



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD ZACATENCO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SECCIÓN DE BIOELECTRÓNICA

Diseño y construcción de un sistema de registro de señales eléctricas, debido a estímulos bióticos o abióticos que se presentan en la planta.

Tesis que presenta

M en C. Alberto Hernández Pérez

para obtener el Grado de

Doctor en Ciencias

en la Especialidad de

Ingeniería Eléctrica

Dr. David Elías Viñas

Dedicatorias...

A dios, porque sé que siempre está a mi lado aunque algunas veces me olvide de él.

A mi esposa Estela, por ser el pilar en todos mis aciertos.

A mis padres Amador Hernández y María Carmen Pérez, gracias por estar en todo momento.

A mi madre, por darme siempre cariño, comprensión, impulso en los malos momentos y escucharme en todas mis locuras.

A mi asesor David Elías Viñas, por todos sus conocimientos que supo transmitir en mí.

A mi hermano, Juan José Hernández Pérez por protegerme en mi infancia.

A mi hermana, Alejandra Hernández Pérez por escucharme.

A mi hermano, Miguel Ángel Hernández Pérez por enseñarme el valor de la vida.

A mi hermano, Jorge Hernández Pérez por saber valorarme como hermano.

A mis sobrinos Juan José Hernández Miranda, Adrián Hernández Miranda y Luis Emiliano Hernández Gasca, por alegrarme mis momentos con su presencia.

A mis suegros, Roberto Cruz Flores Ramírez y Luz Estela Gómez García por su apoyo.

A mi querido cuñado Carlos Benjamín Flores Gómez por todos los momentos agradables que pasamos.

A mis mejores amigos del Cinvestav, Silvino Reyes, Modesto Cortes, Juan Manuel (Juanito), Víctor, Gregorio (Goyito), Alfonzo, Jessica, Hugo Hernández, Pedro Alejandro, Luis Armando Villamar, Adrián Antonio Castañeda, Jeny, ya que en cierta manera me apoyaron en alguna parte de esta tesis.

Si quieres hacer cosas distintas, no hagas siempre lo mismo.

Albert Einstein.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por la beca otorgada durante el desarrollo de esta tesis.

Al Doctor David Elías Viñas, por ser una persona que me enseñó muchas cosas como persona durante mi estancia en el Lab. 12 de Bioelectrónica.

A Georgina Olmos, Patricia Peña, Jorge Navarro, gracias por su amistad y apoyo durante mi estancia en el Cinvestav.

A los doctores, Dr. Ernesto Suaste Gómez, Dr. Adrián Antonio Castañeda Galván, Dr. Roberto Ruiz Medrano, Dra. Guadalupe Beatriz Xoconostle Cazares por sus atenciones en esta tesis.

A mis amigos de trabajo, Dr. Adrián Antonio Castañeda, Dr. Mauricio Hernández, Dra. Yesenia Eleonor González, M en C. Rafael Santiago Godoy.

“Nunca me gusta pensar en el futuro, siempre llega demasiado pronto”

Albert Einstein.

Resumen

Las plantas reúnen continuamente información acerca de su medioambiente obteniendo varias respuestas biológicas; las células, tejido y órganos de la planta poseen la habilidad de excitarse ante la influencia de factores ambientales, sincronizando sus funciones biológicas en respuesta a su entorno. La sincronización de sus funciones internas está basada en los eventos externos y vinculados con el fenómeno de excitabilidad de células en la planta. La conducción de la excitación bioelectroquímica es una propiedad de los organismos vivos; este es un proceso para la transmisión de señales a larga distancia entre el tejido de la planta y sus órganos [33]. Las plantas responden a diferentes tipos de estrés bióticos por ejemplo: los animales, otro tipo de plantas, insectos, bacterias, hongos, virus, sales y potencial de agua por mencionar algunos. En los tipos de estrés abióticos existen por ejemplo: sequía, sales en el suelo (estrés salino), calor, frío y/o congelación (estrés térmico), estrés por contaminantes en el medio ambiente (agentes de fumigación, herbicidas, metales), deficiencia en elementos minerales (estrés nutricional), viento, suelo compacto (estrés mecánico), lesiones o heridas y/o estimulación mecánica causada por insectos o el hombre.

En el presente trabajo se desarrolla un sistema electrónico que es capaz de registrar las señales eléctricas que pueden propagarse a través de las células excitables, esto debido a eventos externos, los cuales propician información endógena que las plantas en afán de regular su funcionamiento; la transmiten en forma de señales eléctricas. Estas señales pueden ser registradas por el sistema electrónico mediante una interfaz hombre-máquina y esta información puede ser capturada en diferentes formatos de trabajo (txt, xls, xst, xlsx) para poder analizar la información e investigar el comportamiento de cada estudio que presentan las plantas.

Abstract

The plants continuously gather information about their environment obtaining several biological responses; cells, tissues and organs of the plant have the ability to become aroused to the influence of environmental factors, synchronizing their biological functions in response to their environment. Internal synchronization functions is based on external events and related to the phenomenon of cell excitability in the plant. Bioelectroquímica driving the excitation is a property of living organisms; this is a process for transmitting signals over long distances between plant tissue and organs [33]. Plants respond to different types of biotic stress animals, other plants, insects, bacteria, fungi, viruses, salts and water potential among others. In the types of abiotic stress exist drought, soil salts (salt stress), heat, cold and / or freezing (heat stress) stress contaminants in the environment (fumigants, herbicides, metals), deficiency in minerals (nutritional stress), wind, soil compaction (mechanical stress), injuries or wounds and / or mechanical stimulation caused by insects or humans.

In this paper an electronic system that is able to record electrical signals that can propagate through excitable cells develops, this due to external events, that foster endogenous information eagerness plants regulate their functioning; transmitted in the form of electrical signals. These signals can be recorded by the electronic system via a man-machine interface and this information can be captured in different formats work (txt, xls, xst, xlsx) to analyze the information and investigate the behavior of each study presented by plants.

Contenido

Resumen	iv
Abstract	v
I.-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos específicos.....	2
1.2 Estructura de la tesis	3
II.-ANTECEDENTES	4
2.1 Botánica.....	4
2.2 Divisiones de la Botánica.....	4
2.3 Fisiología vegetal.....	5
2.3.1 La célula vegetal.....	6
2.3.2 El tejido vascular.....	7
2.3.3 Xilema y floema.....	8
2.3.4 Estrés en las plantas.....	11
2.3.5 Concepto de estrés	11
2.3.6 Estímulos en la planta: factores bióticos y abióticos.....	12
2.3.7 Respuesta Bioquímica de la planta.....	13
2.3.8 Potencial de acción en células de animales.....	13
2.3.9 Potenciales de acción en fibras musculares.....	14
2.3.10 Potenciales de acción en células vegetales	14
2.4. Sustratos para plantas.....	15
2.4.1 Sustrato	15
2.4.2 Tipos de sustratos.....	16
2.4.3 Solución nutritiva	16
2.5. Electrodo.....	17
2.5.1 La interfase electrodo – electrolito.....	17
2.5.2 Potencial de semicelda.....	18
2.5.3 Polarización del electrodo.....	18
2.5.4 Electrodo polarizables y no polarizables.....	20
2.5.5 Electrodo de plata/cloruro de plata.....	20
2.5.6 Electrodo para estimulación eléctrica de los tejidos.....	21

2.6. Instrumentación electrónica.....	22
2.6.1 Amplificador operacional.....	22
2.6.2 Amplificador de instrumentación.....	24
2.6.3 Amplificador inversor con ganancia.....	26
2.7. Filtros activos y pasivos.....	26
2.7.1 Etapa de filtrado.....	27
2.8. Microcontroladores.....	27
2.8.1 Puertos de Entrada y Salida.....	28
2.8.2 Oscilador para Microcontrolador.....	29
2.9 Protocolos de comunicación.....	30
2.9.1 Protocolo RS232.....	30
2.9.2 Principio de funcionamiento.....	31
2.9.3 Señales del DB9.....	32
2.9.4 Velocidad y control del puerto.....	33
2.9.5 Convertidor USB a Serial.....	33
2.10 Plataforma de trabajo LabVIEW.....	34
2.10.1 Instrumentación virtual.....	35
III.- DESARROLLO.....	36
3.1.- Germinación de semillas.....	38
3.2 Utilización de los Sustratos.....	42
3.2.1 La Vermiculita.....	42
3.2.2 Agrolita o perlita.....	43
3.2.3. Tierra para maceta.....	44
3.2.4 Peat moss.....	46
3.2.5 Electrodo para medición de biopotenciales.....	47
3.2.6 Acoplamiento de señales.....	50
3.3 Etapa de instrumentación.....	51
3.3.1 Amplificador emisor seguidor.....	51
3.3.2 Amplificador de instrumentación.....	52
3.3.3 Corrector de Basal.....	53
3.3.4 Filtros activos UAF42AP.....	54

3.3.5 Amplificación de la señal.....	56
3.4 Microcontrolador Atmega16L	57
3.5 Pantalla de despliegue	59
3.6 Teclado Matricial.....	61
3.7 Conexión del sistema.....	64
3.7.1 Conexión serial RS232	64
3.7.2 Conexión USB.....	65
3.8. Caja de desarrollo de registros.....	67
3.9 Programa de captura de datos	68
IV. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	74
V. DISCUSIÓN	85
VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	86
REFERENCIAS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Ramas de la botánica	4
Fig. 2.2. Características de las células animal y vegetal	7
Fig. 2.3. Esquema que representa al floema (rojo) y xilema (azul)	8
Fig. 2.4. Xilema y Floema	9
Fig. 2.5 Xilema. (a) Traqueidas, (b) Parenquimáticas	9
Fig. 2.6. Células del Floema	10
Fig. 2.7. Interfaz electrodo electrolito	18
Fig. 2.8. Amplificador operacional	23
Fig. 2.9. Amplificador de instrumentación	25
Fig. 2.10. Amplificador inversor son ganancia	26
Fig. 2.11. Microcontrolador AVR Atmega16L	29
Fig. 2.12. Cristal de cuarzo	30
Fig. 2.13. Conector DB9	31
Fig. 2.14. Convertidor USB-RS232	34
Fig. 3.1. Diagrama a bloques del sistema de registro	37
Fig. 3.2. Frijol a) Pinto villa, b) carioca	38
Fig. 3.3. Caja de acrílico	39
Fig. 3.4. Distribución de las semillas	39
Fig. 3.5. Aparición de la radícula en la semilla	40
Fig. 3.6. Fase de germinación de semillas	41
Fig. 3.7. Embrión y semilla de dicotiledónea	41
Fig. 3.8. Sustrato Vermiculita	42
Fig. 3.9. Plántulas en sustrato vermiculita	43
Fig. 3.10. Sustrato agrolita o perlita	44
Fig. 3.11. Tierra para macetas	45
Fig. 3.12. Plántula en tierra de maceta	46
Fig. 3.13. Sustrato peat moss	46
Fig. 3.14. Plantas en sustrato peat moss	47
Fig. 3.15. Electrodo para acupuntura	48
Fig. 3.16. Electrodo para electrocirugía	49

Fig. 3.17. Sistema de electrodos de electrocirugía	49
Fig. 3.18. Electrodo para electromiografía	50
Fig. 3.19. Emisor seguidor	51
Fig. 3.20. Respuesta del seguidor de voltaje	51
Fig. 3.21. (a) Amplificador de instrumentación, (b) Desarrollo de la tarjeta de instrumentación	52
Fig. 3.22. Respuesta del amplificador de instrumentación	53
Fig. 3.23. Filtro activo pasa altas de frecuencia de corte 1.59 Hz	53
Fig. 3.24. Filtro activo UAF42AP	54
Fig. 3.25. Diseño del filtro <i>Butterworth</i>	54
Fig. 3.26. Componentes del filtro pasa altas (<i>Butterworth</i>)	55
Fig. 3.27. Configuración del filtro	55
Fig. 3.28. Amplificador con ganancia de 1 a 50	56
Fig. 3.29. Señales del amplificador con ganancia	56
Fig. 3.30. Conectividad del sistema	57
Fig. 3.31. Función del Microcontrolador	57
Fig. 3.32. Sensores DS1820B	59
Fig. 3.33. Dimensiones del PD4437	59
Fig. 3.34. Diagrama a bloques de PD4437	60
Fig. 3.35. (a) Inicio del sistema, (b) Inicio de usuario, (c) sistema detenido desde la PC	61
Fig. 3.36. Conexión del Teclado matricial	62
Fig. 3.37. Teclado matricial	62
Fig. 3.38. Codificador MM74C922N	63
Fig. 3.39. Diagrama interno del codificador para teclado MM74C922N	63
Fig. 3.40. Comunicación serial (RS232)	65
Fig. 3.41. Diagrama a bloques del FT232RL	66
Fig. 3.42. Conectividad del FT232RL	66
Fig. 3.43. Sistema de comunicación con el FT232RL	67
Fig. 3.44. Caja de desarrollo	67
Fig. 3.45. Panel de control del programa de captura	68

Fig. 3.46. Panel frontal del programa de captura	68
Fig. 3.47. Sistema de Encendido	69
Fig. 3.48. Etapa de monitoreo sin encender desde el panel frontal	69
Fig. 3.49. Etapa de paro con error	70
Fig. 3.50. Sensado del sistema y USB	70
Fig. 3.51. Primera etapa de captura de datos	71
Fig. 3.52. Controles de tiempo de inicio y termino del registro	72
Fig. 3.53. Segunda etapa de captura de datos	72
Fig. 3.54. Datos del registro	73
Fig. 4.1. Señal que genera la planta la incidir los electrodos	74
Fig. 4.2 Señal después de la inserción de electrodos	75
Fig. 4.3 Señal de corte de una hoja	75
Fig. 4.4 Corte de una hoja con amplificación de 15	76
Fig. 4.5. Señal con amplificación y distancia entre electrodos	76
Fig. 4.6. Daño mecánico con un electrodo	77
Fig. 4.7. Continuación de la señal de daño mecánico	78
Fig. 4.8. Señal con estímulo de señal cuadrada	78
Fig. 4.9. Estimulo en la superficie de la planta	79
Fig. 4.10. Estimulo con presión en una hoja	79
Fig. 4.11. Estimulos con una frecuencia de 10 Hz y 500 mV	80
Fig. 4.12. Estimulos con una frecuencia de 10 Hz y 1000 mV	81
Fig. 4.13. Colocación de electrodos	81
Fig. 4.14. Estimulación con luz blanca, 590 luxes	83
Fig. 4.15. Estímulo con luz blanca implementando 2 pulsos de luz, 590 luxes	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Las enfermedades en plantas que se producen pueden ser provocadas tanto por factores bióticos o por factores abióticos.	12
Tabla. 2.2. Distribución de pines del DB9.	32
Tabla 4.1. Valores de respuesta a la inserción de electrodos	82

I.- INTRODUCCIÓN

La fisiología vegetal es la ciencia que estudia la función de las plantas, el objetivo es estudiar las funciones que realizan las plantas para mantenerse vivas. Las funciones se explican mediante leyes físicas y químicas el cómo las plantas son capaces de utilizar la energía solar partiendo de sustancias inorgánicas y orgánicas para construir complejas estructuras en la formación de su cuerpo [3]. Esto explica por qué las plantas llegan a utilizar su estructura endógena para reproducirse y adaptarse a condiciones ambientales. En la actualidad se desarrollan varios trabajos enfocados a la actividad eléctrica en plantas desde su crecimiento hasta su edad adulta y el proceso en el que se encuentran expuestas a varios cambios que modifican su accionar endógeno y con ello su crecimiento.

En este proyecto se desarrolla un sistema electrónico, que es capaz de registrar señales eléctricas en plantas, a causa de daños o estímulos producidos por sistemas vivos (bióticos) y no vivos (abióticos); Los estímulos bióticos se presentan por algunos patógenos, depredadores, virus, daños mecánicos, etc. Los daños abióticos están presentes en las plantas debido a la sequía, viento, salinidad, falta de minerales, etc. La idea de este trabajo se centra en que las plantas producen y distribuyen señales bioelectroquímicas que producen de forma endógena después de haber sido provocado por algún tipo de estímulo; y con esto poder almacenar la información necesaria para dar una interpretación a los resultados obtenidos. Los beneficios de este trabajo son muy importantes debido a que en la actualidad no se sabe muy poco de dichas señales en plantas, pero pueden producirse en condiciones particulares con adaptaciones debido a su entorno. Otro de los beneficio de este trabajo es obtener un registro de datos para visualizar la respuesta que presentan las plantas a larga distancia.

Para capturar las señales eléctricas es necesario utilizar técnicas para la percepción de la señal y para esto se utilizan sensores tipo aguja que registran la actividad electroquímica de las células, convirtiéndola en señal eléctrica para poder registrarla con componentes electrónicos llamados amplificadores operacionales. Estos sirven

de acoplamiento de la señal con el sistema de adquisición y el procesamiento de la información de la señal adquirida, el propósito de estos amplificadores es tratar de no alterar demasiado la señal y para darle una interpretación a los resultados obtenidos.

1.1 Objetivos específicos

- ✓ Establecer características físicas y químicas de sustratos para el crecimiento de las plántulas.
- ✓ Establecer una metodología de germinación de semillas y obtener un mejor aprovechamiento de las mismas para su mejor crecimiento.
- ✓ Realizar el procedimiento de traspaso de las semillas germinadas.
- ✓ Establecer las condiciones adecuadas de crecimientos de las plántulas en el sustrato elegido.
- ✓ Establecer las características del sistema de registro de señales eléctricas y el diseño electrónico para acondicionar las señales.
- ✓ Pruebas con electrodos tipo aguja, considerando el tipo de planta a utilizar con el sistema de registro.
- ✓ Construir el sistema electrónico para acondicionar las señales registradas.
- ✓ Desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos utilizando el puerto USB y su analogía con el protocolo de comunicación RS232.
- ✓ Acondicionar y convertir las señales analógicas para el envío a la PC.
- ✓ Registrar las señales analógicas con la tarjeta de adquisición.
- ✓ Diseño y desarrollo de un programa de captura y almacenamiento de las señales.

1.2 Estructura de la tesis

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema y su importancia del desarrollo de este trabajo, así como los objetivos que se desarrollaron en esta tesis.

En el capítulo II, se mencionan algunos antecedentes de los conceptos fundamentales de la electrofisiología de plantas y conceptos fundamentales de los componentes electrónicos utilizados para la captura de las señales eléctricas.

En el capítulo III, se menciona el desarrollo de cada uno de los objetivos que llevaron a la conclusión de esta tesis.

En el capítulo IV, se presenta los resultados obtenidos del capítulo III y los resultados obtenidos de cada procedimiento del sistema electrónico.

En el capítulo V, se menciona el análisis de los resultados parciales y finales de la tesis.

II.- ANTECEDENTES

2.1 Botánica

La botánica es la rama que estudia a los vegetales, dadas las numerosas diferencias que tienen éstos, comparados con los demás seres vivos []. La botánica ha existido desde la antigüedad, y ha ido pasando de ser simplemente conocimiento empírico a ser una ciencia. El hombre ha estudiado a los vegetales a raíz de la dependencia que manifiesta hacia los mismos, puesto que estos son los organismos productores y constituyen el inicio de la cadena alimenticia.

2.2 Divisiones de la Botánica

La Botánica puede dividirse en dos ramas:

1. Botánica pura: estudia las plantas desde un punto de vista puramente teórico.
2. Botánica aplicada: estudia la utilidad o aplicación de los vegetales

El conocimiento de la primera es indispensable para aclarar los problemas que se presentan al estudiar a la segunda (Fig. 2.1).

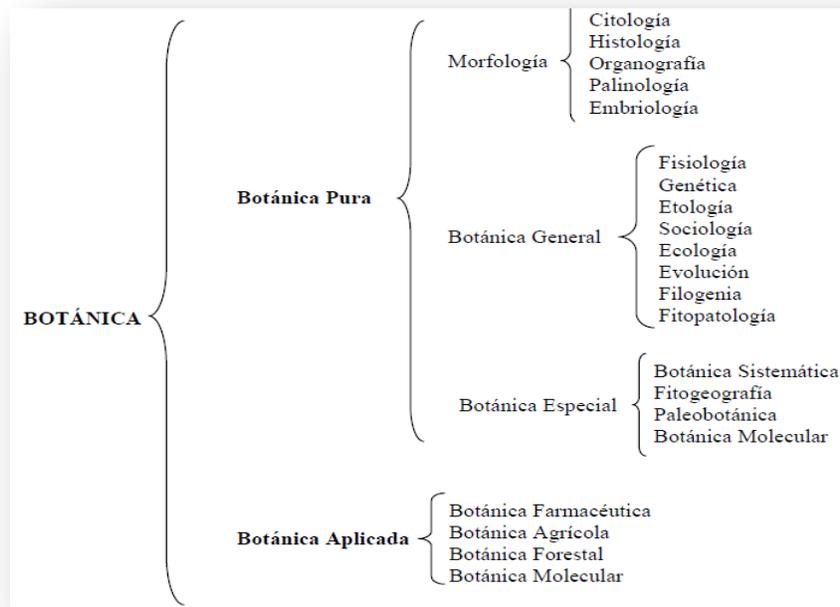


Fig.2.1. Ramas de la botánica

2.3 Fisiología vegetal

La fisiología vegetal es la ciencia que estudia cómo funcionan las plantas, esto es, que ocurre en las plantas que las mantiene vivas. Explica a través de las leyes físicas y químicas como las plantas son capaces de utilizar la energía de la luz para, a partir de sustancias inorgánicas, sintetizar moléculas orgánicas con las que construye sus complejas estructuras que forman el cuerpo de la planta [3]. Explica también como las plantas siguen un programa de desarrollo endógeno, que son capaces de reproducirse y como adaptan dicho programa en cada momento de su crecimiento.

El campo de la fisiología vegetal incluye el estudio de todas las actividades internas de las plantas, procesos químicos y físicos asociados a la vida. Esto implica el estudio a muchos niveles en escala de tamaño y tiempo. En la escala más pequeña se encuentran las interacciones moleculares de la fotosíntesis y la difusión interna del agua, los minerales y los nutrientes. En gran escala se encuentra el desarrollo, estacionalidad, dormancia y control reproductivo. El ámbito de la fisiología vegetal como disciplina se puede dividir en varias áreas de investigación.

Primero, la fitoquímica, que estudia la gran diversidad de compuestos químicos que producen para funcionar y sobrevivir (elementos que no se encuentran en otros organismos). Ya que no se pueden mover, deben defenderse químicamente de herbívoros, patógenos y de la competencia contra otras plantas, para ello producen toxinas y compuestos que producen mal olor o sabor. Otros productos las defienden contra enfermedades permitiéndoles vivir durante las sequías y las preparan para la hibernación. Y aún otros los utilizan para atraer polinizadores o herbívoros que esparzan las semillas maduras. La fotosíntesis requiere una amplia serie de pigmentos, enzimas y otros compuestos para funcionar.

Segundo, el estudio de los procesos biológicos y químicos de las células. Las células vegetales tienen ciertas características que las distinguen de las animales, las cuales dan origen a las principales diferencias de comportamiento y respuesta en relación a la vida animal. Por ejemplo, las células vegetales poseen una pared celular que restringe su forma y, por tanto, limita su flexibilidad y movilidad. También

contienen cloroplastos, compuesto que interactúa con la luz de forma que les permite fabricar su propio alimento (fotosíntesis), en lugar de consumir otros seres vivos [4].

Tercero, estudia las interacciones entre sus células, tejidos y órganos. Las diferentes células y tejidos están física y químicamente especializados para llevar a cabo funciones específicas.

Cuarto, estudia la forma en que las plantas controlan o regulan sus funciones internas, como las fitohormonas producidas en una parte de la planta para alertar a las células de otra parte que deben producir una respuesta. Compuestos sensibles a la luz que responden a la duración de la noche para que la planta florezca en la estación del año apropiada, un fenómeno conocido como fotoperiodismo. La maduración de los frutos y la pérdida de hojas en invierno, funciones en parte controladas por el gas etileno que produce la propia planta.

Finalmente, la fisiología vegetal estudia el modo en que las plantas responden a las condiciones y cambios en el medioambiente, campo conocido como ecofisiología.

2.3.1 La célula vegetal

La unidad funcional básica de las plantas, como en todos los organismos es la célula (Fig.2.2). Por ello, el estudio de la fisiología de las plantas es, en gran parte, el estudio de la fisiología de las células de las plantas y su integración en el organismo. La gran diversidad ecológica de las plantas está directamente relacionada con la enorme variedad de formas, estructuras y funciones de las células individuales que las forman. Esta diversidad hace difícil generalizar las características de las células. Así nos encontramos las células del xilema (fig. 2.3) que son bioquímicamente inactivas (muertas), pero que cumplen una importante función en el transporte de agua. Las células del floema, los elementos cribosos, son anucleadas y han perdido su sistema de membranas a excepción de la membrana plasmática, sin embargo están adaptadas para permitir el transporte de asimilados.

