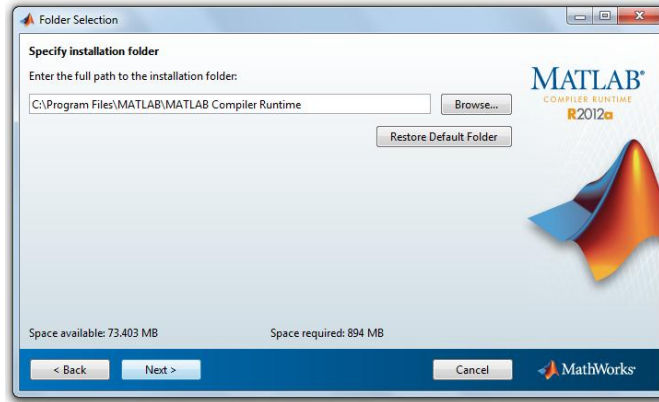
Se oprime Next, y aparece la siguiente ventana (Figura No. 54).

Figura No. 54. Ventana de License Agreement de Matlab.



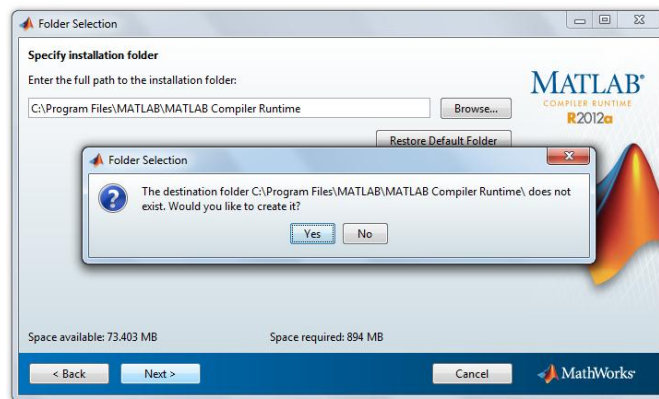
Se selecciona "Yes" y luego se da click en "Next". Aparece la ventana para la selección de la ruta donde se desea realizar la instalación de la aplicación, se recomienda dejar la ruta que sale por defecto. (Figura No. 55) y se da click en "Next".

Figura No. 55. Ventana de Folder Selection de Matlab.



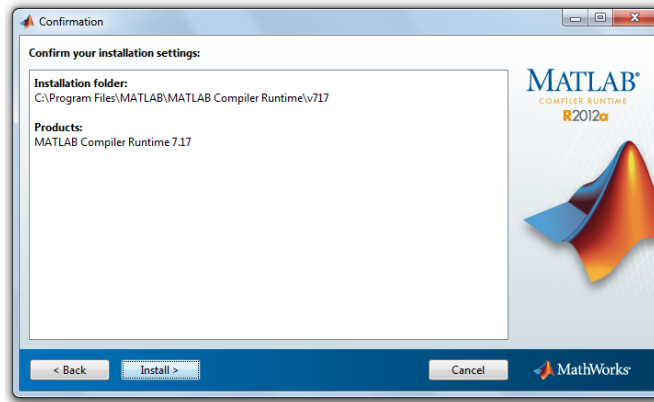
Aparecerá la ventana confirmación (Figura No. 56), se da click en “Yes”.

Figura No. 56. Ventana de confirmación de Folder Selection de Matlab.



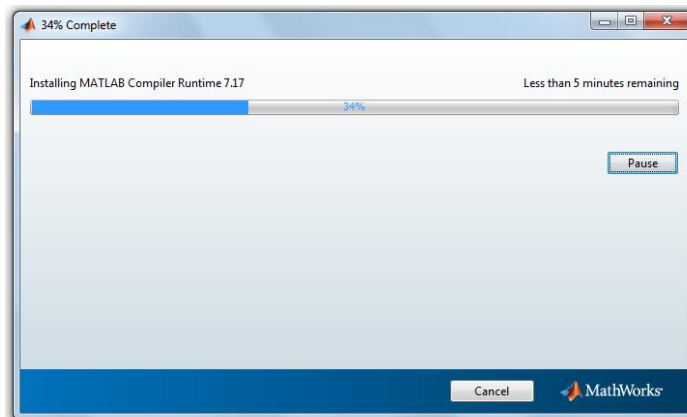
La figura No. 57, muestra la confirmación de la ruta para dar inicio a la instalación de librerías necesarias.

Figura No. 57. Ventana Confirmation de ruta



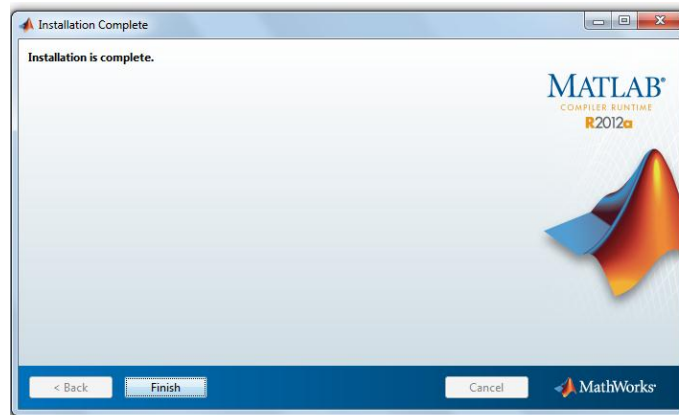
Se da click en “Install”, e inicia el proceso de instalación como se ve en la figura No. 58.

Figura No. 58. Inicio del proceso de instalación.