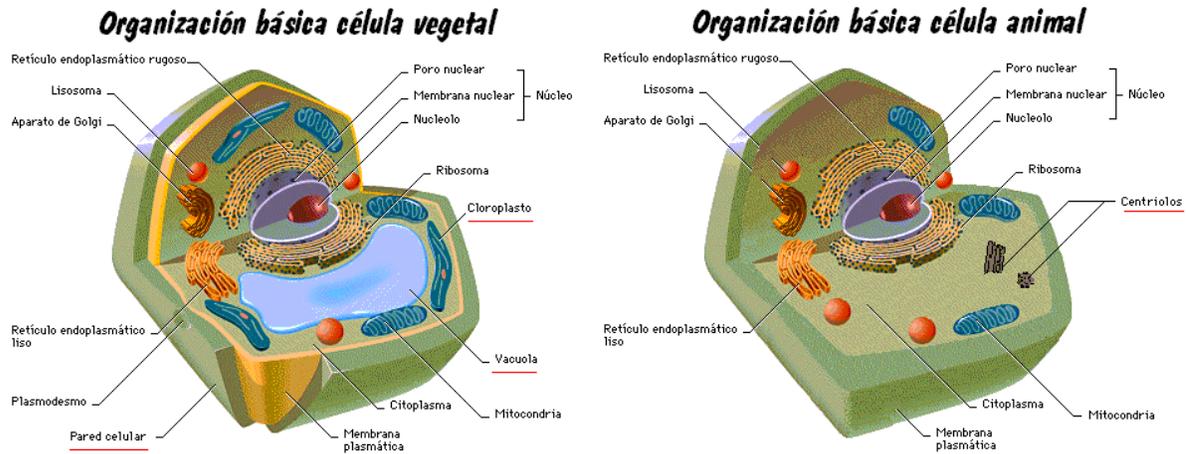


Fig. 2.2. Características de las células animal y vegetal

<http://diferenciasentre.com/diferencias-entre-la-celula-animal-y-vegetal.html>

2.3.2 El tejido vascular

Durante el desarrollo del xilema, las células precursoras se alargan, su pared celular se engrosa, y su membrana y todos los organelos son autodigeridos. Finalmente, “fosas” en la pared celular entre células vecinas mantienen la continuidad del tejido. En contraste, el floema en su madurez consta de dos tipos celulares, la célula acompañante (CA) y el tubo criboso (TC), interconectadas por túbulos citoplásmicos, denominados plasmodesmos (Fig. 2.2), como en todas las células vegetales (excepto los estomas). Mientras que la CA mantiene su integridad y elevada actividad metabólica, el TC se degenera, de tal manera que en su madurez pierde el núcleo y organelos en general, así como las separaciones con los TC vecinos. Sin embargo, su membrana plasmática permanece funcional, por lo que el proceso de degeneración no es tan extremo como en el xilema [5].

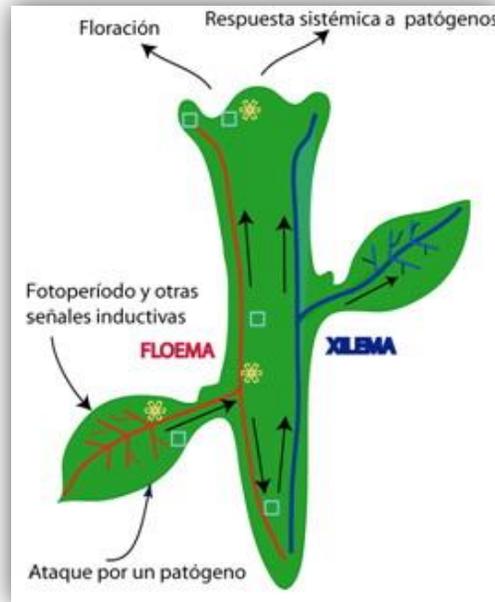


Fig. 2.3. Esquema que representa al floema (rojo) y xilema (azul). Las flechas indican la dirección del flujo de ambos conductos; así, mientras que la savia del xilema fluye de las raíces al resto de la planta, la savia del floema fluye de las hojas fotosintéticas al resto de la planta. Se recalca el papel del floema como vía de transporte de señales que inducen fenómenos tales como la floración y establecimiento de una respuesta de defensa contra patógenos en el meristemo apical. El asterisco indica la señal, transportada desde hojas maduras e inducida tanto por un programa genético como por fotoperíodo y otras señales, que induce la floración. El cuadrado pequeño corresponde a la señal que induce la respuesta de defensa contra patógenos en tejidos no expuestos a éstos. Esta señal también es transportada del sitio original de la infección al meristemo apical, así como a otros tejidos. Ciencia al Día Internacional © Abril 2004, Vol. 5, No. 2. ISSN 0717-3849 <http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen5/numero2/articulos/articulo3.html>

2.3.3 Xilema y floema

El tejido vascular está compuesto de dos sistemas conductores: el xilema y el floema (Fig. 2.4).

- a) El xilema transporta agua y iones de minerales de la raíz al resto de la planta [6] [7].
- b) El floema distribuye los productos de la fotosíntesis y de una variedad de otras soluciones a través de la planta [8].

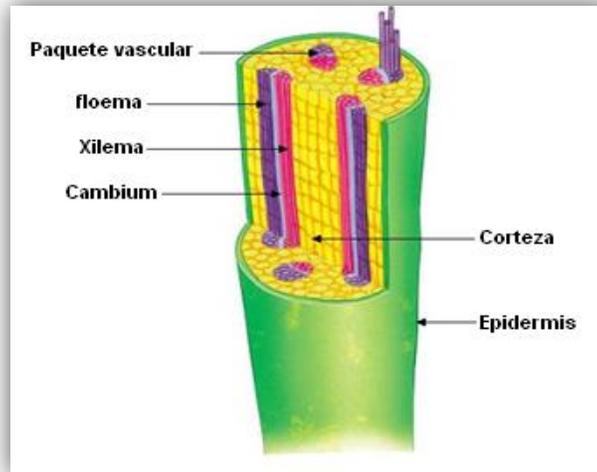
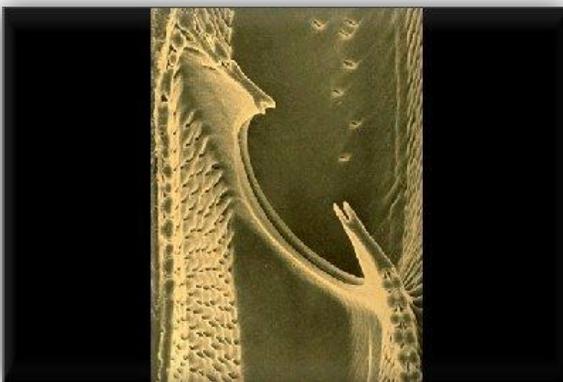
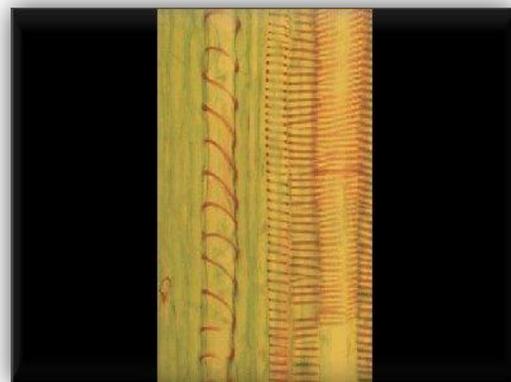


Fig. 2.4. Xilema y floema

Las células del xilema forman un tejido estructural y funcionalmente complejo, el cual está asociado al floema y se extiende de manera continua por todo el cuerpo de la planta. Tiene por misión la conducción de agua, almacenamiento y soporte: Puede ser de origen primario y secundario. Las células conductoras de agua son las traqueidas (Fig. 2.5.a) y los miembros de los vasos; estos miembros están unidos por los extremos formando los vasos. El almacenamiento se presenta en células Parenquimáticas (Fig. 2.5.b) que se disponen en filas verticales y también en disposición radial en el xilema.



(a)



(b)

Fig. 2.5 Xilema. (a) Traqueidas, (b) células parenquimáticas

Las células del floema (Fig. 2.6) conducen alimento (fotosintatos producidos por la fotosíntesis) desde las hojas al resto de la planta [9]. Son células vivas en la madurez. Las células del floema están ubicadas por fuera del xilema.

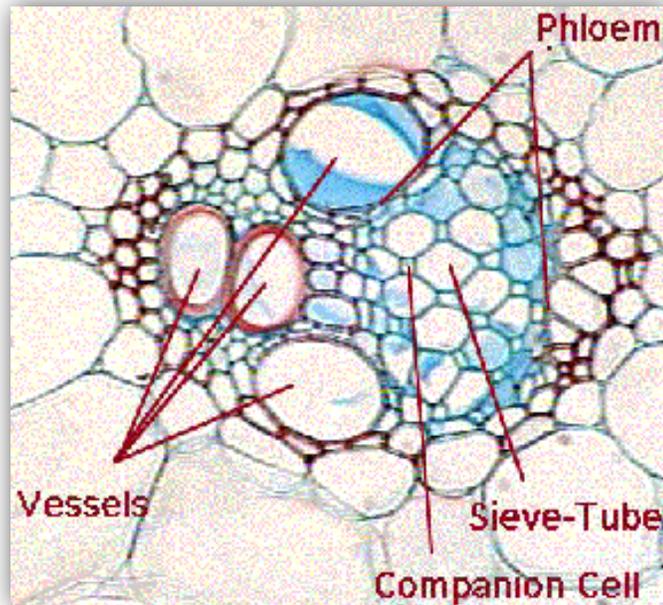


Fig. 2.6. Células del Floema

La necesidad de un sistema de transporte a larga distancia para el movimiento de las sustancias orgánicas es consecuencia de la especialización funcional. En los organismos fotosintéticos más primitivos, unicelulares o talófitos, todas las células realizan la función fotosintética del carbono por lo que los lugares de síntesis y de utilización están muy próximos y el transporte no representa gran problema. En las plantas vasculares, por el contrario, los fotoasimilados producidos en las hojas se transportan a otros órganos (frutos, raíces y zonas de almacenamiento) a distancias que oscilan entre unos centímetros y varias decenas de metros ni los procesos de difusión, ni el transporte de célula a célula permiten mover con eficacia las sustancias a distancias tan considerables [3].

2.3.4 Estrés en las plantas

El estrés ambiental representa una fuerte restricción para el aumento de la productividad de los cultivos y el aprovechamiento de los recursos naturales. Se estima que únicamente un 10% de la superficie de la tierra arable se encuentra libre de algún tipo de estrés [10].

El deterioro ambiental por las actividades humanas no es un fenómeno reciente; prácticamente, desde su aparición el hombre ha transformado su medio natural en un intento por apropiarse de los recursos que la naturaleza le brinda. En la actualidad, estos cambios han mostrado un grado de transformación tal, que ponen en peligro la capacidad de equilibrio para sostenimiento de la vida humana [11].

Cerca del 20% de la tierra presenta algún tipo de deficiencia o toxicidad mineral. El 26% es afectada por estrés de sequía y 15% por temperatura [12]; incluso bajo condiciones de producción protegida, como el uso de invernaderos y túneles, donde también se presentan eventos de estrés biótico o abiótico que disminuye la productividad.

2.3.5 Concepto de estrés

El estrés se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todo los niveles funcionales de los organismos. Desde un punto de vista biológico, el estrés tiene una connotación más amplia, refiriéndose a los cambios ambientales que alteran al estado fisiológico de las plantas [13].

El estrés es el conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado, bajo un rango de condiciones óptimas. Se define la resistencia al estrés como la capacidad de un organismo para resistir, evitar y escapar a los estímulos ambientales negativos o poder permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su fenotipo se vea modificado de manera

significativa; su estado “ideal” se identifica al ser observado bajo condiciones óptimas y se denomina “norma” [10].

Son manifestaciones fenotípicas de estrés las deformaciones como el amarillamiento, manchas, necrosis, etc. En las plantas. Otras menos obvias requieren técnicas especiales para su detección, como la baja asimilación enzimática, inducción a transmisión de genes, cambios en la composición química, etc. Múltiples factores ambientales inducen estados de estrés en las plantas. El estrés hídrico es la principal barrera para incrementar la producción y la calidad; en conjunto con las plagas y enfermedades [14].

2.3.6 Estímulos en la planta: factores bióticos y abióticos

En general los factores bióticos que afectan a las plantas son: animales, plantas, hongos, bacterias, virus que interactúan con la planta y producen una respuesta electroquímica [15]. Estas relaciones pueden ser: patógenos, parásitos, simbióticas, comensales o amensales. Por organismos multicelulares que interactúan con las plantas y hacen depredación y parasitismo (roedores y/o nematodos) [16], los factores abióticos son aquellos componentes de un ecosistema propio del medio ambiente, como: calor, frío, sequía, inundaciones, salinidad, daño mecánico, exceso de luz, exceso de fertilizantes [17][18] (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Las enfermedades en plantas que se producen pueden ser provocadas tanto por factores bióticos o por factores abióticos

Factores bióticos		Factores abióticos	
Hongos	malezas	Calor	Lesiones mecánica
Bacterias	algas	Frio	Carencia de luminosidad
Virus	musgos	Deficiencias de nutrientes	Excesiva luminosidad
Nematodos		Toxicidad por nutrientes	
Roedores		Sequía	
Pájaros		Exceso de humedad	
Venado		Toxicidad por químicos	
Caracoles		Contaminación del aire	

2.3.7 Respuesta Bioquímica de la planta

Las plantas, organismos sésiles, están obligadas a discriminar entre los diferentes retos que les plantea su entorno y responder a ellos [19]. Estas respuestas a su ambiente biótico y abiótico les permiten la mejor distribución de sus recursos para crecer, reproducirse y defenderse. En gran parte de las reacciones de defensa se reflejen en una diversidad bioquímica que tiene muy pocos paralelos con otros grupos de organismos. De hecho, el repertorio bioquímico de las plantas es único. La enorme diversidad fitoquímica y el largo tiempo de evolución de este metabolismo han resultado en interacciones de complejidad creciente. En el caso de las interacciones entre plantas e insectos, por ejemplo, ciertos compuestos con estructuras muy similares pueden ejercer actividades muy disímiles, desde insecticidas hasta repelentes o incluso atrayentes. El gran tamaño de respuestas es el resultado de una compleja coevolución. No sólo resulta fascinante desde el punto de vista biológico, sino que también acarrea consecuencias económicas importantes. La interacción con organismos microbianos, herbívoros y otras especies de plantas puede ser de carácter positivo, negativo o neutral. Depende, en cada caso, de una serie de vinculaciones complejas, sobre la mayoría de las cuales conocemos muy poco. Haremos aquí hincapié en las interacciones de carácter negativo, casi siempre asociadas a la supervivencia ante el ataque de predadores, parásitos o patógenos [17]. Aunque los mecanismos químicos involucrados en estos tres tipos de interacciones pueden ser de naturaleza similar.

2.3.8 Potencial de acción en células de animales

La concentración de iones dentro de todas las células es distinta a la del medio que las baña; el potasio suele estar más concentrado, y el sodio mucho menos, dentro de las células que en el medio que las baña. Como las células en reposo (sin excitar) suelen ser permeables al potasio pero esencialmente impermeables al sodio, escapan iones de potasio desde su interior hasta que se desarrolla una diferencia de potencial de -60 a -70 mV (milivolts) aproximadamente a través de la membrana plasmática, y en estas condiciones el interior de la célula es negativo con respecto al

exterior por que la pérdida de iones de potasio no se acompaña con pérdida de aniones. Y de manera inversa, el exterior de las células se convierte en positivo al mismo grado en relación de la misma [20].

2.3.9 Potenciales de acción en fibras musculares

Se producen también potenciales de acción en diversas fibras musculares [21]. La parte excitada de una fibra muscular también se vuelve negativa en relación con la porción en reposo, y es posible registrar de algunas fibras musculares potenciales de acción de hasta unos 100 mV (milivolts). Hace muchos años, Galvani demostró la naturaleza eléctrica de la excitación del musculo, y su semejanza con la del nervio, colocando dos preparaciones de gastrocnemio y nervio ciático. Al excitar el primer musculo para que se contrajera, por ejemplo, presionando su nervio, había excitación del nervio ciático del segundo músculo, que se contraía inmediatamente después del primero [22].

2.3.10 Potenciales de acción en células vegetales

También se producen potenciales de acción por estimulación de las células vegetales [23] [28]. Por ejemplo, en la planta sensible mimosa pueden registrarse con un galvanómetro los potenciales de acción que se desarrollan inmediatamente después del estímulo de las células sensibles y pasan al pulvinos (engrosamiento o ensanchamiento de la base de la hoja). Cuando los potenciales de acción llegan a los pulvinulos, los cambios en la turgencia producen movimientos. Son todavía más notables los potenciales de acción en *Nitella*, algas de agua dulce con células multinucleadas muy grandes. Si se estimula una célula de *Nitella* mediante presión, calor, luz, sustancias químicas o electricidad, el potencial de acción (de un décimo de voltio) se propaga con una velocidad de varios centímetros por segundo en el aire, y aproximadamente 10 veces con tanta rapidez en el agua con electrólitos. El potencial de acción generalmente llega hasta los extremos de la célula [24]; sin embargo, puede desaparecer después de atravesar parte de ella, conducta que contradice el principio de todo o nada característico del impulso nervioso.

Pero al igual que las células nerviosas, Nitella presenta una suma de estímulos después de la excitación, la célula de Nitella se vuelve refractaria, y no puede ser estimulada después de un tiempo. El periodo refractario puede durar 30 segundos o varios minutos; después de una manipulación traumática [22] [25].

2.4. Sustratos para plantas

Durante los últimos años, la actividad agrícola se ha caracterizado por un marcado dinamismo científico y tecnológico, impulsado por la necesidad de mejorar los rendimientos y utilizar eficientemente los recursos disponibles. Unido a estos cambios tecnológicos, se ha producido una importante sustitución del cultivo tradicional en pleno suelo por el cultivo en sustratos. Las principales razones de esta sustitución han sido:

- a) La necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro.
- b) La presencia cada vez mayor de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en suelo natural, particularmente salinidad, enfermedades y agotamiento del recurso [26].

Adicionalmente, el desarrollo de la industria de viveros y el auge de los cultivos sin suelo han generado una creciente necesidad de investigación en sustratos agrícolas que buscan satisfacer la demanda por plantas más productivas.

2.4.1 Sustrato

El término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno [30] [26].

El cultivo de plantas en sustrato difiere marcadamente del cultivo de plantas en suelo. Así, cuando se usan contenedores para el volumen del medio de cultivo del cual la planta debe absorber el agua y elementos nutritivos [27], es limitado y

significativamente menor que el volumen disponible para las plantas que crecen en campo abierto.

En la actualidad existen una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, precio, disponibilidad y características propias del sustrato [29].

2.4.2 Tipos de sustratos

La elección de material para la elaboración de los sustratos está determinada por la disponibilidad local, su costo, para que el cultivo se vaya a emplear, sus propiedades, la experiencia previa que se tiene en el empleo del material y su impacto ambiental [43].

- a) Materiales orgánicos: resaca de monte, resaca de río, hojas de pino, turba, subproductos y desechos de actividades agropecuarias, industriales y urbanas: residual sólidos, estiércol de animales, de granja (ovejas, caballos, etc.).
- b) Materiales inorgánicos: arena, perlita, vermiculita, arcilla expandida.

2.4.3 Solución nutritiva

El sustrato óptimo está definido por la especie vegetal a cultivar, el tamaño de la maceta, las condiciones ambientales del área de producción (régimen de lluvias, temperatura, luz, calidad del agua para riego, etc.) y del costo de los materiales para su formulación.

Si conocemos con anticipación las características de un material podremos conocer su capacidad para ser utilizado solo o en mezclas para la preparación de sustratos.

Las características físicas están directamente asociadas a la capacidad de proveer agua y aire al sistema de raíces. Un sustrato está constituido por partículas sólidas y espacios que dejan entre sí, denominados poros que conforman el espacio poroso total.

Los poros de mayor tamaño, generados por la distribución de partículas grandes, son los encargados de almacenar agua. El volumen de aire que se encuentra en los poros de un sustrato cuando se encuentra a capacidad de contener es la capacidad de aireación. Los sustratos con predominio de poros de tamaño grande necesitan riegos frecuentes ya que, a capacidad de contenedor, gran parte de los poros están ocupados por aire. Cuando predominan los poros pequeños aumenta el volumen de agua retenida luego de un riego, por lo tanto necesitan una menor cantidad de riego [43].

2.5. Electrodo

Para registrar los biopotenciales es necesario tener un elemento que haga interfase entre la planta de estudio y el equipo de medida, este elemento es el electrodo. Dado que los electrodos son una interfase, es necesario tener en cuenta que por ellos fluirá una corriente: generalmente muy pequeña pero significativa [35]. Además los electrodos forman una interfase de transducción entre una corriente de naturaleza iónica generada por la planta y la transducen en una señal eléctrica que es transmitida al instrumento o sistema que registre este tipo de señales [33].

2.5.1 La interfase electrodo - electrolito

Un electrolito es un elemento o sustancia susceptible de ser descompuesta por electrolisis. La interfaz electrodo electrolito (fig. 2.7) consiste en electrones que se mueven en una dirección opuesta a la de la corriente en el electrodo, cationes (C+) moviéndose en la misma dirección de la corriente y aniones (A-) moviéndose en una dirección opuesta a la de la corriente en el electrolito [34] [46]. Lo que permite que estas cargas crucen la interfase mediante las siguientes reacciones químicas de las ecuaciones Ec. 2.1 y Ec. 2.2.



Dónde: n es la Valencia de C y m es la Valencia de A.

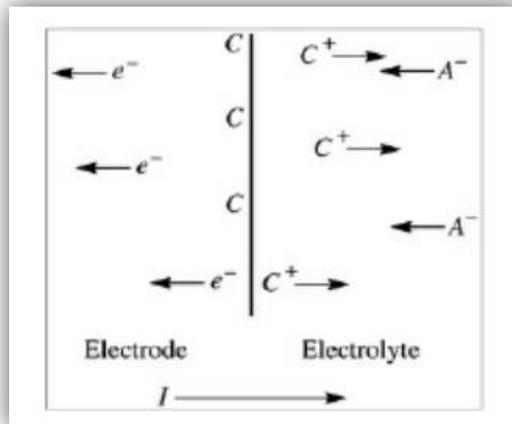


Fig. 2.7. Interfaz electrodo electrolito

El catión se descarga en el electrolito, mientras que el electrón permanece como un portador de carga en el electrodo; el anión que llega a la interfaz puede oxidarse a átomo neutro, dándole uno o más electrones libres al electrodo.

2.5.2 Potencial de semicelda

Es una diferencia de potencial, determinada por la naturaleza del metal involucrado, la concentración de sus iones en solución y la temperatura, al igual que por otros factores de segundo orden [35].

El potencial de semicelda se produce cuando se coloca un metal en una solución, inicialmente, la reacción predomina a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la concentración de cationes en solución y las condiciones de equilibrio particulares. La concentración local de cationes en la solución en la interfaz cambia, lo cual también afecta la concentración de aniones en ese punto, lo que da como resultado la diferencia de potencial en el electrolito que lo rodea.

2.5.3 Polarización del electrodo

Cuando existe una corriente eléctrica entre el electrodo y el electrolito, se altera el potencial de semicelda [32]. La variación se debe a la polarización del electrodo. La diferencia en potencial, entre el potencial de semicelda con corriente y el potencial de semicelda con corriente cero en equilibrio se conoce como sobre voltaje.

El fenómeno de sobre voltaje tiene 3 componentes:

- a) Sobre voltaje óhmico (V_r): es el resultado directo de la resistencia del electrolito.
- b) Sobre potencial de concentración (V_c): Resulta de los cambios en la distribución de iones en el electrolito en la vecindad de la interfaz electrodo electrolito.
- c) Sobre voltaje de activación (V_a): es una diferencia en voltaje entre el electrodo y el electrolito, dad por la barrera que hay que vencer para que ocurra la oxidación o reducción.

Los tres mecanismos de polarización son aditivos, por lo tanto, el sobre voltaje neto está dado por la ecuación Ec. 2.3.

$$V_p = V_r + V_c + V_a \quad \text{Ec. 2.3}$$

Cuando dos soluciones iónicas acuosas de diferente concentración están separadas por una membrana semi-permeable selectiva a iones, se desarrolla un potencial eléctrico a través de esta membrana. El potencial está dado por la ecuación de Nerst (Ec. 2.4).

$$E = -\frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{a_1}{a_2}\right) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde: a_1 y a_2 son las actividades de los iones sobre cada lado de la membrana, n es la valencia del material del electrodo, R es la constante universal de los gases, F es la constante de Faraday y T es la temperatura absoluta en K. en soluciones diluidas la actividad iónica es aproximadamente igual a la concentración iónica. Cuando las concentraciones son altas, la actividad de los iones es menor que su concentración [35].

2.5.4 Electrodo polarizables y no polarizables

Se clasifican dependiendo de lo que sucede con el electrodo cuando una corriente pasa entre él y el electrolito [37].

- a) Electrodo polarizables: son aquellos en los cuales la carga no actual cruza la interfaz electrodo electrolito cuando una corriente es aplicada. En este caso, el electrodo se comporta como si fuera un capacitor.
- b) Electrodo no polarizables: son aquellos en los cuales la corriente pasa libremente a través de la interfaz electrodo electrolito, sin requerimientos de energía para llevar a cabo la transición. No necesita sobre voltajes.