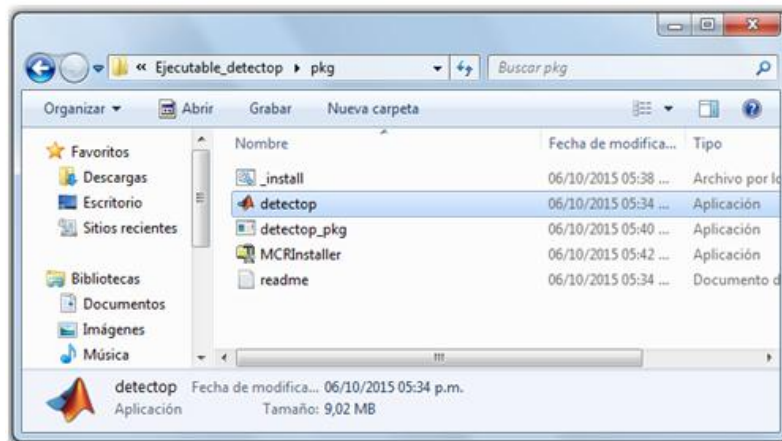
Terminada la instalación se da click en “Finish”. (Figura No. 59).

Figura No. 59. Ventana de instalación Completa.



4. Ejecutar el archivo con el nombre “detectop.exe”, para iniciar la aplicación (Figura No. 60).

Figura No. 60. Archivo ejecutable para iniciar la aplicación.



Antes de usar la aplicación software, debe configurar la comunicación inalámbrica así:

1. Energice el equipo físico como se explicó en la sección anterior.
2. Habilite la comunicación inalámbrica Bluetooth desde su computador. Debe aparecer el ícono de comunicación en la barra de tareas de su computador.

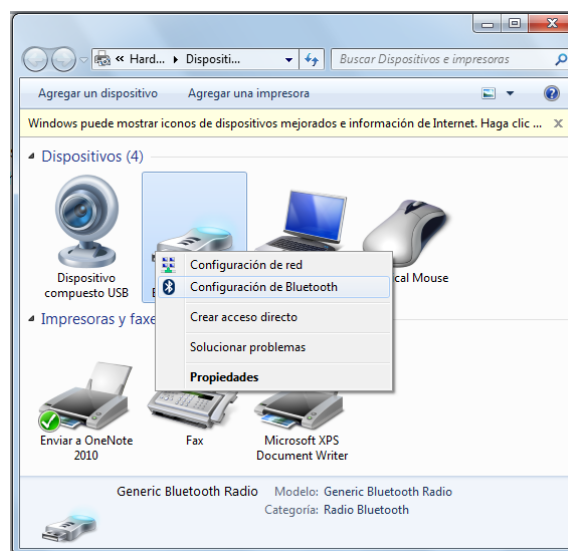
G 3. CREACIÓN CONEXIÓN BLUETOOTH

- a. Se da click a inicio, dispositivos e impresoras (**Figura No. 61**), en dispositivos se da click derecho al dispositivo bluetooth. Configuración de Bluetooth, como muestra la Figura No. 62.

Figura No. 61. Ventana de dispositivos de hardware.



Figura No. 62. Configuración de Bluetooth



En la siguiente ventana (Figura No. 63), se da click en la opción “Puertos COM” y click en el botón agregar, a continuación se abre la ventana que muestra la Figura No. 64, se selecciona la opción “saliente” (el equipo inicia la conexión) y click en el botón “Examinar”.

A continuación se visualiza la ventana de la Figura No. 65, muestra el dispositivo bluetooth, si no aparece, se verifica que este activo (encendido) el equipo detector y se le da click en buscar de nuevo y debe aparecer como la Figura No.65. Para finalizar, click en “Aceptar”.