Electrodos hechos de metales nobles tales como el platino son los que se acercan más al comportamiento de los electrodos perfectamente polarizables, como el material de estos electrodos es relativamente inerte, es difícil que se oxide o disuelva. Además, la corriente que pasa entre el electrodo y el electrolito cambia en primer lugar la concentración de iones en la interfaz, entonces la mayoría de los sobre voltajes vistos a partir de este tipo de electrodos es del tipo (V_c) voltaje de concentración. Las características eléctricas de tales electrodos muestran en fuerte efecto capacitivo [33].

2.5.5 Electrodo de plata/cloruro de plata

El Ag/AgCl es un electrodo práctico, como un acercamiento a las características del electrodo no polarizable. Consiste en un metal cubierto con una capa delgada de un compuesto iónico (AgCl) soluble de ese metal con un adecuado anión. Toda la estructura es inmersa en un electrolito que contiene el anión (Cl^-) en concentraciones relativamente altas [33].

El comportamiento de Ag/AgCl está gobernado por dos reacciones químicas (Ec. 2.5 y Ec. 2.6).



La primera envuelve la oxidación de los átomos de plata en la superficie del electrodo para formar iones de plata en solución de la interfaz.

La segunda reacción ocurre inmediatamente después de la formación de los iones Ag^+ . Estos iones se combinan con los iones Cl^- en solución, para formar el componente iónico AgCl ; este último es muy poco soluble en agua, por lo que la mayoría se precipita sobre el electrodo de plata contribuyendo así al depósito de cloruro, la precipitación y retorno a la solución es una constante k , conocida como producto de solubilidad (Ec. 2.7).

$$a_{\text{Ag}^+} \times a_{\text{Cl}^-} = k \quad \text{Ec. 2.7}$$

en los fluidos biológicos, la concentración de los iones Cl^- es relativamente alta, lo cual le da una actividad tal que es un poco menor que la unidad. El producto de solubilidad del AgCl es del orden de 10^{-10} ; esto significa que cuando el electrodo está en contacto con los fluidos biológicos, la actividad del Ag^+ debe ser muy baja, por el mismo orden de magnitud del producto de solubilidad.

El electrodo Ag/AgCl presenta la mayor parte de su ruido en frecuencias bajas.

2.5.6 Electrodo para estimulación eléctrica de los tejidos

Los electrodos utilizados para la estimulación eléctrica de los tejidos siguen el mismo diseño general que aquellos utilizados en el registro de biopotenciales. Difieren en que en este caso pequeñas corrientes del orden de los miliamperios atraviesan la interfase electrodo electrolito [33] [41].

Al estudiar los electrodos para estimular [36], se debe considerar que la corriente neta a través de la interfase electrodo electrolito no siempre es cero. Si se utiliza un pulso estimulante bifásico, la corriente promedio es cero durante periodos largos de tiempo. Sin embargo, durante el ciclo del estímulo, hay periodos en los cuales la

corriente neta a través del electrodo va en una dirección en un tiempo y en otro tiempo diferente. Además, las magnitudes de las corrientes de las dos direcciones pueden ser diferentes.

En la estimulación con voltajes constante la corriente correspondiente al flanco de subida salta en un paso grande pero cuando quede establecida la distribución de la carga de polarización caerá a su valor bajo en el estado estable. Cuando el voltaje cae la corriente parece cambiar la dirección pero luego retorna a cero. Esto se debe a la disipación de esfuerzo de cargas de polarización en la interfase electrodo electrolito.

2.6. Instrumentación electrónica

2.6.1 Amplificador operacional

El amplificador operacional es un circuito compuesto por una gran cantidad de transistores [45]. Este circuito es muy utilizado debido a su gran versatilidad y puede utilizarse en múltiples configuraciones que son capaces de hacer operaciones aritméticas tales como la suma, resta, integración y derivación. El diagrama de un amplificador es presentado en la Figura 2.8; se aprecian las terminales con las que cuenta; la terminal V_{out} es la terminal de salida, la terminal $V-$ es la entrada no inversora, la terminal $V+$ es la entrada no inversora, mientras que las terminales $Vs+$ y $Vs-$ son las terminales de alimentación, la $Vs-$ es negativa y la $Vs+$ es la alimentación positiva. Los amplificadores operacionales [45] tiene la característica de amplificar la diferencia de potencial que aparezca en sus terminales $V+$ y $V-$ dándole una ganancia A , idealmente infinita; $V_{out} = A((V+) - (V-))$.

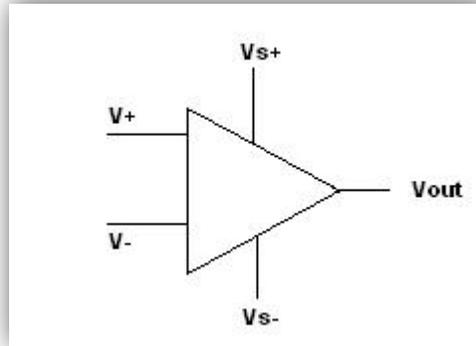


Fig. 2.8. Amplificador operacional

Se considera el modelo de amplificador operacional ideal como aquel circuito que cuenta con las siguientes características [45]: impedancia de entrada infinita, es decir, que la corriente neta que entra al amplificador por las terminales no inversora e inversora es cero; impedancia de salida cero; ganancia de modo común cero, esto se traduce al hecho de que al aplicar voltajes iguales a las entradas, la salida del amplificador deberá ser cero [45]; ganancia de lazo abierto A infinita, en otras palabras, se puede amplificar el factor $(V+ - V-)$ a valores infinitos; y el ancho de banda es infinito, esto es que los amplificadores operacionales ideales pueden amplificar señales en los rangos de frecuencias de 0 a infinito con una ganancia infinita [3]. Sin embargo, estas características no pueden ser alcanzadas del todo en la realidad, un ejemplo muy simple es el hecho que no podemos dar ganancias infinitas, ya que el amplificador operacional real solo puede dar una ganancia, está dependiendo del rango de voltaje que suministra la fuente de alimentación, dar una ganancia infinita equivaldría a tener fuentes de alimentación infinitas, lo cual no es posible en la práctica; mientras que por el lado de las impedancias de entrada infinitas, tampoco es posible, pero en el mercado existen amplificadores que tienen impedancias de entrada de varios cientos de mega ohms, con lo que se pueden hacer aproximaciones al modelo del amplificador operacional ideal.

2.6.2 Amplificador de instrumentación

Los amplificadores de instrumentación han sido desarrollados para ser utilizados en sistemas de instrumentación en los que las características de operación son críticas. Las características de los amplificadores de instrumentación pueden optimizarse si se diseñan como circuitos integrados, ya que en este caso, el fabricante puede garantizar el diseño de los elementos críticos, haciendo que tengan valores precisos y que las relaciones entre las características de elementos emparejados tengan razones muy exactas, justo tal como se requiere en su diseño.

La precisión y estabilidad de los amplificadores de instrumentación se realiza a costa de limitar su flexibilidad. Son amplificadores que han sido diseñados para ser utilizados únicamente como amplificadores, pero a cambio de ello, proporcionan unas características buenas, y además pueden utilizarse sin necesidad de conocer con detalle su diseño interno y con sólo interpretar su función externa [39].

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial voltaje-voltaje cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa mediante un circuito resistivo y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia fabricación aún en un entorno hostil [40]. El amplificador es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características propias e independientes de los elementos con los que interacciona [38]. Para ello, se le requiere:

- ✓ Tengan unas características funcionales que sean precisas y estables.
- ✓ Sus características no se modifiquen cuando se ensambla con otros elementos.

A los amplificadores de instrumentación se les requieren las siguientes características:

- ✓ Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.
- ✓ Su ganancia diferencial se controlada mediante un único elemento analógicos (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) lo que facilita su ajuste.

- ✓ Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el rango de frecuencia en que opera.
- ✓ Una impedancia muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.
- ✓ Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.
- ✓ Bajo nivel de la tensión de offset del amplificador y baja deriva en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales de continua muy pequeñas.
- ✓ Una anchura de banda ajustada a la que se necesita en el diseño.
- ✓ Un factor de ruido muy próximo a la unidad, Esto es, que no incremente el ruido.
- ✓ Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.

El amplificador de instrumentación es uno de los amplificadores más utilizados, con una mejor precisión en señales analógicas y versátiles que se dispone en la actualidad. Este dispositivo electrónico está formado por tres amplificadores operacionales y siete resistencias, como se observa en la figura 2.9.

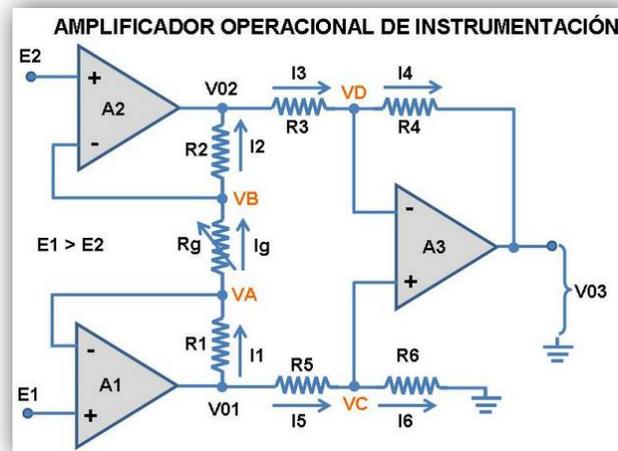


Fig. 2.9. Amplificador de instrumentación

2.6.3 Amplificador inversor con ganancia

Se llama así este montaje porque la señal de salida es inversa de la de entrada, en polaridad, aunque puede ser mayor, igual o menor, dependiendo esto de la ganancia que le demos al amplificador en lazo cerrado. La señal, como vemos en la figura 2.10, se aplica al terminal inversor o negativo del amplificador y el positivo o no inversor se lleva a masa. La resistencia R_2 , que va desde la salida al terminal de entrada negativo, se llama de realimentación.

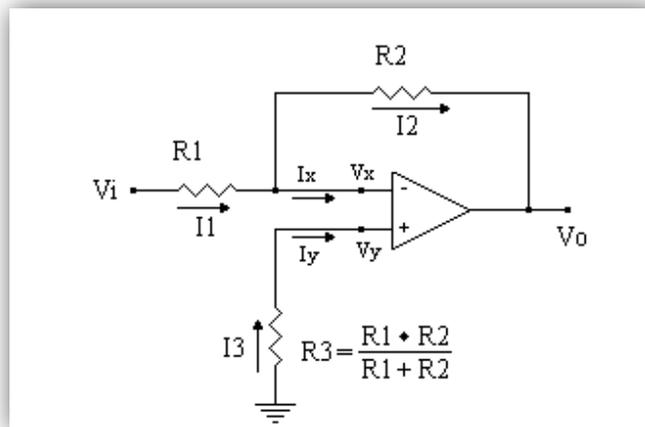


Fig. 2.10. Amplificador inversor con ganancia

La ecuación # nos indica que la tensión de salida V_o es la tensión de entrada V_i multiplicada por una ganancia R_2/R_1 . El signo negativo de la expresión indica la inversión de fase entre la entrada y la salida (Ec. 2.8).

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \quad \text{Ec. 2.8}$$

2.7. Filtros activos y pasivos

Con el aumento constante de las cargas no lineales conectadas a la red de alimentación aparecen muchos problemas de distorsión y pérdida de eficiencia, debido al bajo factor de potencia. Una de las formas de mejorar esta situación, es la utilización de filtros activos, y en los últimos años se han desarrollado distintas estructuras [42]. Estas cargas no lineales conectadas a la red consumen corrientes que no son senoidales.

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencias mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. Existen filtros activos y pasivos, los filtros activos utilizan amplificadores operacionales además de resistencias inductores y capacitores. Los inductores no se emplean mucho en los filtros activos pues son voluminosos, caros y a veces tienen componentes resistivas de elevada magnitud [48].

2.7.1 Etapa de filtrado

La señal amplificada proveniente de la etapa del pre amplificador contiene una mezcla de señales no deseadas, en estas se encuentran inmersas las señales biológicas. Es por esta razón que para tener registros claros de la señal biológica necesario depurar o filtrar la información; esto se logra usando amplificadores operaciones con los cuales se construyen filtros analógicos para obtener registros de señales deseadas [47]. Sin embargo las señales de ruido provenientes por el movimiento de los cables y de los artefactos pueden causar una mala interpretación de los resultados. Otra técnica para evitar el ruido de la toma de corriente y del ambiente es anexar un filtro rechaza banda (60Hz). Para hacer el filtrado de la señal, se cuenta con múltiples configuraciones de filtros, también se tiene que tomar en cuenta el orden del filtro; el orden del filtro es un factor importante y ayuda en gran medida a la reducción del ruido [47].

2.8. Microcontroladores

Un Microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar su funcionamiento de una tarea determinada, como el control de una lavadora, el teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, etc. Para esto, el Microcontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema con Microcontrolador debe de disponer de memoria donde se almacena el programa que gobierna el funcionamiento del mismo que, una vez programado y configurado, solo sirve para realizar la tarea asignada. La utilización de un Microcontrolador en un circuito reduce notablemente el tamaño y el número de

componentes y, en consecuencia, disminuye el número de averías y el volumen y el peso de los equipos [49].

Los Microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los Microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas.

2.8.1 Puertos de Entrada y Salida

La principal utilidad de las patas que posee el chip que contiene un Microcontrolador es soportar las líneas de entrada-salida (E/S) que comunican a la computadora de manera interna con los periféricos exteriores y, según los controladores de periféricos que posea cada modelo de Microcontrolador, se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control. Todos los Microcontroladores destinan algunas de sus pines para soportar líneas de E/S de tipo digital, esto es, todo o nada. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho pines formando Puertos. Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida (fig. 2.11), cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

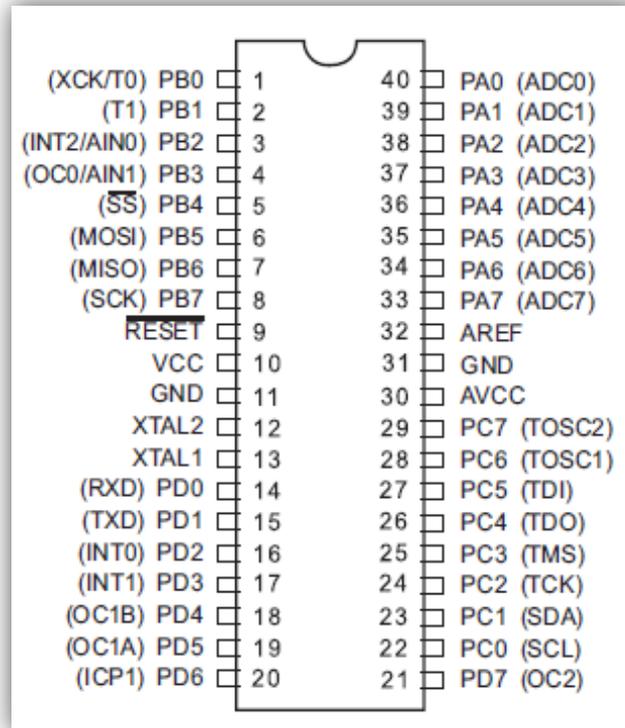


Fig. 2.11. Microcontrolador AVR Atmega16L

Normalmente un Microcontrolador se alimenta con 5 voltios aplicados entre los pines Vcc y Gnd que son, respectivamente, la alimentación y la masa o tierra de la fuente. El circuito de alimentación que obtiene los 5 voltios a partir de una tensión de mayor valor a 8 voltios y al menos 1 amperio es el LM7805 (regulador de voltaje).

2.8.2 Oscilador para Microcontrolador

Todo Microcontrolador requiere de un circuito que le indique la velocidad de trabajo, este es llamado oscilador o reloj. Este genera una onda cuadrada de alta frecuencia que se utiliza como señal para sincronizar todas las operaciones del sistema. Este circuito es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del mismo. Generalmente todos los componentes del reloj se encuentran integrados en el propio Microcontrolador y tan solo se requieren unos pocos componentes externos, como un cristal de cuarzo o una red de resistencia y capacitor (RC), para definir la frecuencia de trabajo.

El más utilizado y está basado en el oscilador a cristal de cuarzo (fig. 2.12) o en un resonador cerámico [49]. Es un oscilador estándar que permite una frecuencia de reloj muy estable comprendida entre 100 KHz y 4 MHz o en algunos casos con más frecuencias.



Fig. 2.12. Cristal de cuarzo

2.9 Protocolos de comunicación

2.9.1 Protocolo RS232

Una de las maneras para realizar la comunicación entre 2 PC's, es utilizando un cable serial, conectado a los puertos seriales de ambas computadoras. La comunicación serial utiliza el protocolo RS232 y es el más común de los métodos de comunicaciones.

En un extremo del cable de comunicaciones se encuentra un conector llamado DB9 hembra y del otro extremo un DB9 macho. Se llama así porque tiene la forma de una D. y tiene el número 9 porque tiene 9 patitas o 9 entradas (Fig.2.13)



Fig. 2.13. Conector DB9

2.9.2 Principio de funcionamiento

El puerto serial es un dispositivo muy extendido ya sea de uno o dos puertos, con conector grande o pequeño, todos los equipos de la PC lo incorporan actualmente. Debido a que en el estándar del puerto serial se mantiene desde hace años, la institución americana (EIA) ha escrito la norma RS232 que regula el protocolo de la transmisión de datos, el cableado, las señales eléctricas y los conectores en los que debe basarse una conexión RS232 [49].

La comunicación realizada con el puerto serial es una comunicación asíncrona. Para la sincronización de una comunicación se precisa siempre de un bit adicional a través del cual el emisor y el receptor intercambian la señal del pulso. Pero en la transmisión serial a través de un cable de dos líneas, esto no es posible ya que ambas están ocupadas por los datos y la tierra. Por este motivo se intercalan antes y después de los datos de información de estado según el protocolo RS232. Esta información es determinada por el emisor y el receptor al estructurar la conexión mediante la correspondiente programación de sus puertos seriales. La información que será necesario es la siguiente:

- a) Bi de inicio: cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer la transmisión y

entonces debe leer las señales de la línea a distancias concretas de tiempo, en función de la velocidad determinada.

- b) Bit de parada: con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits es 1 enviados es par.

Las señales con las que trabaja este puerto serial son digitales, de +12Volts (0 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12Volts. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros. Cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica cada uno de ellos.

Tabla. 2.2. Distribución de pines del DB9

#	Pin	E/S	Función	Conector DB 9
1			Tierra de Chasis	
2	RXD	E	Recibir Datos	
3	TXD	S	Transmitir Datos	
4	DTR	S	Terminal de Datos Listo	
5	SG		Tierra de señal	
6	DSR	E	Equipo de Datos Listo	
7	RTS	S	Solicitud de Envío	
8	CTS	E	Libre para Envío	
9	RI	S	Timbre Telefónico	

Las señales TXD, DTR y RTS son de salida, mientras que RXD, DSR, CTS son de entrada. La tierra de referencia para todas las señales es SG (tierra de señal). Finalmente existen otras señales como RI (timbre) [49] [50].

2.9.3 Señales del DB9

- a) Tierra de chasis: se conecta internamente al chasis del dispositivo.
- b) Recibe Datos (RXD). Por este pin entran los datos del dispositivo externo.

- c) Transmite Datos (TXD). Por este pin salen los datos para ir al dispositivo externo.
- d) Terminal de señal (DTR). Esta pata realiza el control maestro del dispositivo externo. Cuando este pin está en 1, el dispositivo externo no transmite ni recibe datos.
- e) Tierra de señal. Se ha dicho que los datos se envían como voltajes + o - . pues bien, este pin es la referencia de señal para esos voltajes.
- f) Conjunto de datos listo (DSR). Por lo general, los dispositivos externos tienen esta patita con un valor permanente de 0.
- g) Solicita permiso para enviar datos (RTS). Esta parte del hardware se usa para verificar que los dispositivos se han comunicado. Si el dispositivo externo está de acuerdo, pone un 0 en la patita que se llama (CTS).
- h) Pista libre para enviar datos (CTS). Esta es la otra mitad del hardware usado para verificar el dispositivo. Si el dispositivo externo pone en 0 cuando esta lista para recibir datos.
- i) Timbre telefónico. Este pin se usa solo cuando un dispositivo está conectado a un modem.

2.9.4 Velocidad y control del puerto

El ordenador controla el puerto serial mediante un circuito integrado específico, llamado UART (Transmisor Receptor Asíncrono Universal). Normalmente se utilizan los siguientes modelos de este chip: 8250 (antiguo, con muchos fallos, solo llega a 9600 baudios), 16450 (versión corregida, llega hasta 115200 baudios) y 16550 (con buffers de E/S). A partir de la gama Pentium, la circuiterías UART de las placas base son todas de alta velocidad, es decir UART 1550A [50].

2.9.5 Convertidor USB a Serial

Los dispositivos de envío y recepción de datos han evolucionado, como por ejemplo, al USB que maneja protocolos diferentes, así su dispositivo de entrada. Pero tanto, a falta de un puerto serial en una computadora, se buscan nuevas alternativas para la

comunicación, para ello se encontró el USB a serial como se muestra en la figura 2.14, el cual hacía un buen manejo de los protocolos para crear compatibilidad.



Fig. 2.14. Convertidor USB-RS232

Este integrado es un convertidor USB Serie (RS232), con el que se puede emular un puerto serie a través del USB. Es simple y funcional, y necesita muy poca electrónica, se conecta casi directamente a las señales TX, RX, CTS, RTS. Con la ventaja de tener niveles TTL. Este dispositivo es muy útil para comunicar Microcontroladores PIC o Atmel con la PC, sin puerto serie a través del USB.

2.10 Plataforma de trabajo LabVIEW

LabVIEW es un revolucionario ambiente de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y presentaciones de datos. LabVIEW le da la flexibilidad de un poderoso ambiente de programación sin la complejidad de los ambientes tradicionales.

A diferencia de los lenguajes de propósito general, LabVIEW provee funcionalidad específica para que pueda acelerar el desarrollo de aplicaciones de medición, control y automatización.

LabVIEW está altamente integrado con el hardware de medida, con lo que se puede configurar y usar rápidamente cualquier dispositivo de medida que se tenga. Con LabVIEW puede conectarse a miles de instrumentos de medida para construir sistemas de medida completos, incluyendo desde cualquier tipo de instrumento

autónomo hasta dispositivos de adquisición de datos, controladores de movimiento y sistemas de adquisición de imagen. Además LabVIEW trabaja con más de 1000 librerías de instrumentos de cientos de fabricantes, y muchos fabricantes de dispositivos de medida incluyen también herramientas de LabVIEW con sus productos [51].

2.10.1 Instrumentación virtual

Cuando se habla de instrumentos de medida, es normal pensar en un equipo sólido y cuadrado en determinados casos, y en estos equipos destaca su panel frontal lleno de botones, leds y demás tipos de controles y visualizadores. En la cara oculta del panel están los contactos de esos controles que los unen físicamente con la circuitería interna se compone de circuitos integrados y otros elementos que procesan las señales de entrada en función del estado de los controles, devolviendo el resultado a los correspondientes visualizadores del panel frontal.

En instrumento virtual es un módulo de software que simula el panel frontal de un instrumento que se menciona anteriormente, apoyándose en elementos de hardware accesibles por el ordenador (tarjetas de adquisición de datos, tarjetas DSP, instrumentos vía GPIB, VXI, RS232), realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real [52].

De este modo cuando se ejecuta un programa que funciona como instrumento virtual o VI (*Virtual Instrument*). El usuario ve la pantalla de su ordenador un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. A partir de los datos reflejados en el panel frontal, el VI debe actuar recogiendo o generando señales, como lo haría un instrumento físico.

III.- DESARROLLO

Se presenta el diseño un sistema electrónico capaz de registrar la actividad eléctrica en plantas, cuando es sometida a estímulos bióticos y abióticos. En el desarrollo de este sistema electrónico se implementaron varias metodologías (fig. 3.1): la germinación de las semillas, el tipo de sustrato donde se empezara el crecimiento de las plántulas hasta su edad adulta, obtener información de algunos estímulos biótico o abiótico y obtener una base de datos de cada especie debido a su comportamiento a diferentes condiciones de su entorno.

Se construyó una caja de acrílico (color negro) de 5 mm de espesor y medidas 31cm de ancho x 62.5 Largo x 51.5 cm de alto, necesarias para tener 2 plantas a la vez en cada experimento (ver Anexo A), se monitorea la temperatura utilizando sensores que cuentan con la instrumentación necesaria para él: registro, acondicionamiento y captura de las señales eléctricas en las plantas de manera endógena, esta información es enviada vía USB a través de una tarjeta de adquisición de datos y es recibida por la computadora a través de una interfaz hombre-máquina.

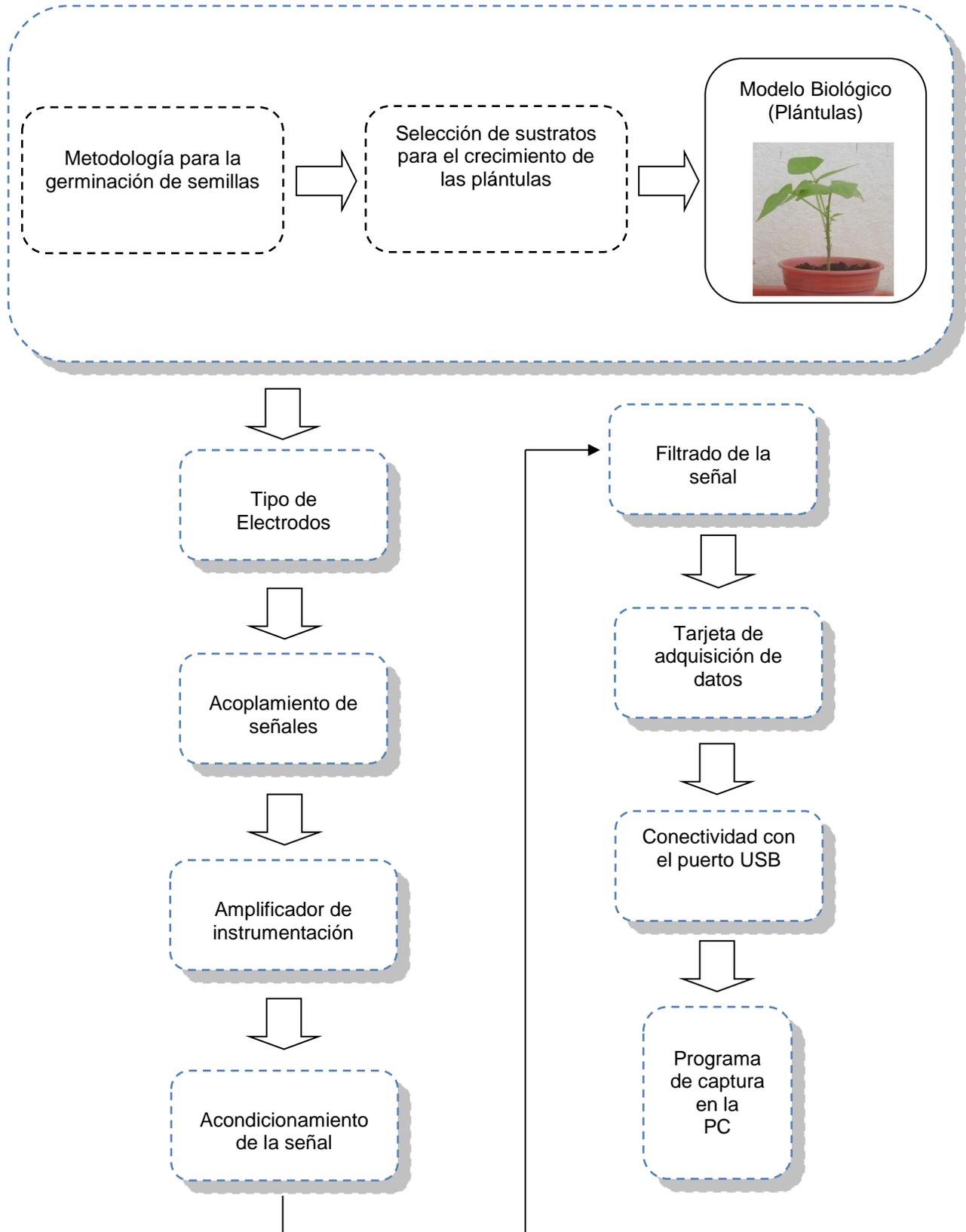


Fig. 3.1 Diagrama a bloques del sistema de registro

3.1.- Germinación de semillas

En el desarrollo de la germinación de semillas de frijol (pinto villa y carioca) es necesario establecer las condiciones en las cuales el experimento se llevara a cabo, así como, las limitaciones que esto puede causar. En el trabajo que se presenta se emplean semillas de frijol pinto villa y carioca (fig.3.2). Por lo cual el experimento no se puede generalizar con los mismos resultados para otro tipo de semilla.



Fig. 3.2. Frijol a) Pinto villa, b) carioca

El experimento consta en la colocación de varias semillas de frijol, tanto pinto villa como carioca y colocar a germinar las semillas en condiciones adecuadas (temperatura y cantidad de agua), para controlar los factores que pudieran afectar y así poder observar el crecimiento de la semilla del frijol.

Para el experimento se emplearon los siguientes materiales: semillas (frijol pinto villa y carioca), agua, un contenedor de acrílico transparente y papel.

Las semillas de frijol son depositadas en un contenedor de acrílico transparente (fig.3.3), con una cama de papel de 24 x 40 cm, este contenedor tiene las dimensiones de 30 x 60 x 10 cm y 5 mm de espesor. En ella se colocaron 20 semillas, 10 pinto villa y 10 carioca; a estas se les coloca otra cama de papel en la parte interior del recipiente de acrílico, esta cama de papel nos sirve para mantener con una cantidad de agua las semillas y tengan en buen crecimiento.

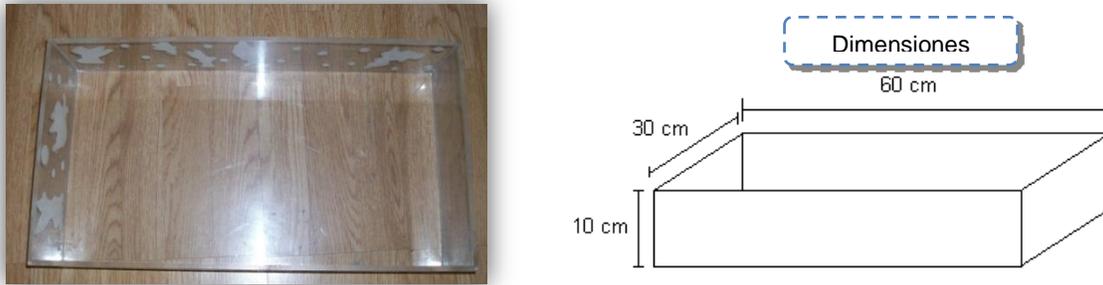


Fig. 3.3 Caja de acrílico

Posteriormente se colocan las semillas distribuidas a lo largo y ancho del contenedor de acrílico en un espacio de 5 cm de longitud (fig. 3.4), esto con el propósito de observar que cada semilla se encuentra en condiciones adecuadas de humedad y cantidad de aire durante la germinación.

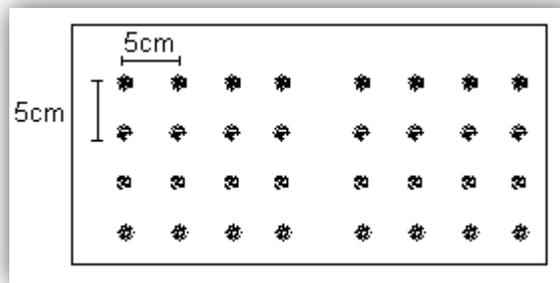


Fig. 3.4 Distribución de las semillas

Los factores que son controlados en el experimento y que servirán para observar el comportamiento de la forma en la que influyen en el crecimiento de la semilla, son llamados tratamientos. Estos tratamientos que se administran en la semilla son: Temperatura, tipo de agua y cantidad de agua.

El tipo de agua empleada para la germinación de la semilla es de tipo normal (agua purificada), esto para mantener las mismas características que se emplea en la germinación. Para ello se toma una botella de agua embotellada, considerando que esta tiene las mismas características y un control de calidad, de esta manera podemos pensar que las características de sales y minerales que contiene el agua es la misma durante todo el experimento.

La cantidad de agua suministrada a cada semilla es 10 mililitros, para que el papel que las cubre solo quede húmedo y no tengan exceso de agua y pueda causar la formación de hongos debido al exceso del líquido.

La primera expresión de crecimiento en la etapa de germinación corresponde a la aparición de la radícula, la cual se convierte en la raíz primaria o principal (fig.3.5). En la parte alta de la radícula, pocos días después de ocurrida la germinación, se desarrollan entre tres y siete raíces secundarias.



Fig. 3.5. Aparición de la radícula en la semilla

En la germinación de las semillas se presentan tres etapas (fig. 3.6) que se superponen parcialmente:

- 1) La absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y la ruptura final de la testa.
- 2) El inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión
- 3) El crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula (fig. 3.7).

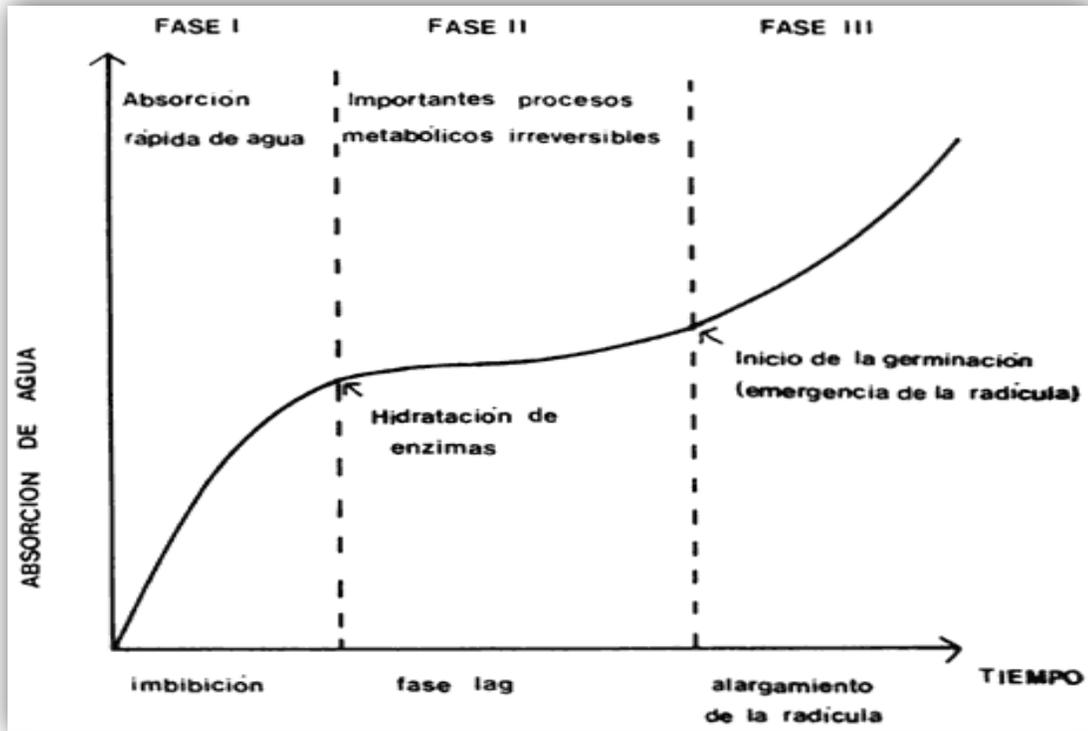


Fig. 3.6. Fase de germinación de semillas

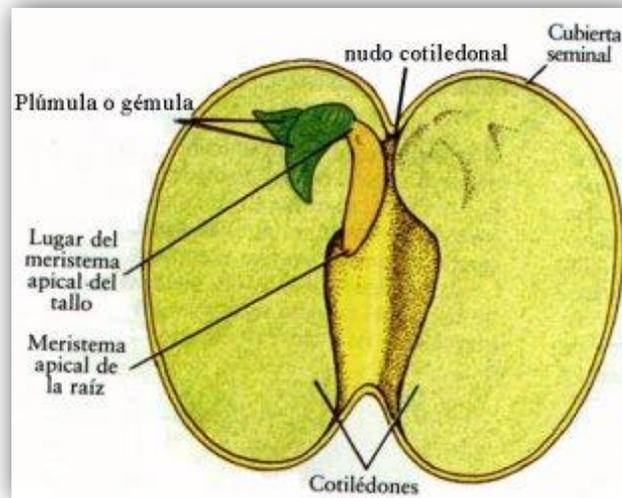


Fig. 3.7. Embrión y semilla de dicotiledónea

Una vez concluida la fase de germinación se cambian las plántulas a los sustratos, esto con el objetivo de que la plántula tenga un buen crecimiento y continúe con el proceso de obtención de nutrientes a través de los sustratos en los cuales se coloca.

3.2 Utilización de los Sustratos

3.2.1 La Vermiculita

La Vermiculita se ha utilizado como uno de los compuestos para el crecimiento de las plántulas esto debido al grado hortícola y es uno de los componentes que se utilizaron en los experimentos, este sustrato es totalmente libre de tierra, se usa tanto en la agricultura comercial como en la agricultura doméstica. La vermiculita se utilizó debido al grupo de minerales naturales laminados e hidratados similares a la mica (fig. 3.8). Los cuales son procesados en Hornos especiales, el mineral se expande en partículas laminares en forma de acordeón ya reconocida por muchos como una parte de las mezclas de sustratos libres de tierra.



Fig. 3.8. Sustrato Vermiculita

Este producto procesado es: estéril, permanente, inodoro y no es tóxico. Tiene características que son muy deseables, siendo este un producto muy ligero en peso, con una alta capacidad de retención de humedad y nutrientes.

Es un tipo de mica que sometido igualmente a altas temperaturas se expande y da un producto que tiene buena capacidad de intercambio iónico, es decir, de retención de nutrientes. Su PH está entre 7 y 7.2.

Este sustrato se utilizó para el crecimiento adecuado de plántulas, pero el resultado que nos entregó no fue el idóneo para poder llevar los experimentos. Este tuvo varios inconvenientes:

- a) Las plántulas al tener un crecimiento de 10 cm de largo la vermiculita no tiene la fuerza suficiente para sostenerla.
- b) La cantidad de agua que retiene es poca y no necesaria para las plántulas utilizadas.



Fig. 3.9. Plántulas en sustrato vermiculita

3.2.2 Agrolita o perlita

Mezclas con perlita pura pueden utilizarse para germinar semillas ya que ésta logra mantener niveles de humedad y temperatura uniformes. El color blanco brillante de la perlita la hace muy eficiente para ser utilizada como cobertor de semillas, ofreciendo protección contra la luz solar muy intensa y la alta energía radiante, como también resistencia al crecimiento de algas o del musgo superficial. Además el color blanco de la perlita, refleja la luz hacia arriba en la parte inferior del follaje incrementando el crecimiento de la planta.



Fig. 3.10. Sustrato agrolita o perlita

3.2.3. Tierra para maceta

El suelo natural (Fig.3.11) casi siempre tiene en su interior elementos no deseados para su uso como sustrato de macetas. Principalmente semillas de yerbas malas y organismos patogénicos vivos o sus medios de reproducción que son perjudiciales al desarrollo de la futura planta. Para eliminar este inconveniente, la tierra se somete a un proceso que produce la muerte de estos agregados indeseables; este proceso se le llama esterilización. Durante la esterilización también mueren los organismos beneficiosos que son necesarios en el suelo, por lo que a la tierra esterilizada deben agregarse estos microorganismos a través del uso de composta. Aunque la esterilización se puede hacer por métodos químicos, lo más ecológico, es usar métodos naturales, los más comunes son; con el uso de calor directo y por medio del calor del sol.



Fig.3.11. Tierra para macetas

Las plántulas que se utilizaron en tierra estéril de maceta (fig. 3.12), tuvieron ciertas ventajas, estas son:

- a) La planta en su crecimiento tiene mejor sujeción de sus raíces.
- b) Mantiene gran cantidad de agua.
- c) Se pueden colocar nutrientes.

Desventajas:

- a) Evita la aireación de las plántulas.
- b) Retiene demasiada agua lo cual provoca el crecimiento de algunos hongos.
- c) Tiene algunas semillas que posteriormente encuentran su medio ideal para su crecimiento.



Fig. 3.12. Plántula en tierra de maceta

3.2.4 Peat moss

Uno de los mejores sustratos para la germinación es el peat moss (fig. 3.13), el cual retiene hasta el 70% de la humedad, pero esto puede ser un arma de dos filos, ya que se apelmaza y no permite la aireación. Por eso es que se utiliza en mezclas con agrolita al 50% ayudando a que no pierda su capacidad de retención de humedad y mejore su intercambio gaseoso.



Fig. 3.13. Sustrato peat moss

El peat moss es un musgo de género *sphagnum* con un PH de 4.5 que sirve como sustrato de uso hortícola o como cama para las mascotas ya que absorbe gran cantidad de agua y nutrientes.

El peat moss se utilizó al igual que la tierra para macetas, con el mismo tratamiento de esterilización, para matar los organismos no deseados en este suelo. El método utilizado se detalla a continuación:

- a) Se coloca en bolsas de plástico la cantidad de sustrato necesario a utilizar.
- b) Se colocan en contenedores de plástico, para evitar el deslave hacia el aparato que podría elevar la temperatura.
- c) Se coloca en un aparato llamado auto clave a una temperatura de 121 °C, durante 15 min y una presión de 15 Lb/Pig².
- d) Una vez terminado el tiempo de 15 min se deja bajar tanto la presión como la temperatura.
- e) Una vez frío el sustrato (peat moss), se coloca en los recipientes donde se colocaran las plántulas.
- f) En un lapso de 5 a 10 días se observaran las plantas en una altura de 5 a 10 cm (fig. 3.14).
- g) Este sustrato se mezcla con agrolita en un porcentaje de 50 – 50 %, de cantidad de ambos sustratos.



fig. 3.14. Plantas en sustrato peat moss

3.2.5 Electrodo para medición de biopotenciales

Para registrar los biopotenciales es necesario tener un elemento que haga interfase entre el modelo de estudio (planta) y el equipo de medida, este elemento es el electrodo. Dado que los electrodos son una interfase necesaria y que debe tenerse en cuenta que por ellos fluirá una corriente, generalmente muy pequeña pero significativa. Además los electrodos forman una interfase de transducción entre una corriente de naturaleza iónica generada por el modelo y la transforman a una señal eléctrica transmitida al instrumento de medición.

Uno de los electrodos utilizados en este trabajo fueron de tipo alambre, estos electrodos o agujas son utilizados en acupuntura para estimular algunas zonas del cuerpo humano (fig. 3.15).



Fig. 3.15. Electrodo para acupuntura

La ventaja de usar estos electrodos es el diámetro que tienen en la punta (0.2 mm de espesor), son de bajo costo y fácil de conseguir, pero las desventajas son que durante el tiempo del desarrollo del experimento y debido al medio ambiente se forma una cubierta de óxido que alteran la medición de nuestro modelo de estudio, así como la alteración de la medición o resistividad del electrodo.

Otro electrodo utilizado en este trabajo es el electrodo de electrocirugía, este presenta grandes ventajas en comparación con el de acupuntura. Evita la formación

de la capa de óxido, debido a que al material con el que está construido es acero inoxidable; la desventaja de este es el diámetro de 1 mm y 15 cm de largo (fig. 3.16). El diámetro logra perforar los conductos por donde se transmite la información al resto de la planta, y para lo largo se necesitan manipuladores para sostener el electrodo.



Fig.3.16. Electrodo para electrocirugía

El electrodo se cubre con una guarda de aluminio, para evitar señales no deseadas en el registro de las señales eléctricas. Otra desventaja que se vio en el modelo de estudio fue el diámetro del electrodo, ya que daña a la planta y con ello la sometía a un estrés no deseado, esto altera en forma considerable la señal generada por la planta.

El sistema que se desarrolló con estos electrodos tuvo desventajas SAD76 (fig. 3.17.).

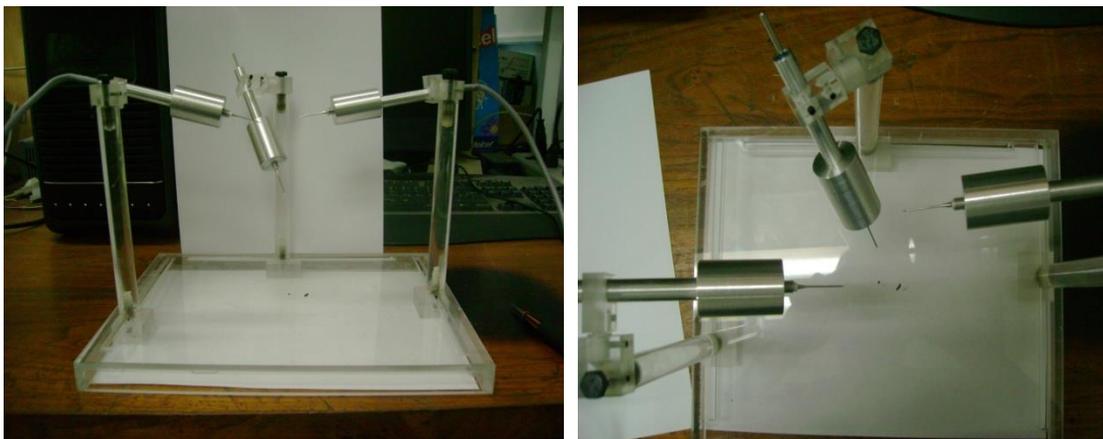


Fig. 3.17. Sistema de electrodos de electrocirugía

Desventajas del sistema SAD76

- a) Los electrodos son grandes en longitud y diámetro.
- b) Los electrodos no permiten registrar señales de entrada a la etapa de instrumentación.
- c) El sistema tenía problemas de comunicación con la PC, esto a causa del puerto de comunicación y debido a esto la pérdida de información.
- a) Debido al tamaño del electrodo se necesita una fuente de amplificación en el electrodo ya que el calor debe ser disipado por el tamaño y la conductividad del electrodo.

Otro electrodo utilizado es de tipo aguja pero para electromiografía, Este electrodo tiene una longitud de 3 cm y un diámetro de 0.2 mm (fig. 3.18.).



Fig. 3.18. Electrodo para electromiografía

3.2.6 Acoplamiento de señales

En todas las mediciones eléctricas de sistemas biológicos, las señales que se obtienen ya sea de electrodos como el caso de los potenciales biológicos, o mediante diversos transductores, son muy pequeñas, por lo que requieren una etapa de amplificación o acondicionamiento. El diseño de circuitos para realizar esta tarea se facilita con el desarrollo de amplificadores operacionales (OPAM). Este circuito nos permite el diseño de circuitos analógicos para el acondicionamiento y procesamiento...

3.3 Etapa de instrumentación

3.3.1 Amplificador emisor seguidor

Se conoce también como amplificador de ganancia unitaria o acoplador de impedancias (Fig. 3.19). Esto debido a que la señal de entrada E_i , se aplica directamente a la señal de entrada (+). El voltaje entre las terminales (+) y (-) se considera 0 volts (cero).

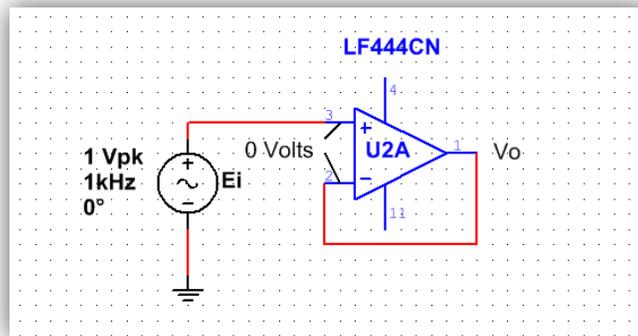


Fig. 3.19. Emisor seguidor

$$V_o = E_i \quad \text{Ec. 3.1}$$

Observamos en la Ec. 3.1, que el voltaje de salida es igual al de entrada E_i , por lo tanto la ganancia de voltaje dada por la Ec. 3.2, nos da la unidad. Esto se puede observar en la respuesta de la Fig. 3.20.

$$V_{CL} = \frac{V_o}{E_i} \quad \text{Ec. 3.2}$$

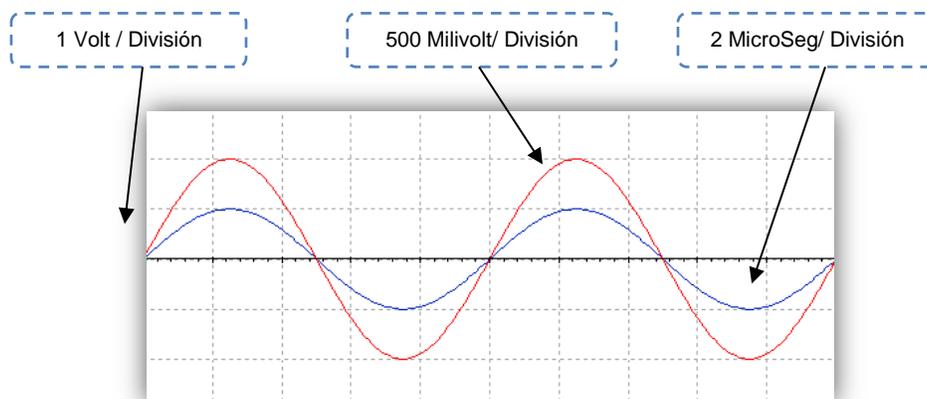
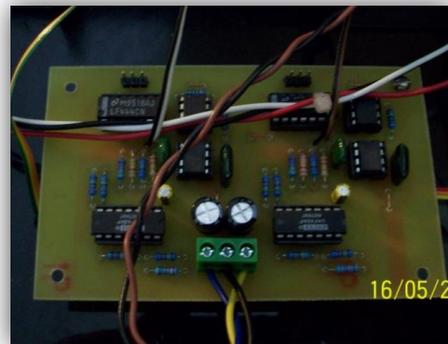
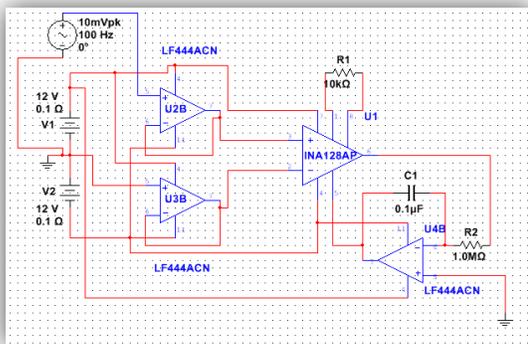


Fig. 3.20. Respuesta del seguidor de voltaje

3.3.2 Amplificador de instrumentación

Las señales biológicas se amplifican utilizando varios métodos. El primero, llamado mono polar o modo común, emplea un electrodo como referencia, colocado en el modelo de estudio. El segundo y más usado es el método de registro diferencial, en el cual la señal diferencial se encuentra entre un par de electrodos con respecto a un tercero que hace la función de tierra o neutral. Este método amplifica cualquier señal que se encuentre presente en el sitio de contacto de los electrodos. Para la lectura de estos electrodos de electromiografía se utiliza el amplificador de instrumentación (mostrado en Fig. 3.21).