Figura No. 63. Configuración de Bluetooth

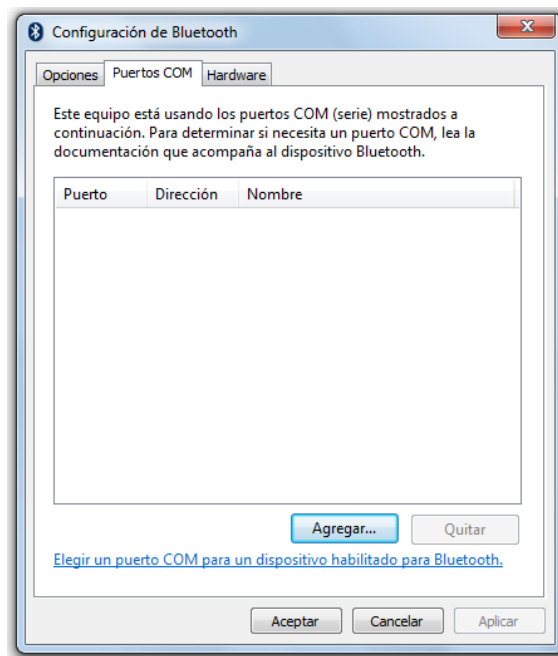


Figura No. 64. Ventana Agregar puerto COM

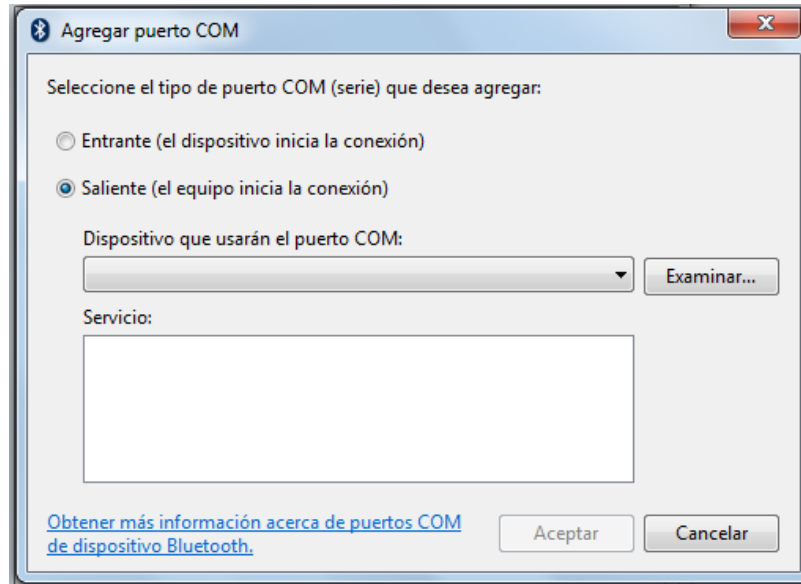
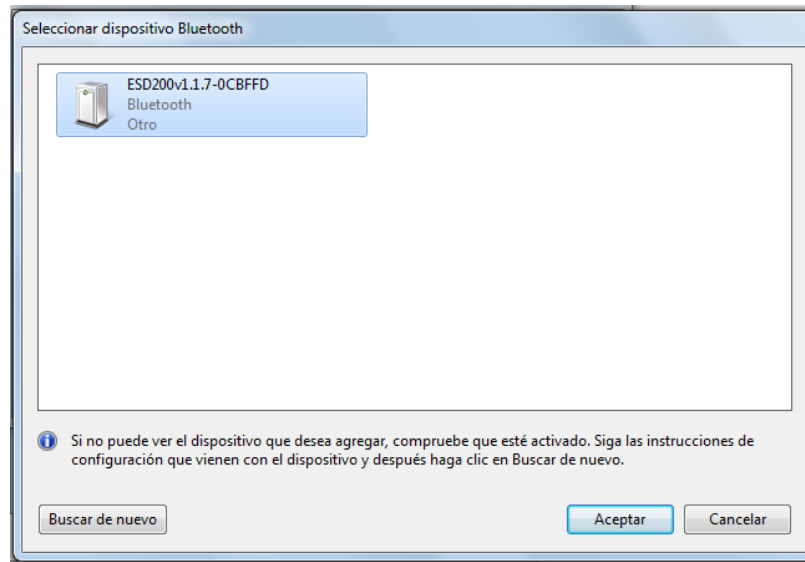
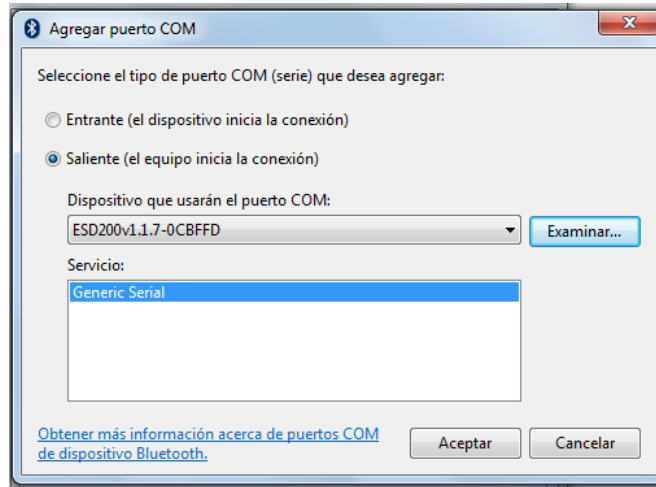


Figura No. 65. Lista de dispositivos



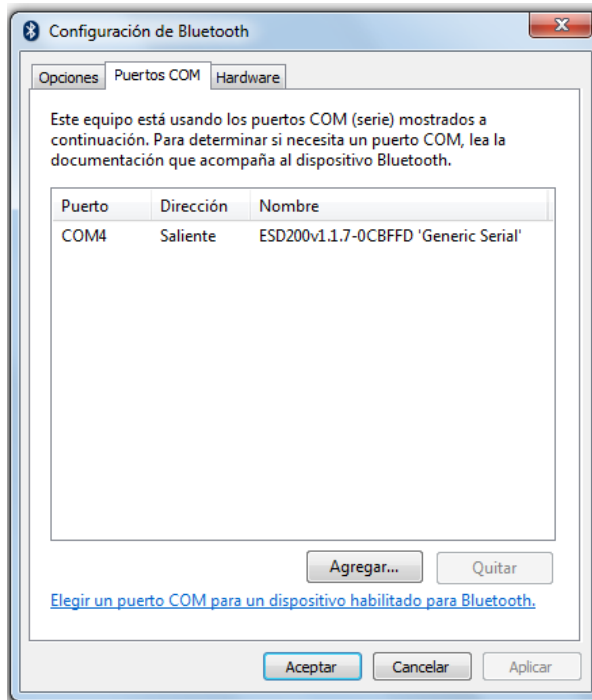
Aparece el dispositivo en lista como muestra la Figura No. 66, seleccionamos y damos click en "Aceptar".

Figura No. 66. Ventana de selección.



A continuación se tiene la ventana de “Configuración Bluetooth” y en “Puertos COM”, se visualiza la lista de puertos, como muestra la Figura No. 67. Allí se ve el puerto COM que asigna el computador, en este caso asigna el Puerto como COM4 con la dirección de “Saliente”, este es el puerto que se debe digitar al inicio de la aplicación. Click en “Aceptar”. Listo, está instalada la conexión bluetooth.