(a)

(b)

Fig.3.21. (a) Amplificador de instrumentación, (b) Desarrollo de la tarjeta de instrumentación

La respuesta del amplificador de instrumentación se muestra en la Fig. 3.22.

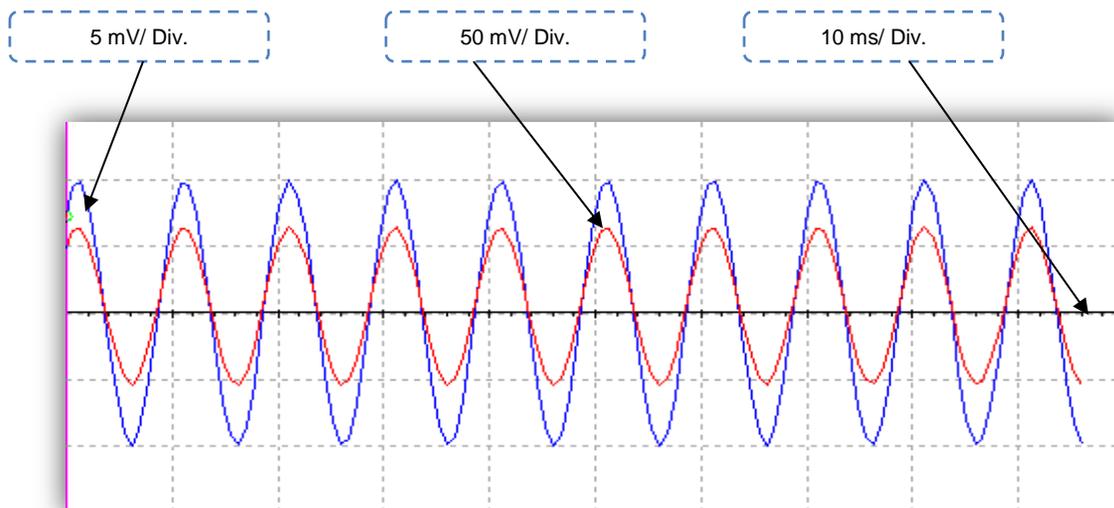


Fig. 3.22. Respuesta del amplificador de instrumentación

3.3.3 Corrector de Basal

Para que la señal adquirida vuelva a la línea isoelectrónica, fue necesario utilizar circuitos supresores de corriente directa que presenta tiempos de respuesta lentos, pero un muy alto CMRR (120dB min). Para nuestro caso utilizamos el corrector de basal que se muestra en la Fig. 3.23, que presenta un tiempo de respuesta de 628 milisegundos que corresponde a 1.59 Hz.

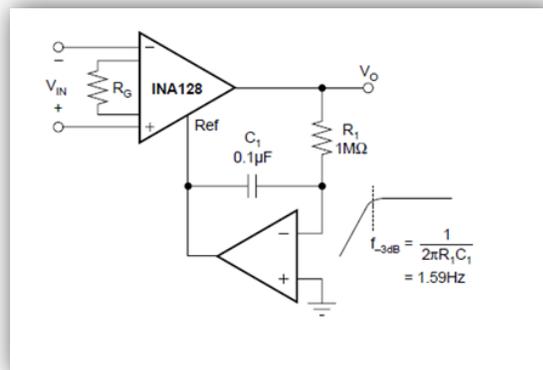


Fig. 3.23. Filtro activo pasa altas de frecuencia de corte 1.59 Hz

3.3.4 Filtros activos UAF42AP

Los filtros activos pueden presentar ganancia en toda la señal de salida respecto a la señal de entrada. En su implementación se combinan elementos activos y pasivos, siendo frecuente el uso de amplificadores operacionales, que permite obtener resonancia y un elevado factor de calidad (Q) sin el empleo de bobinas.

Estos dispositivos se implementaron con el UAF42AP (fig. 3.24), Este circuito nos ayuda a eliminar frecuencias no deseadas en un rango calculado mediante la frecuencia de corte (f_c), en nuestro caso fue de 0.05 Hz.

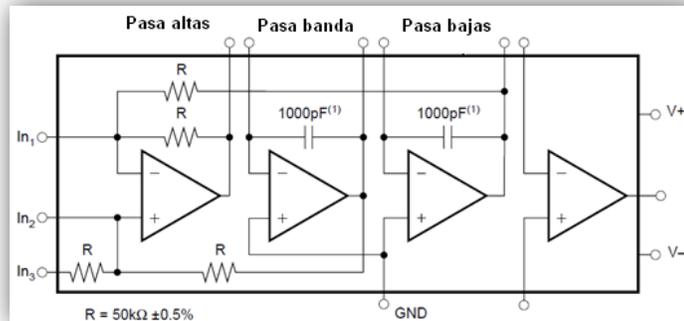


Fig. 3.24. Filtro activo UAF42AP

Este dispositivo se configuró a una frecuencia de 0.05 Hz, una ganancia de 1, tipo del filtro *Butterworth* y utilizar una configuración no inversora (Fig. 3.25).

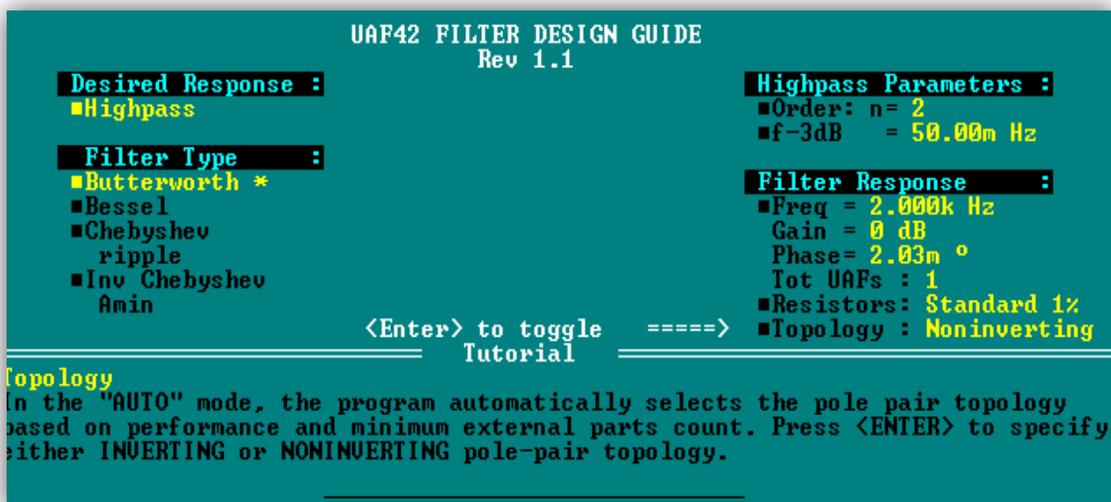


Fig. 3.25. Diseño del filtro *Butterworth*

En la Fig. 3.26 se visualizan los componentes necesarios para el diseño del filtro *Butterworth*, estos componentes son RF1, RF2, RQ, y RG. Estos se calculan mediante un programa dado por el proveedor, siempre y cuando tenga una ganancia unitaria.

UAF42 Filter Component Values								
Response:	Highpass	Input Config:	Inverting	f-3db	:	50.00mHz		
Type	: Butterworth			Order n	:	2		
				Resistors	:	nearest 1%		
Sub	Subckt	fo	Q	fz	RF1,2	RQ	RG	R2A
	C ext	Rp	Cp	Rz1	Rz2	Rz3	Ckt-gain	
Sub	PP3	50.32mHz	707.1m	----	3.160M0	44.20k0	50.00k0	----
Ckt 1	1.00u	----	----	----	----	----	1.000	
Gain, Max Vin: 1.00V/V , 10.0V								

Fig.3.26. Componentes del filtro pasa altas (*Butterworth*)

Los componentes calculados anteriormente se muestran en la Fig. 3.27. La configuración del dispositivo con sus respectivos componentes RF1, RF2, RQ, y RG. Calculada para una frecuencia de 0.5 Hz. También se utiliza una configuración de configuración PP3, dada por el fabricante.

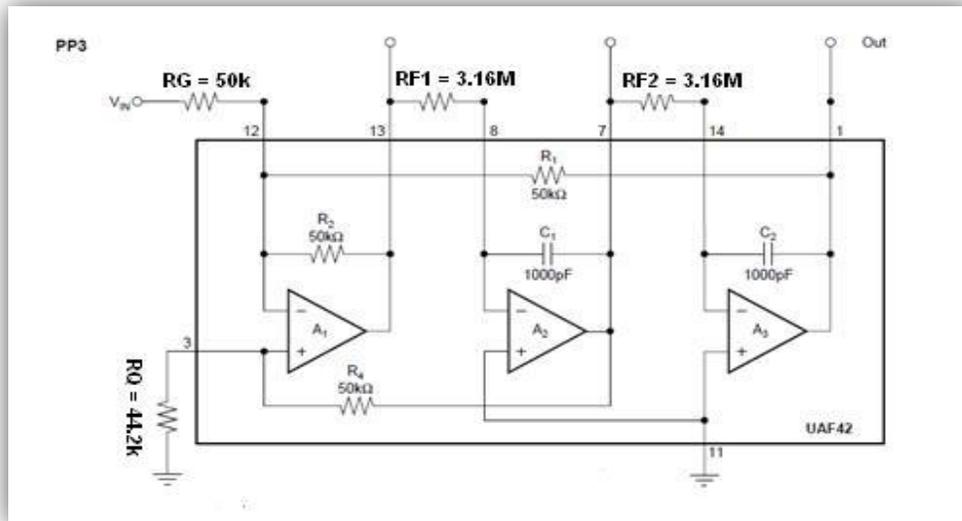


Fig. 3.27. Configuración del filtro

3.3.5 Amplificación de la señal

Uno de los amplificadores operacionales más utilizados. Se trata de un amplificador cuya ganancia en lazo cerrado desde el voltaje de entrada (V_3) a el voltaje de salida (V_o) está definida por R_4 y R_1 (Fig. 3.28). Puede amplificar señales tanto de corriente alterna como de corriente continua. Ese diseño tiene una ganancia de 1 a 50.

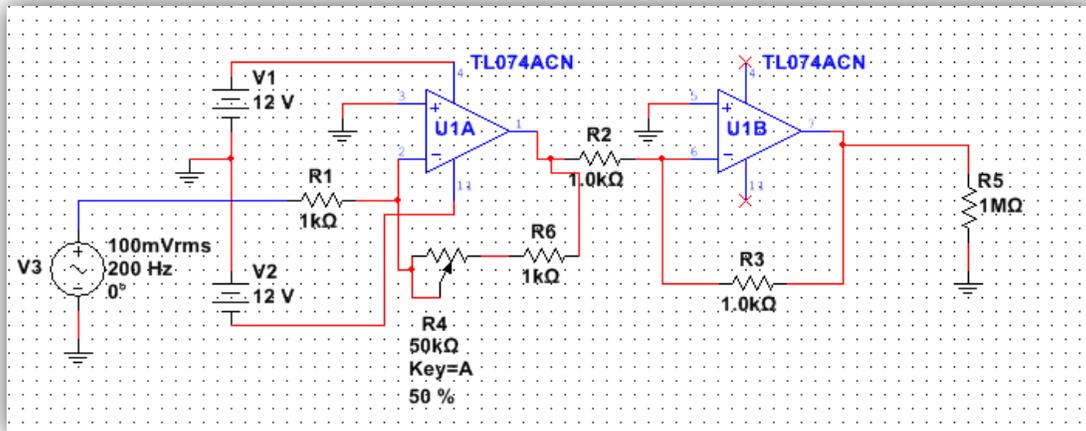


Fig. 3.28. Amplificador con ganancia de 1 a 50

La señal obtenida en la salida a partir de la entrada se observa en la Fig. 3.29.

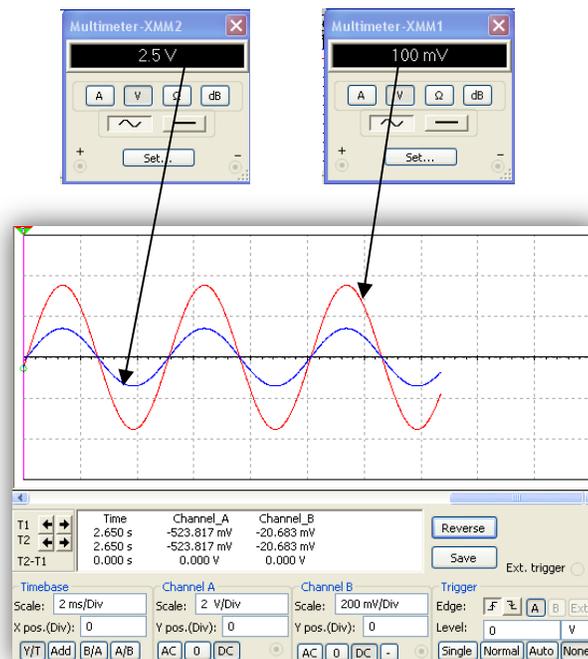


Fig. 3.29. Señales del amplificador con ganancia

3.4 Microcontrolador Atmega16L

El Microcontrolador A (fig. 3.31), es el cerebro del sistema electrónico este dispositivo se utilizó para controlar el sistema de conexión USB y el sistema de alimentación, así como coordinar el proceso de funcionamiento del sistema en su totalidad. Este dispositivo se encarga de monitorear si la PC está conectada con el sistema, en caso contrario enviara una advertencia visual que se encuentra buscando el dispositivo USB mediante flechas en una pantalla o la alimentación del sistema si es el caso (Fig.3.30).



Fig. 3.30. Conectividad del sistema

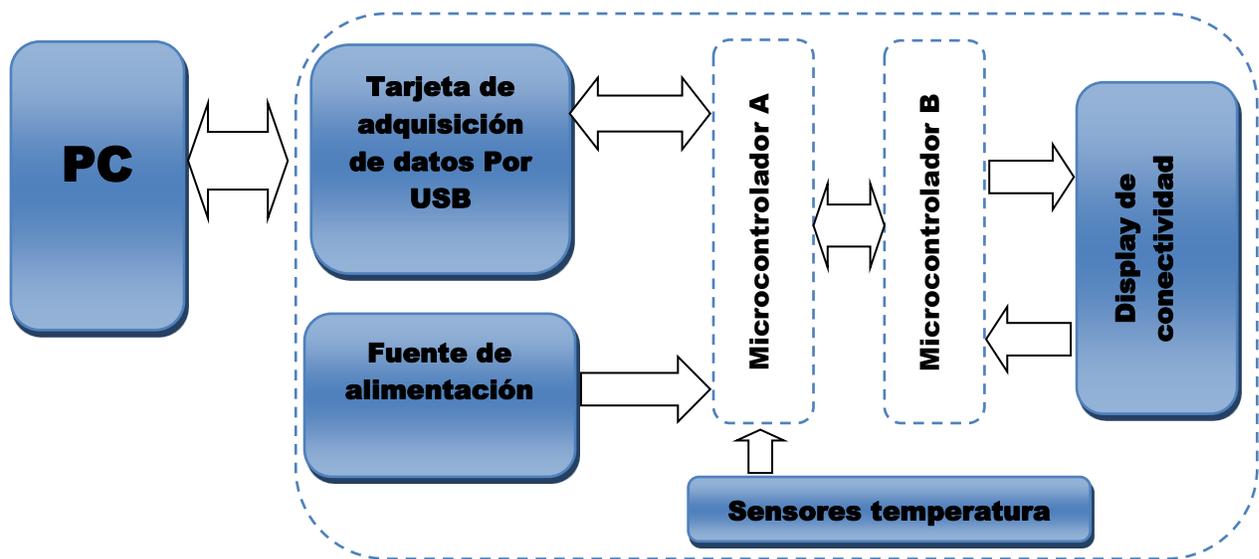


Fig. 3.31. Función del Microcontrolador

La función del principal del Microcontrolador B, es controlar las leyendas del display, esto dependiendo de la situación que se presente en el sistema (Fig.3.31). Esta pantalla (Display) fue desarrollada con dispositivos PD4437, el Microcontrolador B se guía a través de un protocolo de comunicación del PD4437. Este protocolo se menciona a continuación:

1. Ajuste del nivel de brillo de la pantalla completa, 0, 25, 50 y 100 %.
2. Cargar el primer carácter a la izquierda del PD4437 (Posición 3).
3. Cargar el segundo carácter a partir de la izquierda del PD4437 (Posición 2).
4. Cargar el tercer carácter a partir de la izquierda del PD4437 (Posición 1).
5. Cargar el cuarto carácter a la derecha del PD4437 (Posición 0).
6. Cargar le permite al carácter que sea intermitente si es que el usuario desea que este parpadeando.
7. Una vez cargado cada la palabra de 4 dígitos, se continúa visualizando indefinidamente.

El Microcontrolador A (Fig.3.31), encargado de controlar el USB y Sistema, tiene otra función aparte de cerebro del sistema, se encarga de controlar los sensores de temperatura DS1820B colocados en la caja de desarrollo para experimentos. Estos dispositivos están controlados por subrutinas preestablecidas en el mismo Microcontrolador:

1. `n=w1_search(0xf0,ds1820_rom_codes);`
2. `for (i=0;i<n;)`
3. `{ temp=ds1820_temperature_10(&rom_codes[i][0]);`
4. `printf("t%-u=%-i.%-u\x8C\n\r",++i,temp/10,abs(temp%10)); }`

Esta subrutina se encarga en la instrucción 1 de encontrar cuantos dispositivos se encuentran conectados al Microcontrolador, la instrucción 2 repetir la toma de temperatura durante n veces, la instrucción 3, captura la temperatura de cada sensor con una resolución de 0.5 grados de resolución de la temperatura y la instrucción, de imprimir los resultados obtenidos en la pantalla o si es necesario enviarlos por la tarjeta de adquisición de datos hacia la PC.

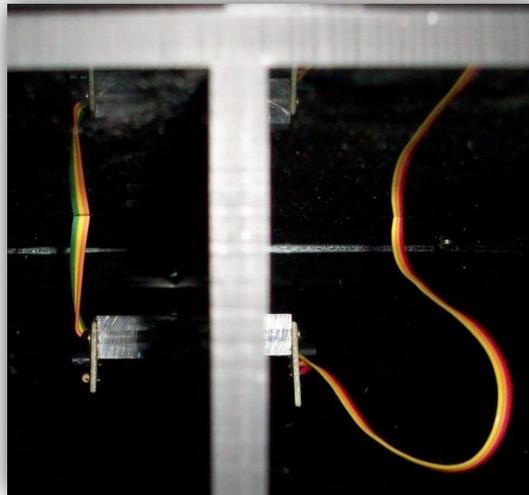


Fig. 3.32. Sensores DS1820B

3.5 Pantalla de despliegue

Esta pantalla de despliegue fue diseñada a través de los dispositivos PD4437. Este dispositivo es un display programable de cuatro dígitos programables. Los dígitos son de 11.43 mm x 6.86 mm (Fig. 3.33), Estos dígitos están constituidos por matrices de leds de 7 x 5; estas matrices están construidas con la última tecnología de estado sólido en los diodos semiconductores de luz. El manejo y control de los leds es a través de un circuito integrado CMOS con el cual fue diseñado por el fabricante (Fig. 3.34). Este circuito integrado proporciona todos los controladores necesarios para los Leds y el multiplexado de los mismos.

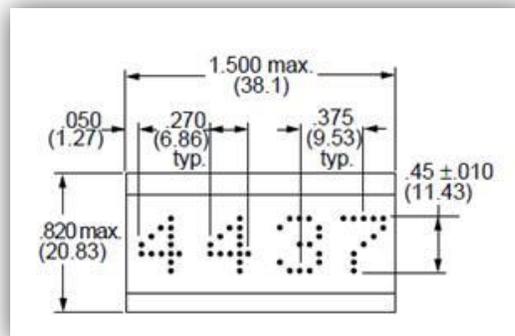


Fig.3.33 Dimensiones del PD4437

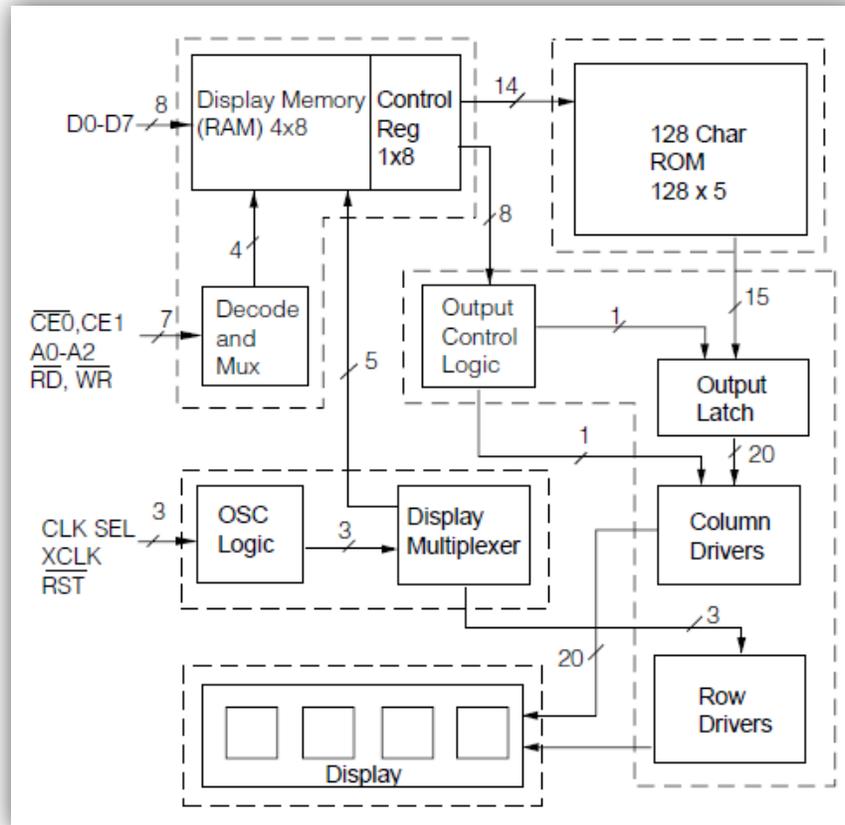


Fig.3.34. Diagrama a bloques de PD4437

El mismo sistema se encuentra diseñado para ciertos eventos que pueden suceder en el desarrollo de un experimento, el primero es el inicio del sistema (Fig. 3.35.a), una vez comprobado que el sistema se encuentra configurado, se necesita hacer uso de un teclado que nos ayuda a que el sistema inicie cuando el usuario verifique la conectividad del sistema (Fig. 3.35.b), en caso que se omita la verificación; el sistema se encarga de escanear la señal del USB y alimentación del sistema (Fig. 3.30), una vez comprobada la conectividad con la PC, se puede detener el sistema desde la PC, esto para que no siga capturando datos y enviándola a la plataforma de programación desarrollada en la PC (Fig. 3.35.c).



(a)



(b)



(c)

Fig.3.35. (a) inicio del sistema, (b) Inicio de usuario, (c) sistema detenido desde la PC

3.6 Teclado Matricial

La función del teclado matricial es mantener el control del sistema desde el usuario, una vez que se encienda el sistema de alimentación y se verifique que se encuentra conectado con la PC (Fig. 3.36).