Figura No. 67. Confirmación del puerto COM

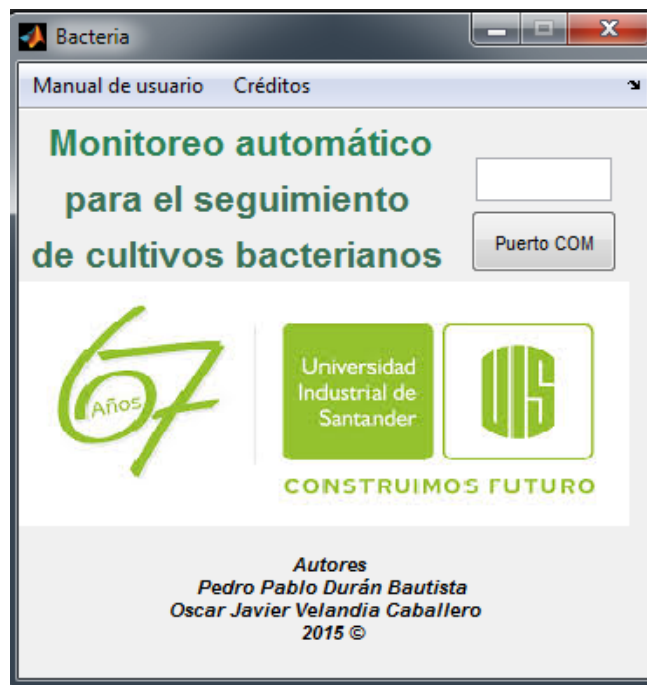


G 4. INICIO DEL APLICATIVO

Para dar inicio al aplicativo, se deben seguir las siguientes instrucciones:

1. Dar doble clic en el ejecutable ya creado detectop.exe (ver Figura No. 60). Lo cual abrirá la ventana de la Figura No. 68 **2.1**, puede tardar varios minutos la primera vez que se ejecute, luego será más rápido.

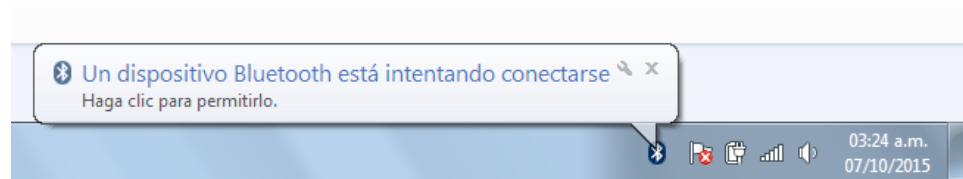
Figura 68. Ventana Bacteria.



2. En la ventana mostrada en la Figura No. 68, en el cuadro blanco se digita el puerto COM que asigno el computador a la hora de programar el puerto, mostrado en la Figura No. 67, para este ejemplo se digita “COM4” en letra mayúscula. Click en el botón “Puerto COM”.

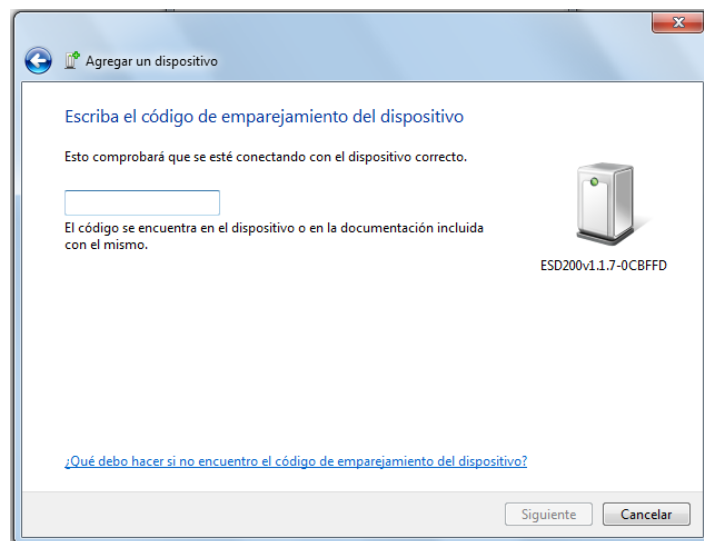
Al ejecutarse por primera vez la aplicación, se muestra una ventana de validación de conexión, como se muestra en la Figura No.69.

Figura No. 69. Mensaje de conexión Bluetooth



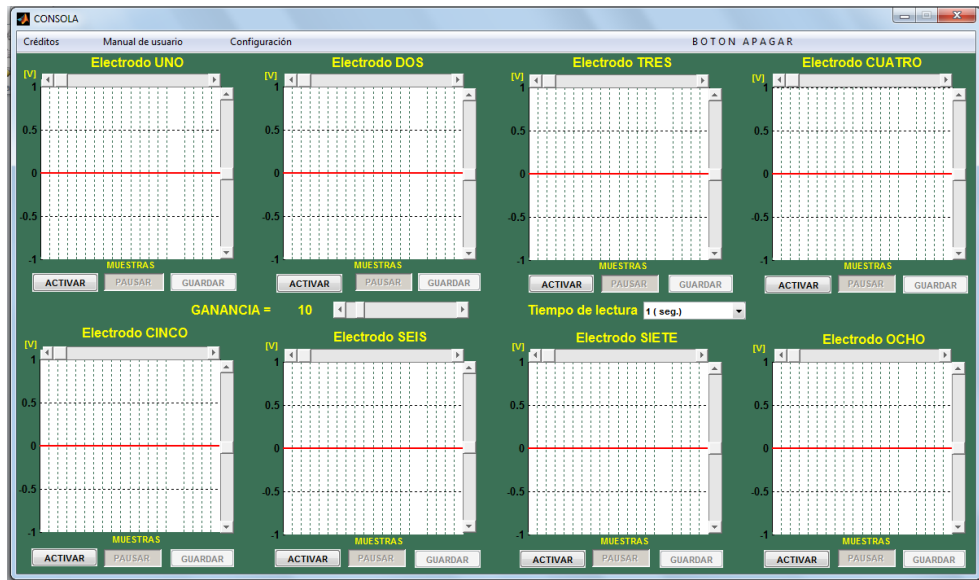
3. Se da click sobre el mensaje de la Figura No. 69, y a continuación aparece la ventana mostrada en la Figura No. 70.

Figura No. 70. Ventana de validación para el emparejamiento



En el recuadro blanco se digita el código "1234", y click en "Siguiente". Y luego "Aceptar". Se espera un momento y a continuación se muestra la ventana de trabajo llamada "Consola", la cual se muestra en la Figura No. 71.