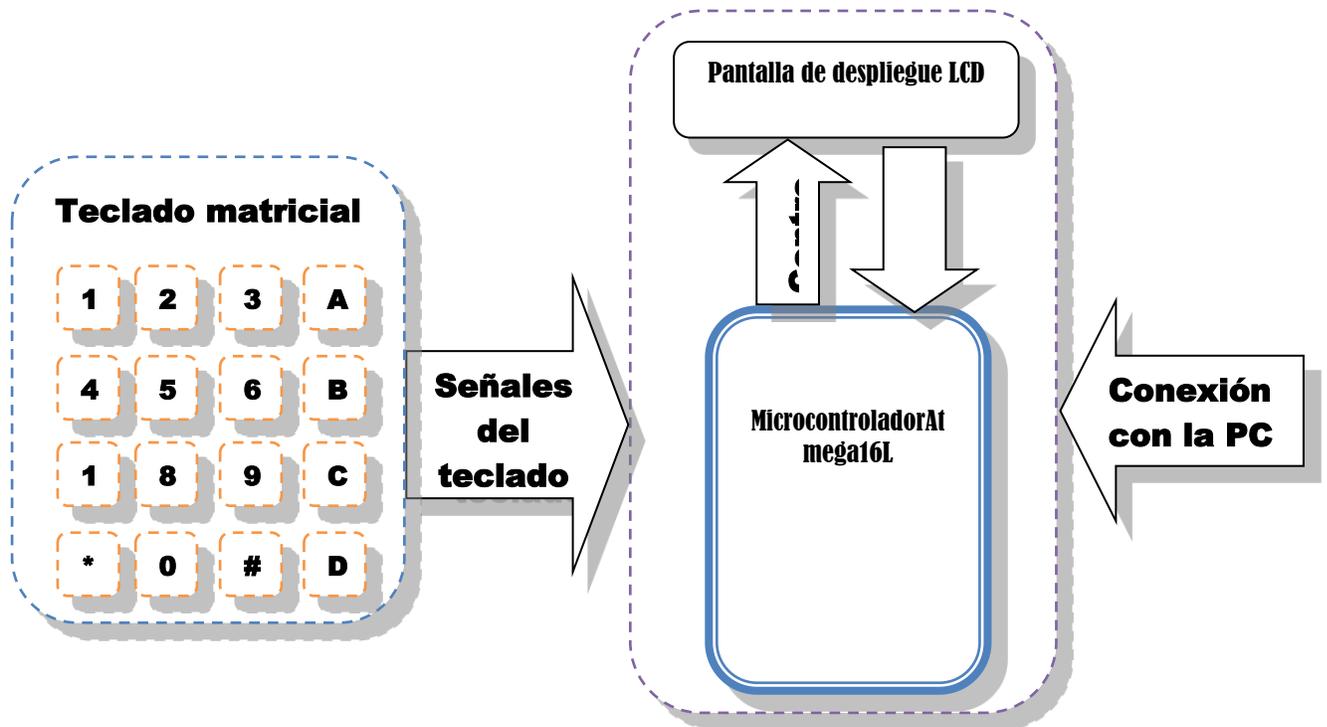


Fig. 3.36. Conexión del Teclado matricial

Este teclado tiene las dimensiones de 6.9 cm de ancho y 7.6 de largo, con una extensión para conectar de 8.7 cm.



Fig. 3.37. Teclado matricial

Este teclado es controlado por un dispositivo MM74C922N (Fig. 3.38), este dispositivo se encarga de convertir las columnas y renglones en un dato que pueda interpretar el Microcontrolador, es decir si se aprieta el dígito 1 el codificador convierte a su salida en un cero binario ("0000"), si se oprime el 2 se codifica a su

salida con un uno binario de 4 bits ("0001"). Esto se repite constantemente mientras se encuentra alimentado el dispositivo.

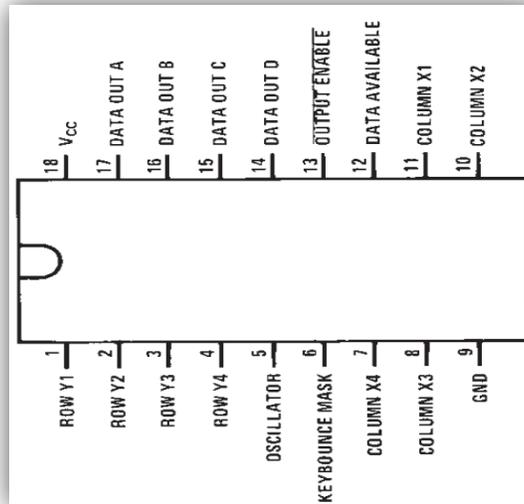


Fig. 3.38. Codificador MM74C922N

Este dispositivo tiene la capacidad de estar convirtiendo los datos de entrada del teclado matricial, en datos binarios de 4 bits (Fig.3.39).

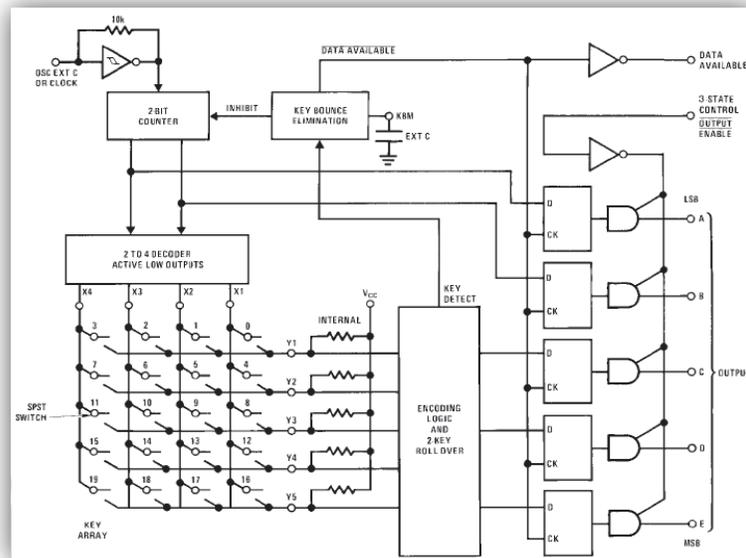


Fig. 3.39. Diagrama interno del codificador para teclado MM74C922N

El codificador tiene la facilidad de poderse configurar mediante dispositivos externos para trabajar a un frecuencia que es calculada por la resistencias de 10K ohms. Debido a su fabricación posee dispositivos que se encargan de eliminar los rebotes, esto debido al funcionamiento de teclado, ya que solo cambiara de estado hasta oprimir una tecla distinta a la antes presionada. Los datos binarios se mantendrán mientras no cambie la tecla presionada, este estado de salida es causa de los flip-flops tipo D, utilizados en la salida del MM74C922N.

3.7 Conexión del sistema

3.7.1 Conexión serial RS232

El puerto serial también llamado RS-232 (por el nombre del estándar al que hacen referencia) es la interface que permite intercambio de información con los dispositivos electrónicos del sistema (Fig.3.40). El puerto serial se refiere a los datos enviados mediante un solo bit de mando llamado Tx y la recepción a través de un bit llamado Rx. Los bits se envían uno detrás del otro hasta terminar el envío de datos (el número de datos depende de la configuración del programador), sin embargo este dispositivo tiene limitantes, estos dispositivos empiezan a desaparecer de las computadoras portátiles no en algunos casos de las computadoras de escritorio.

La comunicación serial se lleva a cabo asincrónicamente, es decir que no es necesaria una señal de sincronización o reloj, los datos pueden enviarse en intervalos aleatorios. A su vez, el periférico debe poder distinguir los caracteres (un carácter tiene 8 bits de longitud) entre la sucesión de bits que se está enviando. Por esta razón en este tipo de transmisión, cada carácter se encuentra precedido por un bit de arranque y seguido por un bit de parada. Estos bits de control, son necesarios para la transmisión serial, esta comunicación desperdicia un 20% del ancho de banda (cada 10 bits enviados, 8 se utilizan para cifrar el carácter y 2 para la recepción).

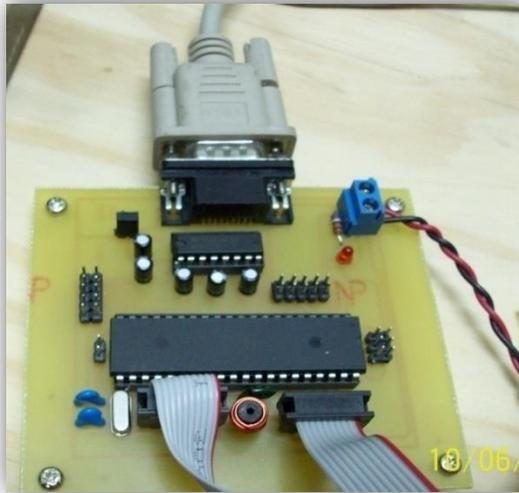


Fig. 3.40. Comunicación serial (RS232)

La tarjeta desarrollada tiene desventajas en el circuito MAX232 (convertidor de niveles de voltaje RS232 a TTL), este dispositivo al utilizar capacitores electrolíticos el tiempo de carga y descarga de cada uno de ellos es muy lenta, motivo por el cual se tiene una comunicación de baja velocidad de transmisión y recepción, esta desventaja también se presenta en la transmisión y recepción de datos, esto debido a que cada bit se transmite de forma ordenada hasta completar 8 datos; de envío y recepción. El motivo de no utilizar este protocolo de comunicación es que en las computadoras portátiles no cuentan con estos dispositivos.

3.7.2 Conexión USB

El puerto USB (*Bus de Serie Universal*) es una entrada o acceso para que el usuario del sistema pueda enviar la información procesada de la etapa de instrumentación y el control de los Microcontroladores hacia la PC o de la PC poder controlar el funcionamiento del sistema.

Una de sus principales características, es su capacidad *plug & play*. Este concepto se refiere a la cualidad de que con sólo conectar el dispositivo a la PC, el programa de captura lo reconoce y es capaz de interpretar la información enviada y reproducirla inmediatamente. Es decir, que la computadora y el sistema hablan el

mismo idioma. Otra de las ventajas que nos proporciona este dispositivo es conectar y desconectar el sistema sin necesidad de reiniciar el equipo.

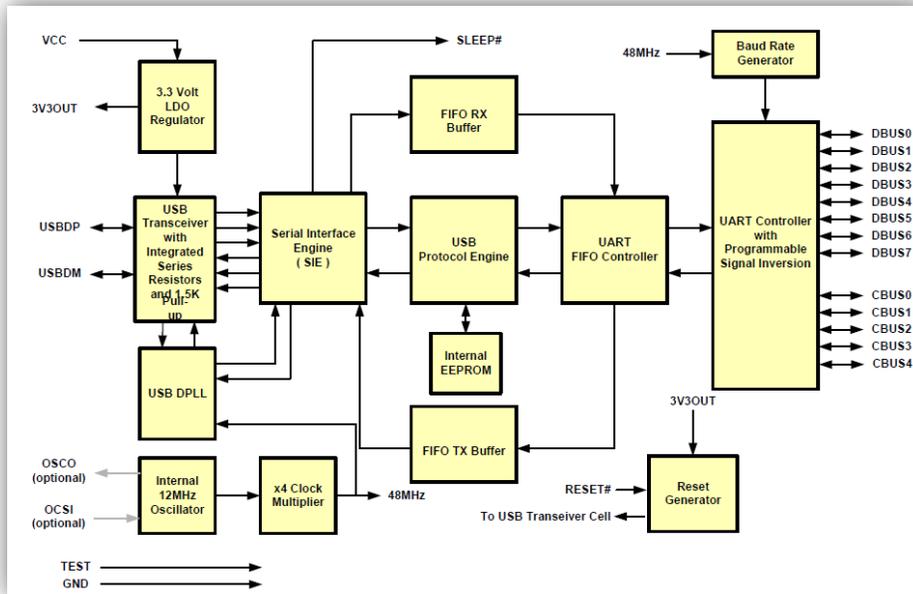


Fig. 3.41. Diagrama a bloques del FT232RL

Este dispositivo nos da la certeza de un envío de información de manera rápida, esto debido a las velocidades de transferencia de datos (300 baudios a 3 Mega baudios)

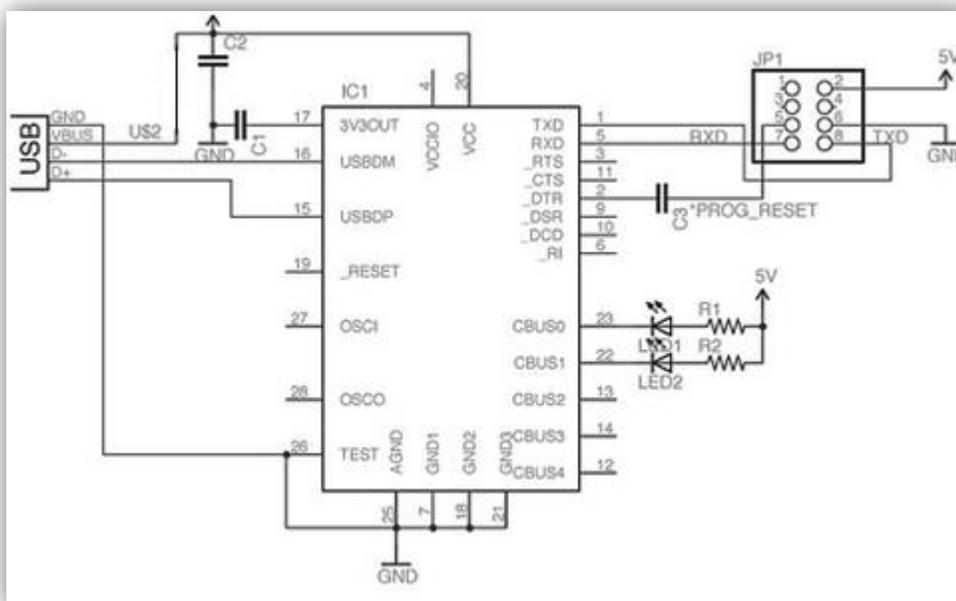


Fig.3.42. Conectividad del FT232RL

El desarrollo de la tarjeta se observa en la figura 3.43.

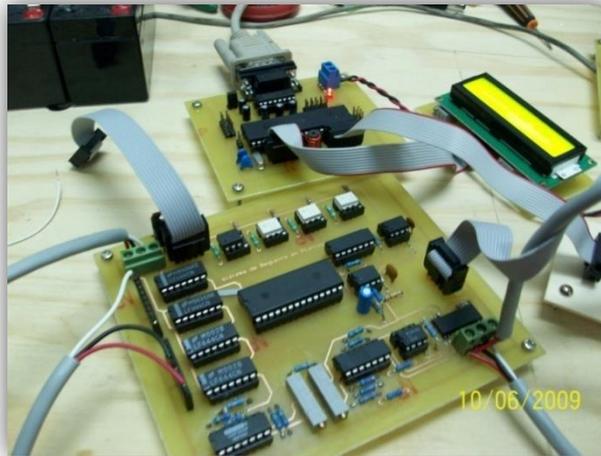


Fig. 3.43. Sistema de comunicación con el FT232RL

3.8. Caja de desarrollo de registros

El sistema cuenta con una caja de color negro en el cual se encuentra los componentes electrónicos (figura 3.44), fuente de alimentación, tarjeta de instrumentación, tarjeta de manipulación de datos del teclado matricial hacia el sistema de control, tarjeta del Microcontrolador A (cerebro del sistema electrónico), Microcontrolador B (controlador de leyendas hacia el Display), tarjeta de comunicación USB, tarjeta de pulsos casi cuadrados.

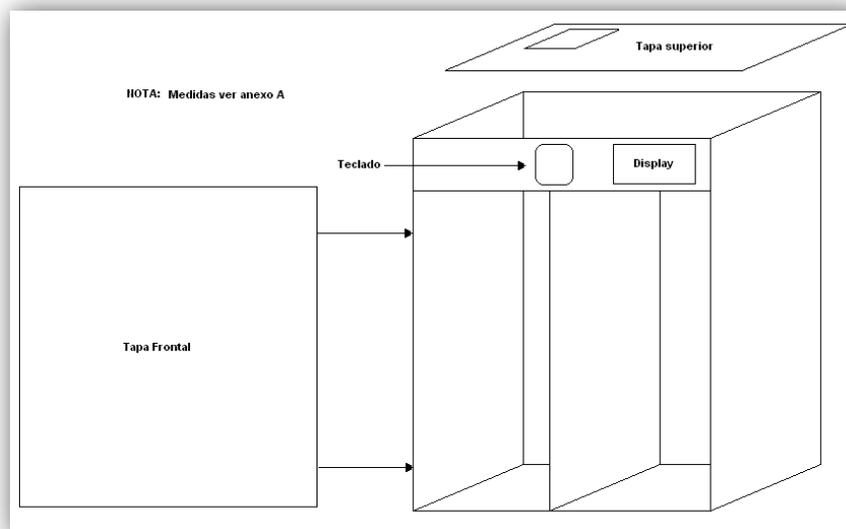


Fig. 3.44. Caja de desarrollo

3.9 Programa de captura de datos

En el programa de captura de presentan dos pantallas una de control y la de panel frontal, la pantalla de control (fig. 3.45) se encarga de realizar todas las operaciones de captura y acondicionamiento del sistema electrónico, en el panel de frontal (3.46) se encarga de visualizar los datos que son procesados en la pantalla de control.

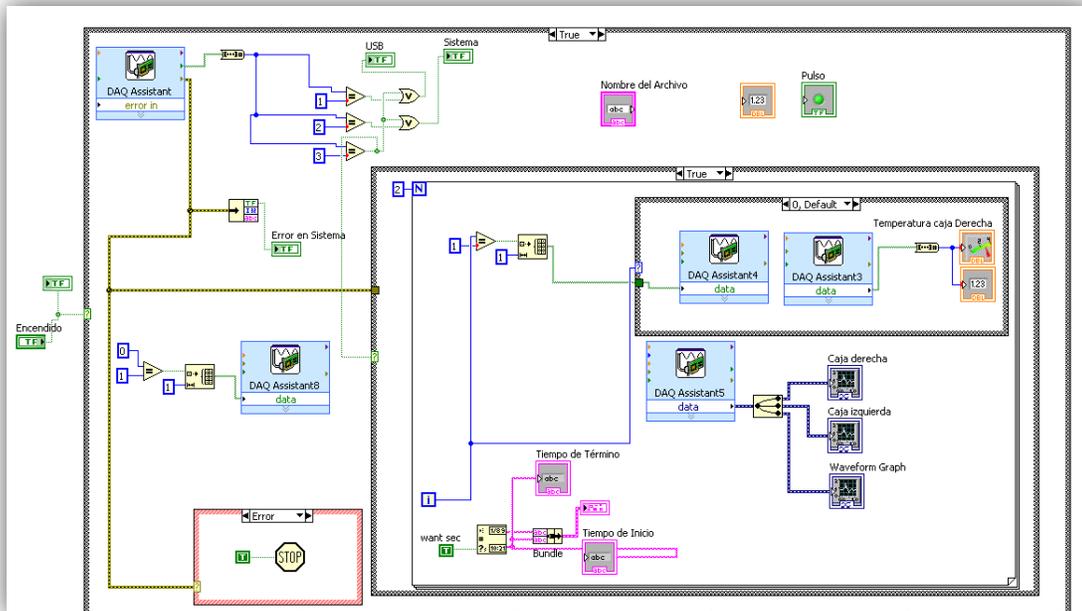


Fig. 3.45. Panel de control del programa de captura

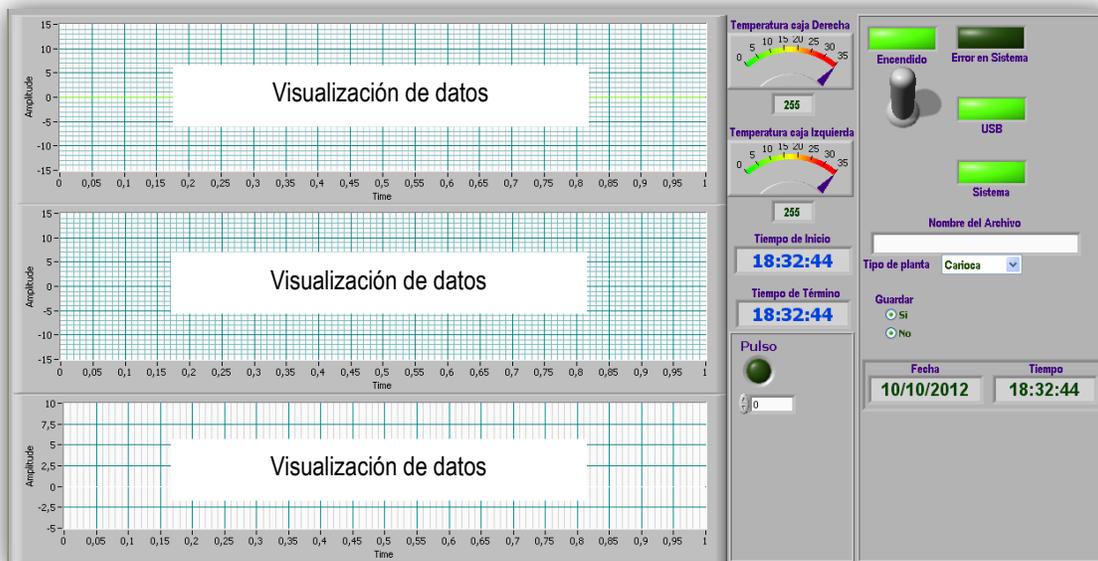


Fig. 3.46. Panel frontal del programa de captura

En la figura 3.47 muestra como el programa controla de un inicio el funcionamiento del programa, este es a través de un control de encendido o apagado del sistema.

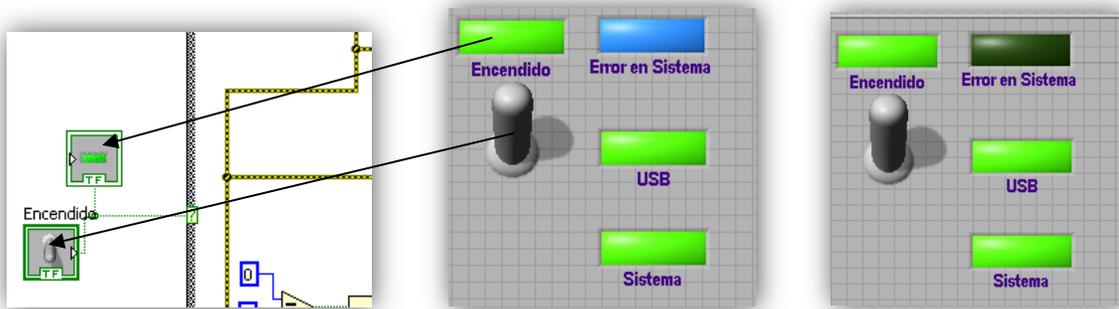


Fig. 3.47. Sistema de Encendido

En el panel de control se encuentran dos controles llamados Led y Button, cuando el Button se habilita hacia arriba este pone en marcha el funcionamiento del panel de control y enciende el led etiquetado como encendido y viceversa se apaga el led.

En caso de no tener encendido el sistema este se encarga de actualizar los datos de tiempo y fecha en el panel frontal, esto nos sirve para tener referencia de los datos que se registraran en los archivos a evaluar (fig. 3.48).

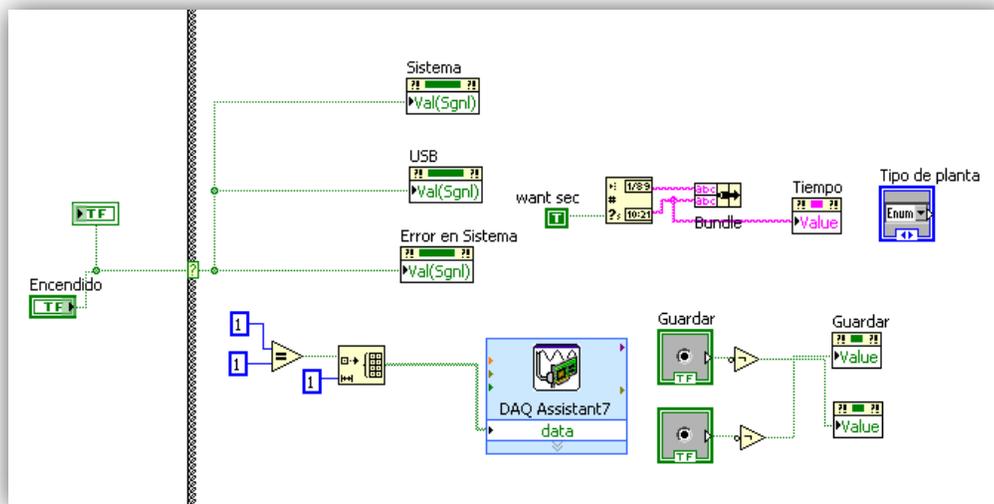


Fig. 3.48. Etapa de monitoreo sin encender desde el panel frontal

Una vez encendido el control, este verificara si el sistema se encuentra en comunicación con la tarjeta de adquisición, encargada de verificar la conectividad con el puerto USB y el Sistema. En caso de haber un error de comunicación se

encenderá en un color azul o de lo contrario en color café oscuro (fig. 3.47). Cuando se enciende el led mostrando un error en el sistema este se verá en mediante un mensaje que enviara al usuario que el sistema no funciona correctamente (fig. 3.49) y detendrá el proceso de comunicación con la tarjeta de datos.