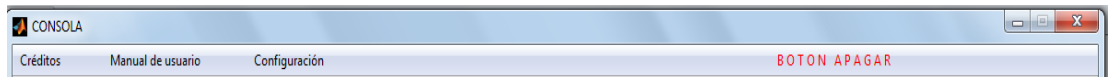
Figura No. 71. Ventana de trabajo, “Consola”



G 5. CONSOLA DE TRABAJO

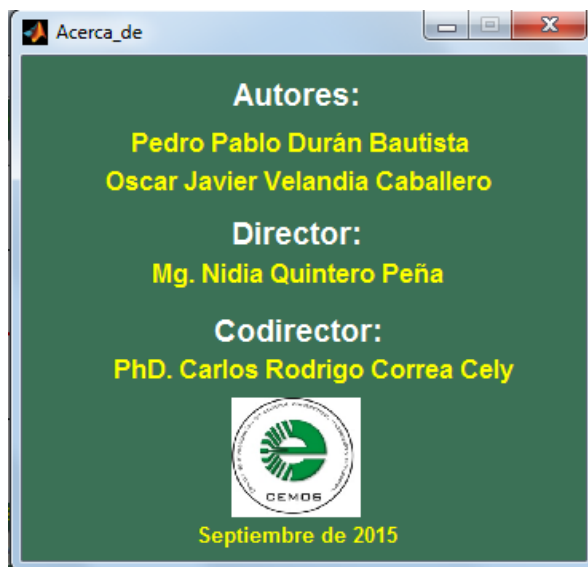
- 5.1. **Barra de menú:** ubicada en la parte superior de la ventana “Consola”, presenta cuatro (4) funciones (Créditos, Manual de usuario, Configuración y BOTON APAGAR. (Ver Figura No. 72).

Figura No 72. Barra de menú



- 5.1.1. **Créditos:** Al dar click en créditos, se abre la ventana “Acerca_de”, la cual muestra información de los creadores y directores del proyecto. Figura No. 73.

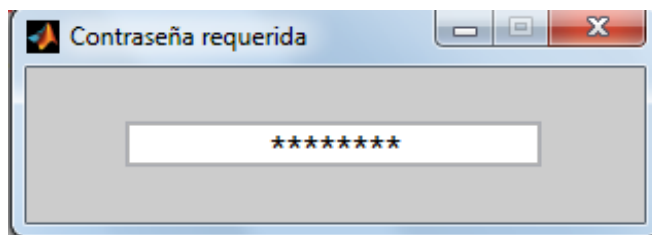
Figura No. 73. Ventana Acerca_de. Créditos.



5.1.2. Manual de usuario: Al dar click, abre el archivo “Manual de usuario.pdf”.

5.1.3. Configuración: Al dar click en esta función, abre la ventana que se muestra en la Figura No. 74 solicitando contraseña, se digita “bacteria”^{1(*)} y luego “Enter”.

Figura No. 74. Contraseña requerida.



Al ser correcta la contraseña, se abre la ventana “Configuración”, que se muestra en la Figura No. 75. En esta ventana se determina el valor de nivel en el cual se va a estabilizar cada electrodo. El nivel de voltaje de salida de cada uno de los electrodos es determinado por la fórmula que muestra la Figura No. 75 (parte superior), es

^(*) La clave se digita sin comillas y en letra minúscula: bacteria

importante resaltar que siempre se tiene en cuenta el valor de voltaje del electrodo de referencia para el cálculo.

Por esta razón, en algunas ocasiones se estabiliza el nivel del electrodo en un valor negativo, donde esto no es un inconveniente, ya que este nivel es el de referencia para detectar el crecimiento de las bacterias. Aun así, se pensó en usuarios que deseen que este valor sea el mismo para todos los electrodos.

Figura No. 75. Ventana Configuración.

Ganancia	Nivel de Referencia	Nivel del Electrodo	Ajuste	Nivel Electrodo
10				
Elect.1 =	2.10166	1.78397	0.253705	0.63988
Elect.2 =	2.10166	1.81818	0.26348	0.2
Elect.3 =	2.10166	1.67644	0.414995	0.10224
Elect.4 =	2.10166	1.79374	0.297693	0.10224
Elect.5 =	2.10166	1.82307	0.268368	0.10224
Elect.6 =	2.10166	1.84751	0.214604	0.39550
Elect.7 =	2.10166	1.87683	0.199941	0.24887
Elect.8 =	2.10166	1.95015	0.126628	0.24887

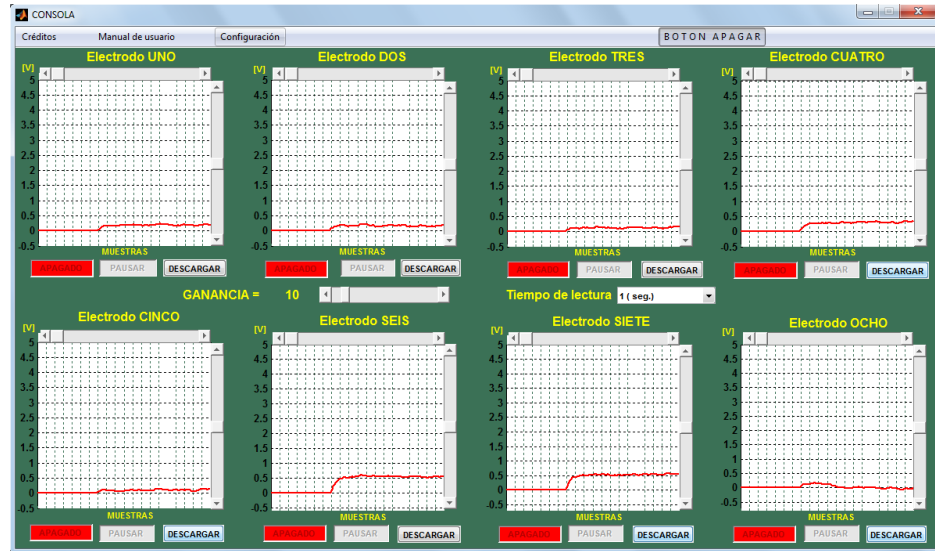
En la Figura No. 75, la columna denominada “Ajuste”, los valores que están encerrados en el cuadrado blanco, son los valores que se permiten modificar de forma individual, dando click sobre cada uno de ellos y sobre escribiendo los nuevos para que la fila que se denomina “Nivel Electrodo”, cambie. Se digita ENTER y automáticamente se recalcula el valor cerrando la ventana.

Es importante enunciar que al estar en actividad (abierta) la ventana “Configuración” de la Figura No. 75, el programa no estará leyendo los datos del equipo. Por esta razón es importante cerrarla para continuar con la lectura.

5.1.4. BOTON APAGAR: Este botón en su presentación hace intermitencia en su color de letra entre negro y rojo. Su función es apagar la comunicación entre el computador y el equipo pero no cierra la ventana “Consola” mostrada en la Figura No. 71. Permite que el usuario pueda manipular las 8 ventanas gráficas y guarde los

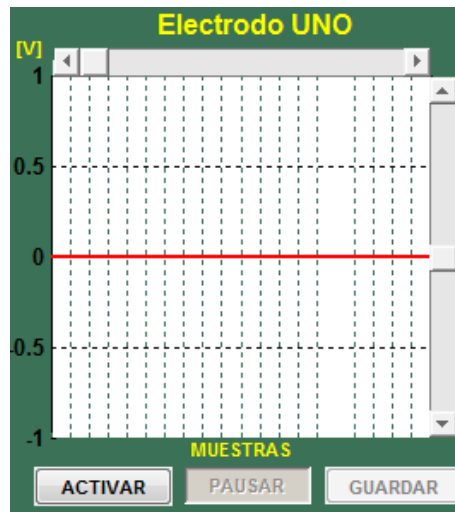
datos obtenidos, además esta función deshabilita los botones de ACTIVAR y PAUSAR, los cuales se enunciarán más adelante. Figura No. 76.

Figura No. 76. Consola después de oprimir BOTON APAGAR.



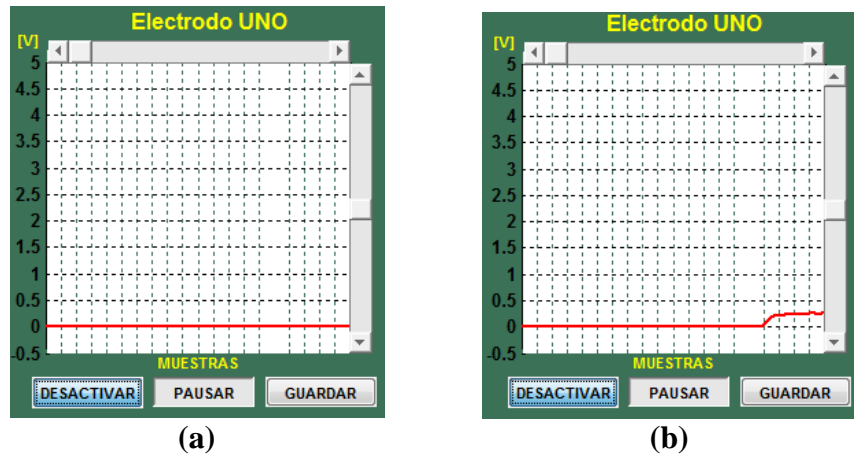
5.2. Ventanas graficas: La ventana “Consola” presenta ocho (08) ventanas gráficas, (una para cada electrodo). Cada una de las ventanas gráficas, cuenta con tres botones. (ACTIVAR, PAUSAR y GUARDAR), como se muestra en la Figura No. 77.

Figura No. 77. Ventana gráfica Electrodo UNO.



La ventana gráfica de cada uno de los electrodos, inicia haciendo click en el botón “ACTIVAR”, como se muestra en la Figura No. 78.

Figura No. 78. (a) Inicio de trabajo de la ventana; (b) La muestra de los datos inicia de izquierda a derecha.



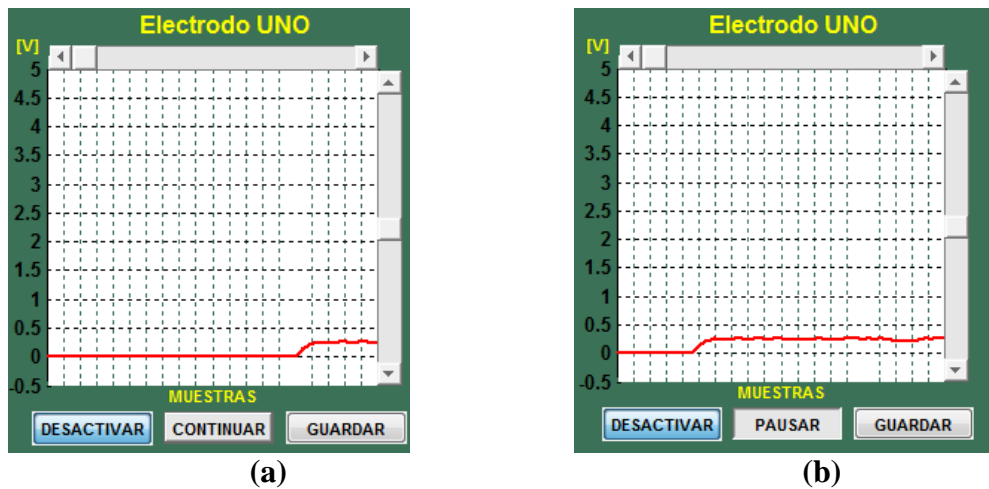
- El botón “ACTIVAR” cambia a botón “DESACTIVAR” como muestra la Figura No. 78, al iniciar el proceso de lectura del equipo, al dar click de nuevo, su nombre cambia a “ACTIVAR”, congela la imagen desactivando el botón PAUSAR, deja habilitado el botón GUARDAR y no realiza lectura de más datos. Como muestra la Figura No. 79. Si se da click al botón ACTIVAR nuevamente, reinicia los valores a cero, como se muestra en la Figura No. 78.