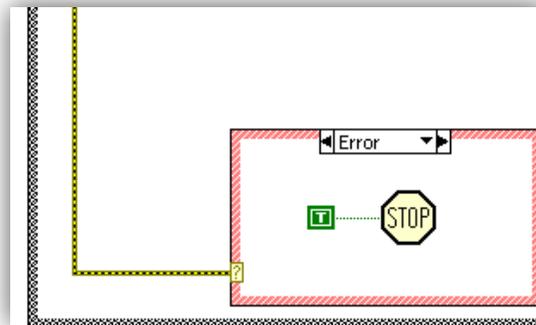


Fig. 3.49. Etapa de paro con error

El sistema de registro cuenta con varias etapas de control de decisiones, en la figura 3.50 se controla la conectividad del puerto USB y la PC, esto se controla con diferentes códigos decimales (base 10), debido a que la tarjeta de adquisición de datos la recibe en forma binaria cada una de las señales de conectividad y las transfiere al programa en forma decimal (dato de 8 bits). El código uno en la pantalla de control se refiere a que el pin que monitorea el puerto USB está recibiendo que se encuentra conectado, el código 2 monitorea que el sistema de la caja de desarrollo se encuentra funcionando correctamente y el código 3 se refiere que el sistema se encuentra en su total funcionamiento para realizar un registro de señales.

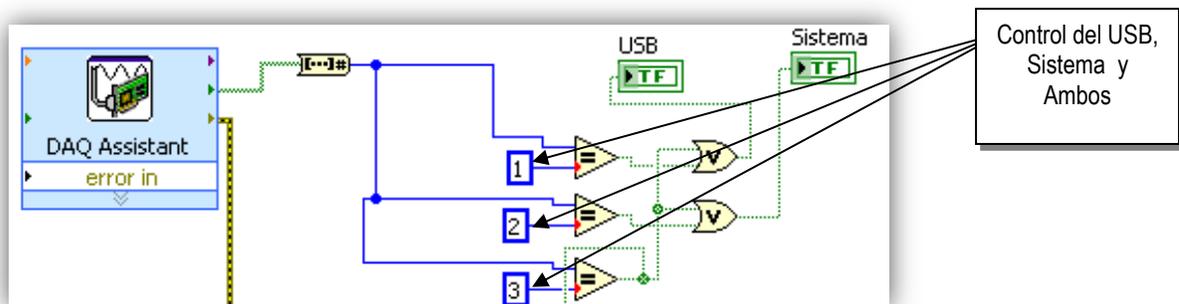


Fig. 3.50. Sensado del sistema y USB

En la figura 3.51, se muestra el proceso de captura de datos en cada parte de la caja de desarrollo. Este cuenta con un ciclo de decisión si este se encuentra en “True” el programa ejecutara los bloque contenidos dentro del proceso; siempre y cuando la tarjeta de datos no comunique un error de comunicación, en caso de ser así se ejecutara la parte “False” del control de decisión. El proceso “True” cuenta primeramente con un ciclo que contara de 0 a 1, debido a que tenemos dos parte donde se pueden realizar registros en la caja de desarrollo posteriormente se enviara el dato de la variable *i* hacia otro control de decisión que se encarga de recibir (*DAC Assistant3*) y enviar (*DAC Assistant4*) a la tarjeta de datos el valor contenido en la variable *i*, este se encarga de realizar en una parte de la caja la captura del sensor de temperatura y visualizarla en dos controles que se observa en forma decimal y en desplazamiento.

El control *DAC Assistan5* se encarga de recibir los datos del sistema instrumentación electrónica, este a su vez visualizara los datos en dos controles que también se encuentran presentes en el panel frontal (fig. 3.46).

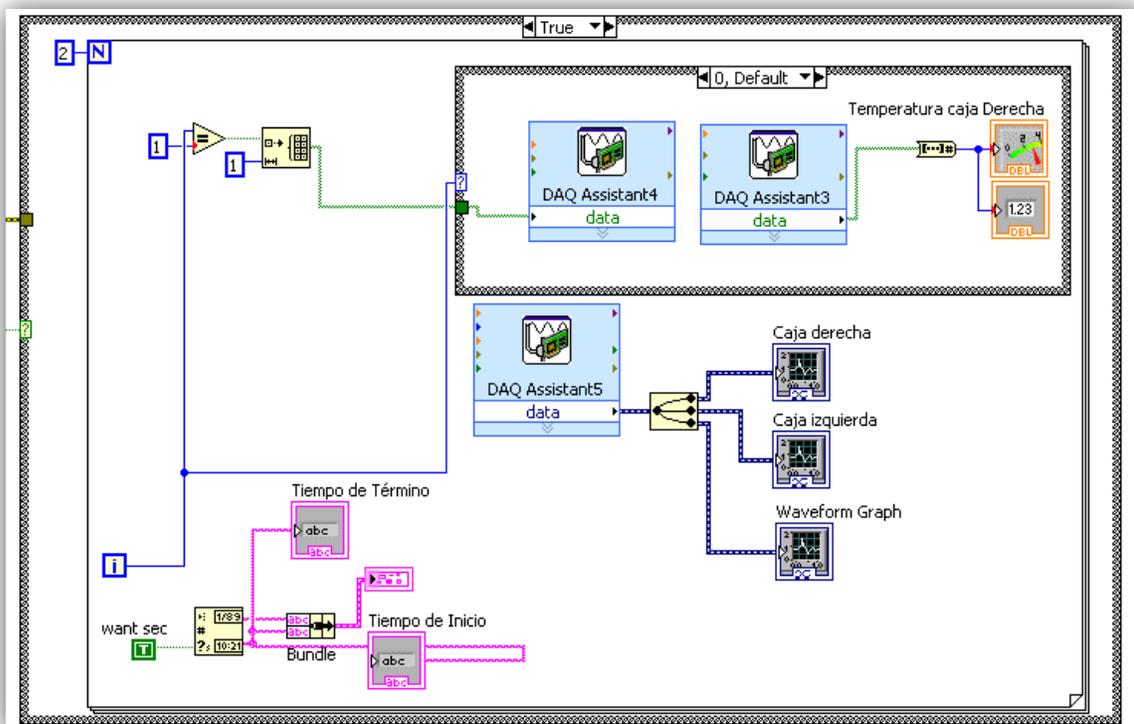


Fig. 3.51. Primera etapa de captura de datos

En la figura 3.52 se muestra los controles tanto en el panel de control como en panel frontal de los datos que pueden registrarse en los archivos que el sistema puede almacenar con cada experimento.

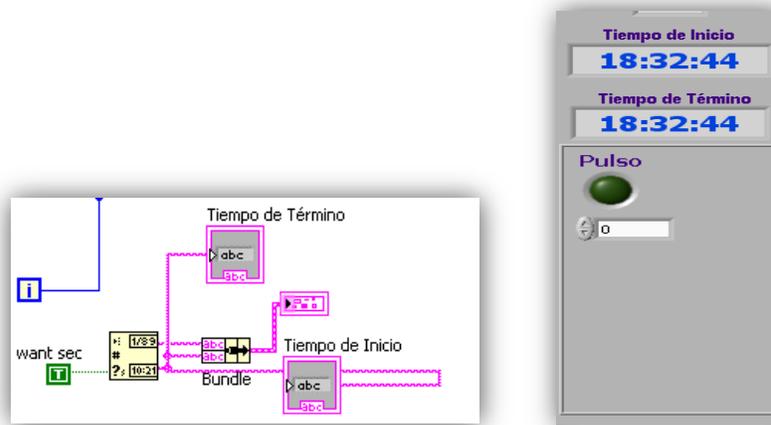
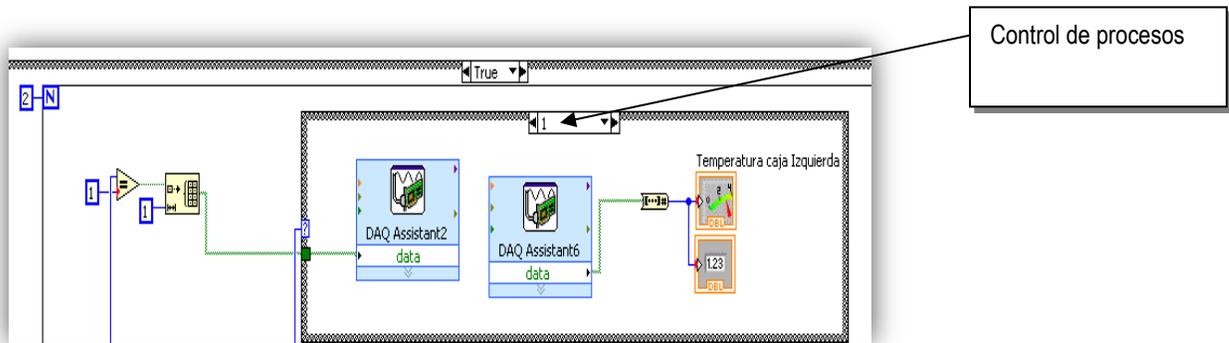


Fig. 3.52. Controles de tiempo de inicio y termino del registro

En la figura 3.53 se muestra el procedimiento de captura de datos y temperatura igual que en la figura 3.51, la diferencia en este es que el control de decisión apunta a que cambia de cero a uno el proceso que deberá de registrar.



3.53. Segunda etapa de captura de datos

En la figura 3.54 muestra que el sistema registrara el nombre del archivo, que enviara los datos a un archivo de Excel para su posterior análisis, muestra también el tipo de planta que le será colocada, si guardara los datos en un archivo o solo serán visualizados en el panel frontal, la fecha de realización del experimento y el momento que se realizó.



The image shows a software registration form with the following fields and options:

- Nombre del Archivo:** Registro1.xls
- Tipo de planta:** Carioca (selected from a dropdown menu with options: Carioca, Pinto Villa, Otro)
- Guardar:** Si (selected), No
- Fecha:** 11/03/2012
- Tiempo:** 9:56:12

Fig. 3.54. Datos del registro

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la figura 4.1 se muestra la señal que reciben los electrodos cuando son insertados al tallo de la planta a estudiar. Esta se debe al estrés que se genera al interior de la planta, la distancia de colocación de estos electrodos es de 5 cm entre uno y otro, con una amplificación de 20 que es realizada por el programa de captura en el panel de control; el electrodo de referencia se coloca en la parte cercana a la tierra de la maceta. Este tipo de información que no proporciona el sistema es debido a un estímulo abiótico (Daño mecánico por inserción de los electrodos).

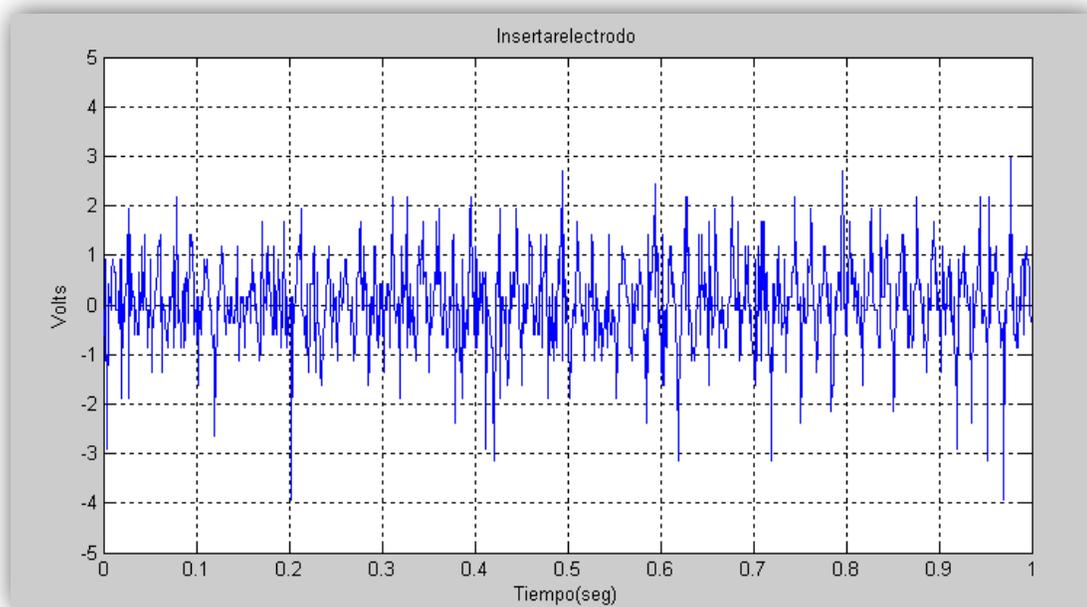


Fig. 4.1. Señal que genera la planta la incidir los electrodos

En la figura. 4.2. Se muestra el registro de una planta sin estímulo alguno en la misma, este se realizó para identificar el ruido que pudiera causar los electrodos después de un tiempo (30 segundos) de haber incidido los electrodos en el tallo (electrodo de referencia) y nervadura central de la planta para el registro de información. Este estudio tiene las mismas condiciones de separación entre electrodos que es de 5 cm entre ellos y amplificación de 20.

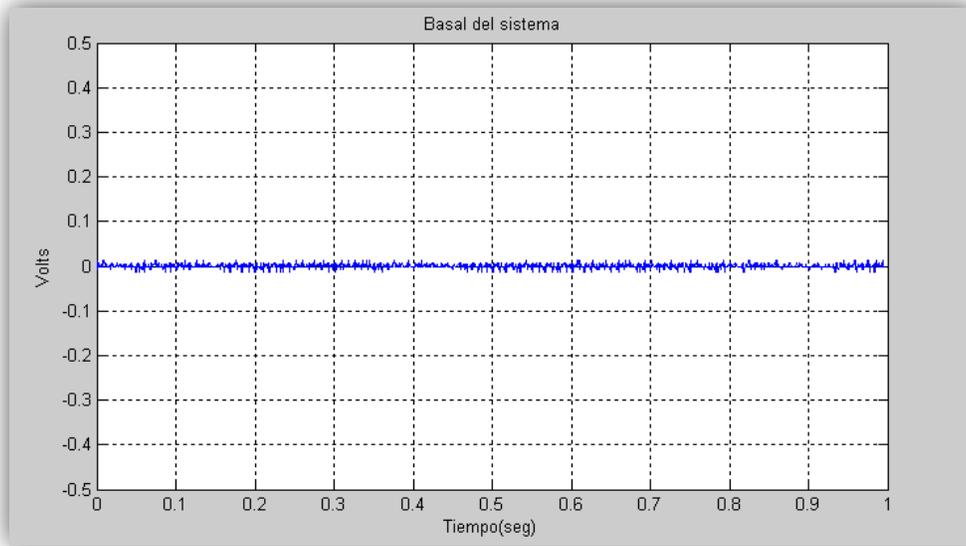


Fig. 4.2. Señal después de la inserción de electrodos

En la figura 4.3 se muestra el registro cuando se realiza el corte total de una hoja en otro extremo de la planta, esta señal se observa con una amplitud entre -1 y 1 volt, esto debido a la amplificación de 5 que el sistema le da al capturar la señal.

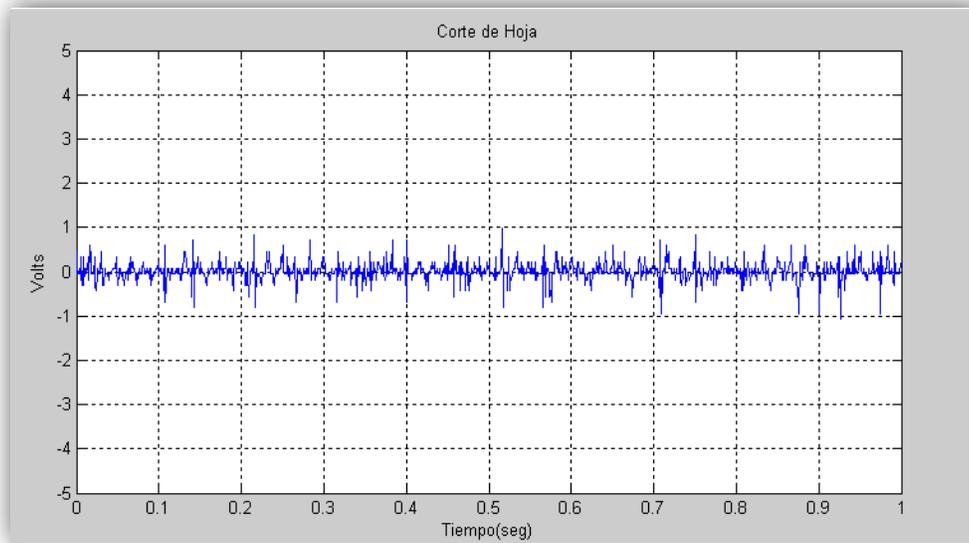


Fig. 4.3. Señal de corte de una hoja

En la figura 4.4 se muestra una señal de registro cuando se corta una hoja en esta figura se observa que tiene una amplificación mayor que en la figura 4.3. Esto se debe a la amplificación de 15 que es variada en el panel de control antes y durante la capturar de las señales.

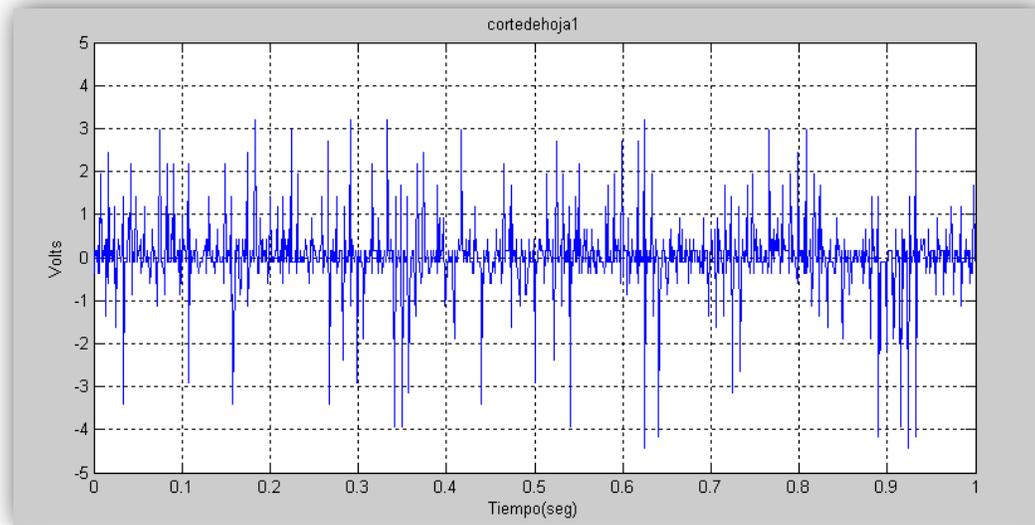


Fig. 4.4. Corte de una hoja con amplificación de 15

En la figura 4.5 se muestra el corte de una hoja pero con una amplificación de 50, en este registro se colocaron los electrodos a una distancia de 8 cm, entre cada uno de ellos.

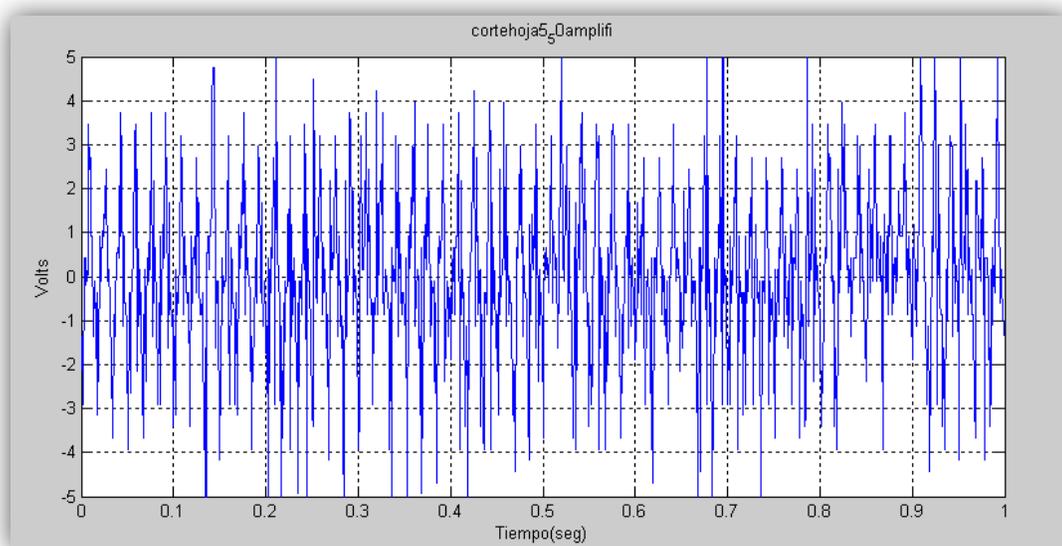


Fig. 4.5. Señal con amplificación y distancia entre electrodos

En la figura 4.6. Se muestra la señal de un estímulo con un electrodo, este se inserta 1mm en una nervadura central de la hoja, cercana a los electrodos de registro (5 cm), la inserción de este electrodo es durante unos milisegundos, se pincha por un instante de tiempo y se quita de manera instantánea. Este registro se realizó con una amplificación de 20.

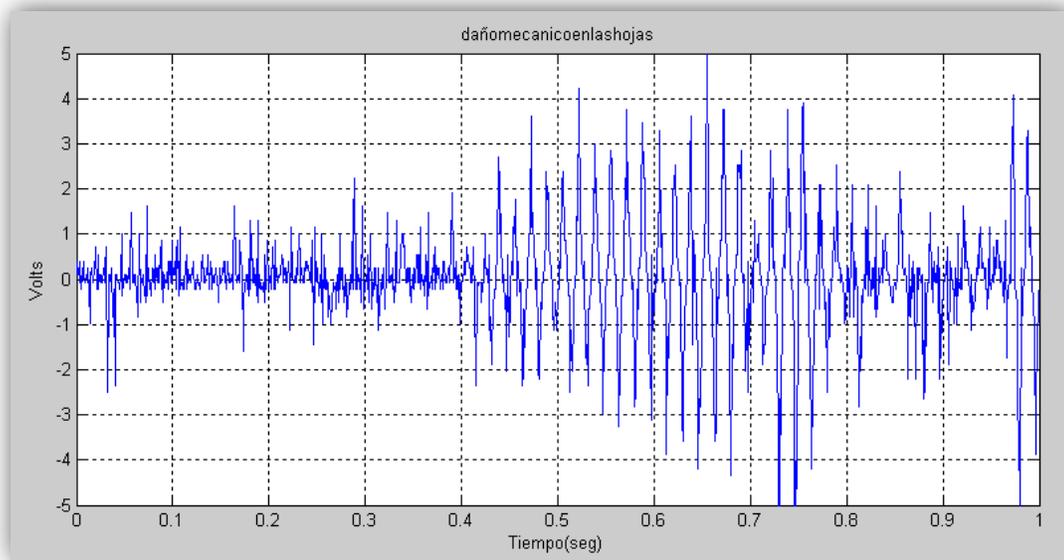


Figura 4.6. Daño mecánico con un electrodo

En la figura 4.7. Se muestra la continuación de la señal con daño mecánico, en ella se observa que mediante va pasando el tiempo llega a disminuir la amplitud de la señal hasta llegar a estabilizar o adecuar la planta a las nuevas condiciones que se establezcan. Este registro es realizado con la colocación de los electrodos a 5 cm de distancia entre ellos y una amplificación de 15.

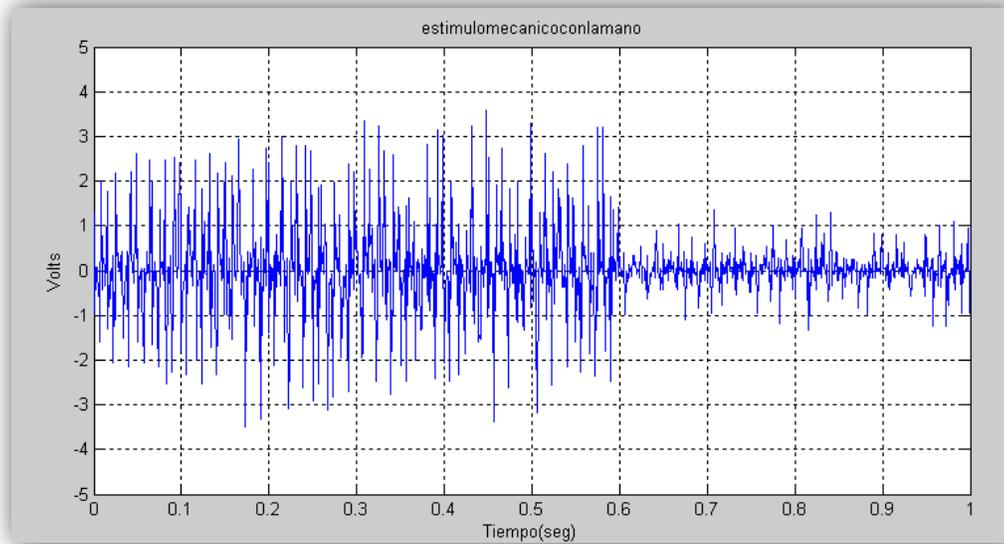


Fig. 4.7. Continuación de la señal de daño mecánico

En la figura 4.8. Se muestra el resultado de la señal cuando se estimula con una señal cuadrada aplicada a una distancia de 3 cm de la colocación de los electrodos, en ella se observa que cuando aparece la señal, esta se transmite a través de la planta pero es una señal que se modifica en magnitud. La señal con la que se estimula es de 10 Hz, 500mV (milivolts), y en el panel de control se ajusta a una amplificación de 25.