Figura No. 79. Lectura de datos Desactivado



- El boton “PAUSAR”, tiene la función de congelar la imagen, sin congelar el proceso de lectura de los datos, en la Figura No. 80, se muestra la acción en este boton. Al dar click en el boton “PAUSAR”, este realiza la acción y cambia su nombre a “CONTINUAR”, como se muestra en la Figura No. 80 (a) y al dar click en “CONTINUAR”, realiza la acción de continuar el proces de visualización de la lectura de datos realizada por el equipo y el nombre del boton cambia a “PAUSAR”, como se muestra en la Figura No. 80 (b).

Figura No. 80. (a) Boton con opción “PAUSAR”, (b) Boton con opción “CONTINUAR”.



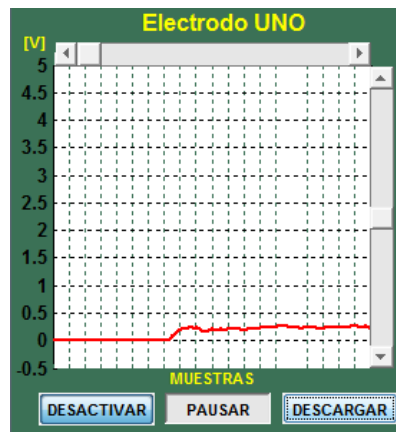
- El boton “GUARDAR”. Despues de activar el modo gráfico, el programa inicia con la lectura de muestras, al dar click en el boton “GUARDAR”, se debe dar un nombre de archivo como se muestra en la Figura No. 81(a), el programa automaticamente valida un nombre por defecto. Si el nombre ya existe, el software se encarga de alertar al usuario de que el nombre dado ya se utilizo, esto se muestra en la Figura No. 81(b), al dar click en la opción OK, regresa a la ventana “Consola”. Si el nombre del archivo no existe, el archivo es creado y guardado en la carpeta donde se encuentra instalada la aplicacion y y continua el software con la lectura de muestras.

Figura No. 81. (a) Ventana Nombre de archivo, (b) Alerta de nombre ya existente.



El boton “GUARDAR”, cambia su nombre a “DESCARGAR” como muestra la Figura No. 82.

Figura No. 82. Opción de Descarga de datos



Es importante decir, que hasta no dar click en el botón “DESCARGAR”, los datos leídos por el equipo, no son guardados en el archivo creado. Esta función se puede realizar cada vez que se desea guardar los datos que lee el equipo, estos se guardan en el archivo creado con una extensión .xls, un archivo que puede ser leído por la herramienta Excel. Los datos se guardan sin perder los anteriores, esto se puede realizar en cualquier momento sin interrumpir el proceso de lectura del equipo. Para visualizar la descarga de los datos, el software muestra una imagen como el de la Figura No. 83.

Figura No. 83. Estado de descarga.



El archivo de Excel que se descarga (Figura No. 84), tiene las siguientes características:

- Nombre del electrodo: ELECTRODO UNO.
- Fecha y Hora de inicio de la descarga de datos.
- Tiempo de Muestreo.
- Datos.

Figura No. 84. Presentación hoja de Excel.

A screenshot of an Excel spreadsheet. The title "ELECTRODO UNO" is centered in row 2. Row 4 contains headers: "Año", "Mes", "Día", "Hora", "Minutos", and "Segundos". Row 5 contains the values: "2015", "10", "8", "18", "24", and "35,249". Row 7 contains "Tiempo de muestreo (seg):" followed by "1". Row 9 is labeled "Datos" and contains a list of numerical values from row 10 to 16: "0", "0,21318685", "0,21156515", "0,20963589", "0,20733788", "0,20553748", and "0,2040984". The spreadsheet interface shows columns A through K and rows 1 through 16.

5.3. Barra ganancia: Presenta la opción de variar el valor de ganancia para la visualización de los datos, deslizando el cursor, se selecciona el valor deseado por el usuario. La aplicación por defecto tiene un valor inicial de ganancia de 10 [V/V] y el rango de trabajo de la aplicación es [1 - 100] [V/V]. Figura No. 85.

Figura No. 85. Barra deslizable de ganancia.

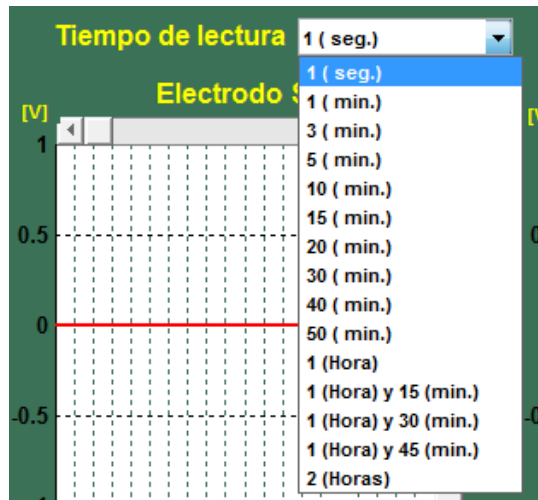


Esta barra tiene la función de multiplicar el nivel de la señal detectada por el equipo. Se encuentra en la parte media de la ventana de consola.

5.4. Barra de Tiempo de lectura: Es una barra desplegable, en la cual se permite al usuario seleccionar el tiempo de lectura de datos (Tiempo de muestreo). El equipo por defecto inicia con valor de 1 segundo. Presenta las siguientes opciones de tiempo, como se muestra en la Figura No. 86:

- 1 [seg]
- 1 [min]
- 3 [min]
- 5 [min]
- 10 [min]
- 15 [min]
- 20 [min]
- 30 [min]
- 40 [min]
- 50 [min]
- 1 [Hora]
- 1 [Hora y 15 min]
- 1 [Hora y 30 min]
- 1 [Hora y 45 min]
- 2 [Horas]

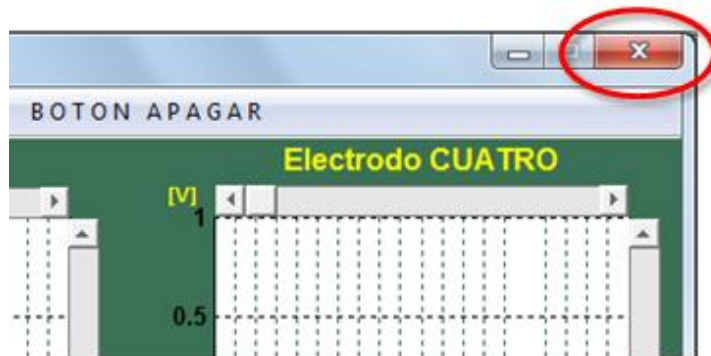
Figura No. 86. Barra desplegable de tiempo de lectura



Esta barra se encuentra en la parte media de la ventana “Consola” y tiene como función seleccionar el tiempo en el cual se van a tomar las muestras.

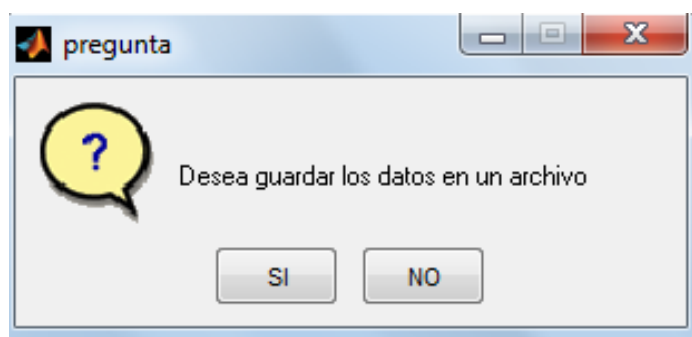
5.5. Cerrar ventana [X]. Se muestra en la Figura No. 87.

Figura No. 87. Opción de Cerrar ventana “Consola”



En la esquina superior derecha de la ventana “Consola”, se encuentra el Botón de cerrar ventana, su función es el de dar finalización a la aplicación. Apaga el proceso de comunicación con el equipo, tiene la opción de guardar en una sola hoja de Excel los datos de todos los electrodos. Al darle click, se muestra una ventana de alerta (ver Figura No. 88), la cual da la opción de guardar o no guardar, los datos leídos por el equipo en un archivo.

Figura No. 88. Ventana de alerta para guardar datos.



Al dar click en la opción “NO”, se cierra la ventana y la aplicación sin guardar ningún dato. Si se elige la opción “SI”, se visualiza una ventana emergente solicitando el nombre del archivo como la vista en la Figura No. 81, generando las funciones que esta figura explica anteriormente. Se guardan los datos en una hoja de

Excel, en la misma ubicación o carpeta donde se instaló el programa y se cierra automáticamente todo.

La presentación en Excel es la vista en la Figura No. 89.

Figura No. 89. Datos electrodos

DATOS - ELECTRODOS									
		Año	Mes	Día	Hora	Minutos	Segundos		
ELECT-1	2015	10	8	20	6	31,282			
ELECT-2	2015	10	8	20	6	37,998			
ELECT-3	2015	10	8	20	6	43,116			
ELECT-4	2015	10	8	20	6	53,265			
ELECT-5	2015	10	8	20	6	24,338			
ELECT-6	2015	10	8	20	7	7,253			
ELECT-7	2015	10	8	20	7	3,223			
ELECT-8	2015	10	8	20	6	58,107			
Tiempo de muestreo (seg):					1				
ELECT-1	ELECT-2	ELECT-3	ELECT-4	ELECT-5	ELECT-6	ELECT-7	ELECT-8		
0	0	0	0	0	0	0	0		
0,28816722	0,21556594	0,27913012	0,36671415	0,19971654	0,21526492	0,32058739	0,30364236		
0,29204616	0,2162417	0,28327173	0,37108022	0,20119401	0,21640597	0,32089515	0,30701406		
0,29718289	0,21794101	0,2877	0,37557585	0,20196911	0,21990409	0,32078527	0,30967255		
0,30239619	0,21946682	0,29171632	0,38011876	0,20332649	0,2240161	0,32149958	0,31105268		
0,30675099	0,22307063	0,2946406	0,38467938	0,20528441	0,22623315	0,32239084	0,31222197		
0,31077841	0,22881394	0,29712056	0,38900209	0,20710698	0,22794264	0,32309729	0,31277191		
0,31591666	0,2349105	0,29978709	0,39234674	0,20904451	0,22919927	0,32280994	0,31292779		
0,3219462	0,24079827	0,30197873	0,39495004	0,21060623	0,22975204	0,32168312	0,31388998		
0,32751896	0,24555293	0,3050343	0,39653338	0,21135556	0,23014245	0,32081554	0,31504735		

En la hoja de excel se encuentra el titulo de la hoja, un cuadro donde muestra cada una de las fechas y horas en que se empezo a tomar cada muestreo. El tiempo de muestreo que siempre es el mismo para todos y finalmente un cuadro con todos los datos de cada electrodo en fila.