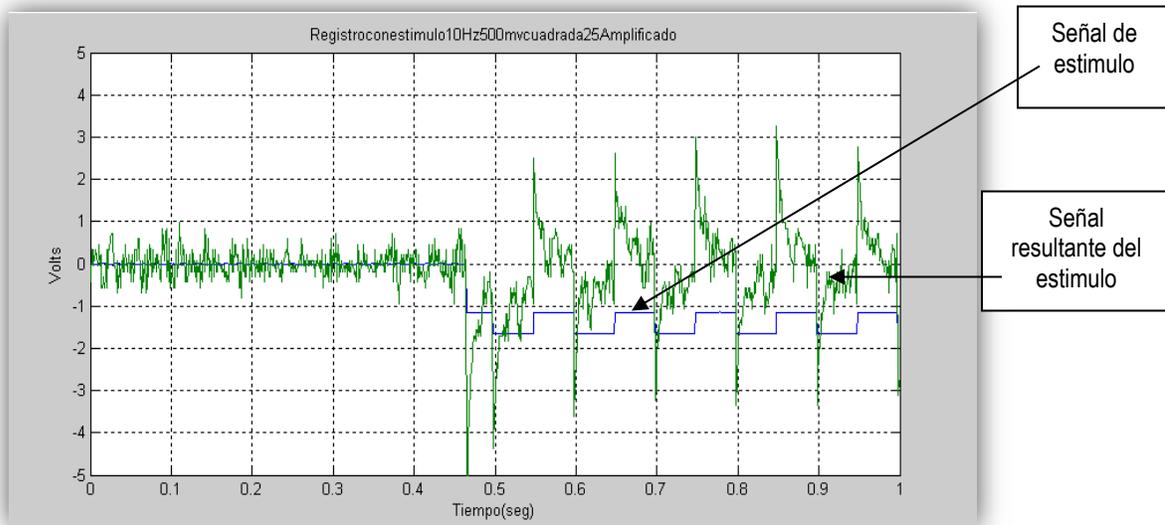


Figura 4.8. Señal con estímulo de señal cuadrada

En la figura 4.9 se muestra la respuesta que presenta la planta al tocar la superficie de una hoja con la yema de un dedo, este registro se desarrolló con la colocación de los electrodos a 5 cm de separación, amplificación de 5 y con solo pasar el dedo por la superficie de una hoja cercana a los electrodos.

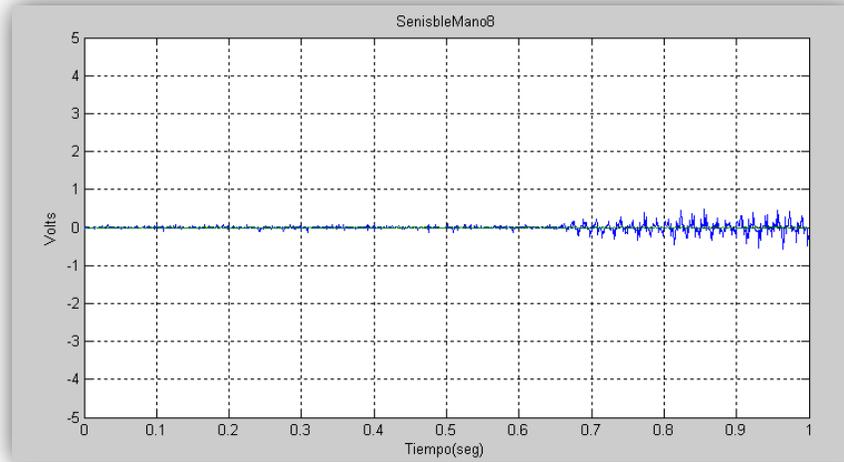


Fig. 4.9. Estimulo en la superficie de la planta

En la figura 4.10 se muestra la señal al provocar presión sobre una hoja cercana a los electrodos de registro, esta es estimulada a través de la parte superior e inferior mediante los dedos de la mano y realizando una pequeña presión a través de la hoja. Los electrodos están colocados a 5 cm de distancia entre ellos y una amplificación de 10.

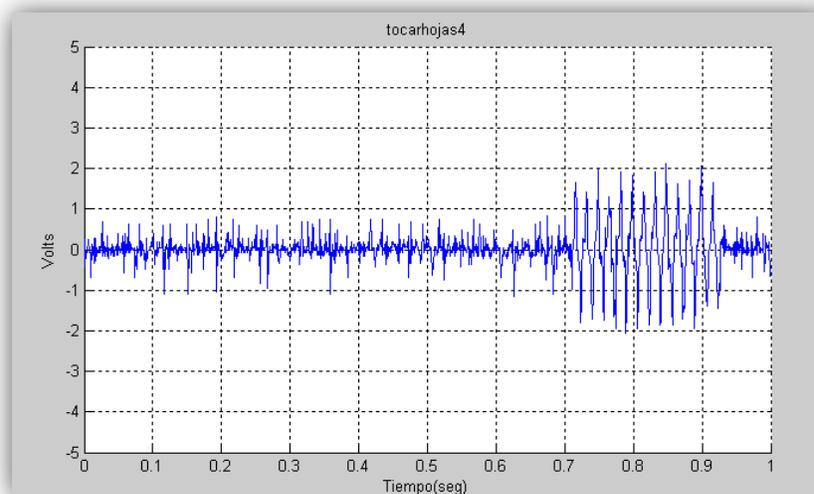


Fig. 4.10. Estimulo con presión en una hoja

En la figura 4.11. Se muestra la estimulación de una planta con una señal de frecuencia a 10 Hz, amplitud de 500 mV, en ella se observa un cambio de forma de la señal de salida al transcurrir el registro, esta no se transmite de igual manera que la señal de entrada. Las condiciones de este registro inicia con la colocación de los electrodos a 5 cm de distancia entre cada uno de ellos, una amplificación de ganancia unitaria.

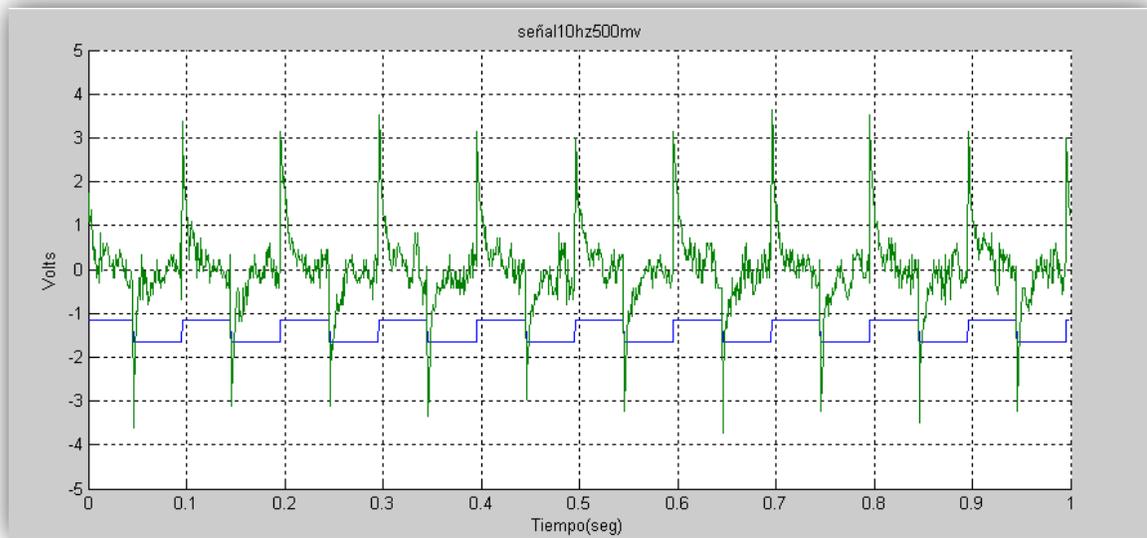


Fig. 4.11. Estímulos con una frecuencia de 10 Hz y 500 mV

En la figura 4.12 se muestra el estímulo de la planta a la misma frecuencia de la señal en la figura 4.11. pero a una amplitud mayor e la señal de entrada, esta es de 1000 mV. Lo que se puede observar en esta imagen es que la señal de salida se empieza a ver mas definida sin señales aleatorias de alta frecuencia. Este registro tiene las mismas condiciones de los electrodos, estos se encuentran con una separación de 5 cm entre ellos y una amplificación unitaria.

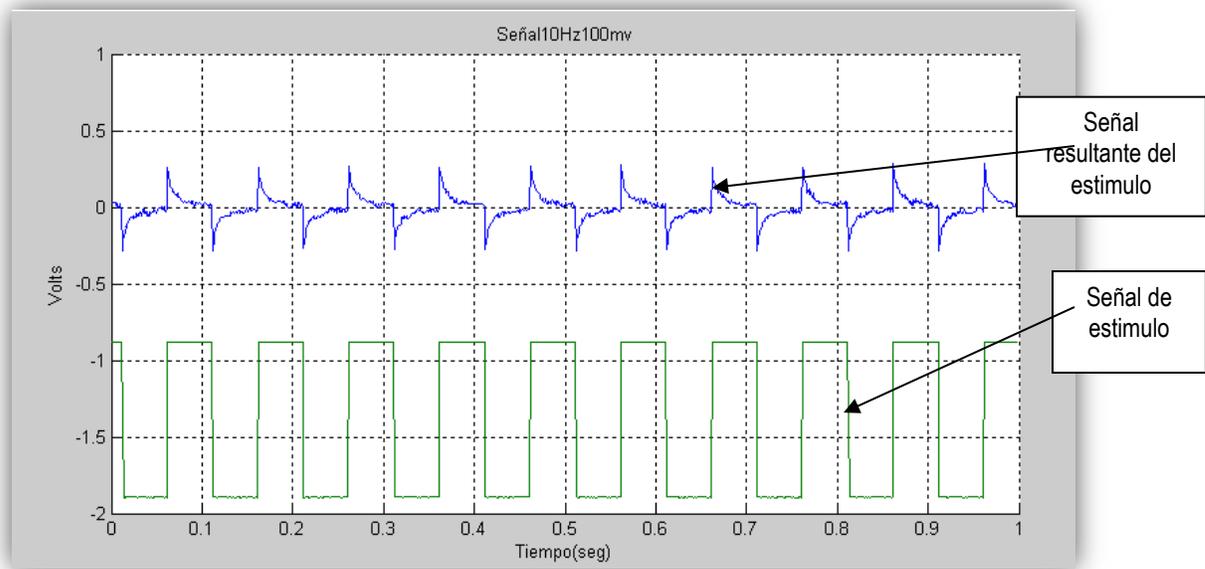


Fig. 4.12. Estímulos con una frecuencia de 10 Hz y 1000 mV

En los siguientes experimentos se utilizó una planta mimosa o sensitiva ver figura 4.13.



Fig. 4.13. Colocación de electrodos

Tabla 4.1. Valores de respuesta a la inserción de electrodos

Tiempo de inicio de respuesta	0,255 s.
Tiempo final de respuesta	0,456 s.
Amplitud máxima	0,4544 V.
Amplitud mínima	-0,554 V.

En la figura 4.14, se muestra la respuesta al estímulo de una fuente de luz blanca, esta tiene una intensidad de 590 luxes, colocando la fuente de luz a 2 cm de distancia de una hoja que está localizada en el mismo tallo donde se colocaron los electrodos, la temperatura durante el experimento se encuentra entre 25-27 °C. La planta tiene una primer respuesta (etiqueta 2) a los 0.768 segundos de haber iniciado el estímulo y termina a 1.192 segundos, la amplitud es de 1.289 volts como máximo y -0.8521 volts como mínimo. El tiempo que tarda en iniciar la segunda respuesta (etiqueta 3) es de 5.264 segundos de iniciado el estímulo y termina a los 5.436 segundos, la amplitud es de 0.53 volts como máximo y -0.42 volts como mínimo. La tercer respuesta (etiqueta 4) inicia a 10.74 segundos y termina a 10.91 segundos, la amplitud es de 0.3644 volts y mínimo -0.2394 volts. Todos los tiempos fueron tomados una vez iniciado el estímulo.

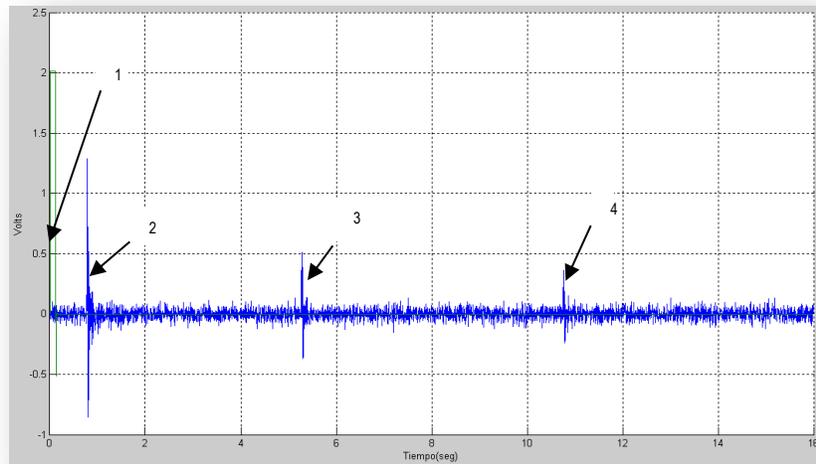


Fig. 4.14. Estimulación con luz blanca, 590 luxes

En la figura 4.15, se muestra la respuesta a los estímulos de una fuente de luz blanca con doble pulso de luz, esta tiene una intensidad de 590 luxes, la fuente de luz se coloca a 3 cm de distancia de una hoja que está localizada en el mismo tallo donde se colocaron los electrodos con una amplificación de 5, la temperatura durante este experimento se encuentra entre 25-27°C. La primer respuesta (etiqueta 1) es a 17.33 segundos de haber iniciado el primer estímulo y termina a 18.9 segundos, la amplitud es de 5.107 volts como máximo y -3.342 volts como mínimo. El tiempo que tarda en iniciar la segunda respuesta (etiqueta 2) es de 25.46 segundos y termina a los 26.2 segundos, La amplitud es de 1.767 volts como máximo y mínimo -1.144 volts. La tercer respuesta (etiqueta 3) inicia a los 43.17 segundos y termina a los 43.46 segundos, la amplitud es de 0.7792 volts y mínimo -0.4768 volts, la cuarta respuesta (etiqueta 4) inicia a los 46.01 segundos y termina a los 46.57 segundos, la amplitud es de 3.415 volts como máximo y -2.187 volts como mínimo, la quinta

respuesta (etiqueta 5) inicia a los 49.08 segundos y termina a los 49.2 segundos, la amplitud es de 0.305volts y como mínimo -0.21 volts.

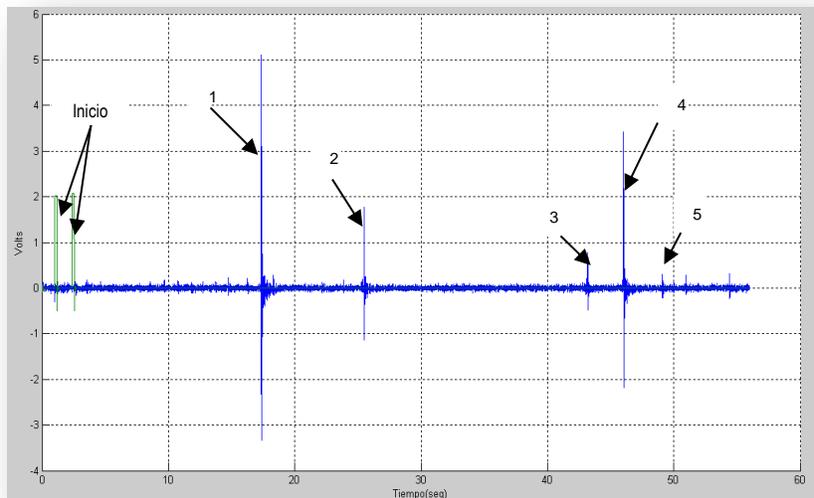


Fig. 4.15. Estímulo con luz blanca implementando 2 pulsos de luz, 590 luxes

V. DISCUSIÓN

En el desarrollo de este trabajo se utilizaron diferentes formas de germinado de las semillas en las cuales se observó que no es recomendable germinar las semillas en los sustratos, estas deben ser primero germinadas y posteriormente colocados en cada sustrato para su crecimiento, también en la germinación se debe observar que las semillas cuentan con su radícula, esta para asegurar que puedan crecer en los sustratos.

Las semillas una vez colocadas en los sustratos necesitan cuidados como el suministro de solución nutritiva, ya que esta si no se encuentra presente en el sustrato las plantas no crecerá y en algunas ocasiones estas no tienen un crecimiento óptimo.

Las plántulas que se utilizan deben tener un cierto tamaño (5 cm. de altura), con esto aseguramos que la planta tiene un tallo más firme y grueso para la incisión de los electrodos.

Los electrodos a usar dependerán del tipo de tallo de cada planta, si se utilizan unos más grandes en diámetro causaran un mayor daño como estímulo, y no podrá identificarse el que es provocado para su estudio.

El acondicionamiento de la señal dependerá de la distancia en que se encuentre cada electrodo con el de referencia, ya que a mayor distancia menor el potencial que se registra en los electrodos.

El uso de algunos puertos para la obtención de datos del sistema dependerá de la evolución de la tecnología, en este momento se considera el USB la tecnología más reciente.

En los resultados se observó que la señal es transmitida a través del sistema vascular de la planta, y este, es el encargado de transmitir la información a todas las partes de la planta, como lo son las hojas, en su mayoría esta señal llega con una menor o mayor amplitud, esto se debe a la provocación del estímulo; a mayor distancia tarda en llegar la señal o llega en menor amplitud donde se colocan los electrodos.

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El crecimiento de las plantas depende de dos etapas, la primera en la germinación de las semillas, en esta, las condiciones en las cuales se someten las plántulas deben ser de manera controlada, el tipo de agua sin muchas sales, en cantidades abundantes de agua llegan a morir sin llegar a tener el crecimiento de la radícula, el contenedor debe tener la manera de que llegue aire para evitar la generación de hongos en las semillas y la cantidad de luz debe ser mínima en comparación de proceso de crecimiento.

En segundo, las sustancias que tienen los sustratos deben ser inertes a las plántulas, ya que en un inicio la plántula recibe sus nutrientes del dicotiledón. Los sustratos deben ser lo suficiente porosos para almacenar agua que la misma plántula le demandara durante su crecimiento.

De los experimentos el 80% del crecimiento depende más de la primera etapa, ya que si no germina una semilla raramente en el sustrato hará este proceso de germinación y morirá.

Las plantas tienen un crecimiento de lento a rápido, esto depende desde su germinación de las semillas y las condiciones en las cuales se someten las plántulas. Mencionando que también depende de los componentes que pueda tener los sustratos, donde se hará el crecimiento de las mismas.

La información eléctrica viaja a través del sistema vascular de la planta, de un punto a otro y la amplitud de la señal eléctrica registrada en el sistema electrónico depende de la distancia entre el estímulo y el electrodo. El sistema electrónico y de registro es una herramienta que ayuda al fisiólogo u operador a desarrollar estudios con diferentes tipos de plantas, y poder almacenar estos datos en un archivo para su posterior análisis.

Las señales eléctricas responden a diferentes tipos de estímulos generados o provocados en algún lugar de la planta por ejemplo: estímulos de luz, fuerza, temperatura, humedad y daño mecánico.

Este prototipo se puede emplear para diferentes tipos de registros durante 24 horas o más.

Al sistema se le puede agregar una cámara, para registrar los estudios que se puedan realizar con patógenos; esto podrá identificar el efecto que causa el patógeno al someter a la planta a un estrés abiótico y la señal que es generada de manera endógena por la misma planta.

REFERENCIAS

- [1] Kimball, J. 1984. "Biología". 4ª Edición, editorial Addison-Wesley Iberoamericana, México D.F. PP. 638-689.
- [2] Villee C., Solomon E., Martin C., Martin D., Berg L., & W. Davis. 1992. "Biología". 2ª Edición, Editorial Interamericana McGraw-Hill, México, D.F. pp. 469-586.
- [3] J. Azcon - Brieto, M. Talon, "Fundamentos de Fisiología Vegetal", 2ª. Edición, Ed. McGraw - Hill – Interamericana de España, 2008, Ch. 1, pp. 1-16.
- [4] Audesirk T., Audesirk G., Byers E. B. "Biología Ciencia y Naturaleza", 1ª Edición, Pearson: Prentice Hall, 2004, pp. 65-87.
- [5] León Ramírez M. J. E., Xoconostle Cázares B., Ruiz Medrano R., "Comunicación intercelular a distancia a través del floema en plantas", Ciencia al día Internacional, número 2, vol. 5, 2004. pp. 1-14.
- [6] Zimmermann U, Meinzer FC, Benkert R, Zhu JJ, Schneider H, Goldstein G, Kuchenbrod E, Haase A (1994) Xylem water transport: is the available evidence consistent with the cohesion theory? *Plant Cell Environ* 17: 1169–1181
- [7] Sperry JS, Ikeda T (1997) Xylem cavitation in roots and stems of Douglas-fir and white fir. *Tree Physiol* 17: 275–280
- [8] Lejeune, P., Bernier, G., Requier, M-C., and Kinet, J-M. (1994) Cytokinins in phloem and xylem saps of *Sinapis alba* during floral induction. *Physiol. Plantarum* 90: 522–528.
- [9] Jens B. Hafke, Jan-Kees van Amerongen, Frits Kelling, Alexandra C.U. Furch, Frank Gaupels and Aart J.E. van Bel. "Thermodynamic Battle for Photosynthate Acquisition between Sieve Tubes and Adjoining Parenchyma in Transport Phloem". *Plant Physiol*, July 2005. Pp. 1527–153.

-
- [10] BENAVIDES, M.A.: “Ecofisiología y química del estrés en plantas”, Departamento de agricultura/ Universidad autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, saltillo Coahuila, 2002.
- [11] EHRLICH, P.R. y A.H. EHRLICH: *Headling the Planet : Strategies for Resolving the Evironmental Crisis*, Mass., Center for Consevation Biology Stanford University-Addison Wesley Pub. Co. Reading, 1991, pp. 366.
- [12] BLUM, A.: *Plan Breeding for Estrés Environments*, Boca Raton Florida, CRP Pres Inc., 1988. p. 223.
- [13] LARCHER, W. “*Physiological Plant Ecology*”, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlang, 1995, p. 506.
- [14] CORNEJO, O.E.: “Factores ambientales que originan el estrés. Ecofisiología y química del estrés en plantas”, Departamento de agricultura/ Universidad autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, saltillo Coahuila, 2002.
- [15] Schroeder, J., Allen, G., Hugouvieux, V., Kwak, J., and Waner, D. (2001). Guard cell signal transduction. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52, 627–658.
- [16] Felle H (2001) pH: signal and messenger in plant cells. *Plant Biol* 3: 577–591.
- [17] Ruiz-Medrano R, Xoconostle-Cazares B, Lucas WJ (1999) Phloem long distance transport of CmNACP-1 mRNA: implications for supracellular regulation in plants. *Development* 126: 4405–4419.
- [18] Guangxuan Han, Guangsheng Zhou, Zhenzhu Xu, Yang Yang, Jingli Liu, Kuiqiao Shi, “Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem”, *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 39, Issue 2, February 2007, Pp. 418–425

- [19] Sanchez, J.-P., and Chua, N.-H. (2001). Arabidopsis PLC1 is required for secondary responses to abscisic acid signals. *Plant Cell* 13, 1143–1154.
- [20] A. C. Giese, “Fisiología celular y general”, 5ª Edición, McGraw- Hill, 1997, Cap. 20, pp. 492-508.
- [21] Castellanos A.P., Godínez F. R., Jimenez C.J., Medina B. V., “Electrofisiología un enfoque para ingenieros”, 1ª edición, México D.F. 1997. pp. 225-263.
- [22] John R. Gribbin, *Historia de la ciencia*, 2ª edición, Critica, 2006, pp. 244-264.
- [23] GUO J., ZHAO B., ZHOU K., “Electrical wave transmission in healthy black pine seedlings”, *Journal of Forestry Research*, 2004, pp. 135-137.
- [24] Matthias R. Z., Heiko M., Axel M. F., Wilhelm B and Hubert H. F., “System Potentials, a Novel Electrical Long-Distance Apoplastic Signal in Plants, Induced by Wounding”, *Plant Physiology*, 2009, Vol. 149, pp. 1593–1600.
- [25] Bruce R. Johnson, Robert A. W., Randy W. and Ronald R, “Action Potentials in a Giant Algal Cell: A Comparative Approach to Mechanisms and Evolution of Excitability”. *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 2002, pp. A23 - A27.
- [26] ABAD, M. “Sustratos, Características y propiedades”. In: *Cultivo sin suelo*. F. Canovas y J. Díaz. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA. 1993. pp. 47-62.
- [27] Ernest Kirkby y Volker Römheld, “Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad”. *Informaciones agronómicas*. 2002.
- [28] Frantisek B., Dieter V. and Diedrik M., Plant synapses: actin-based domains for cell-to-cell communication, *TRENDS in Plant Science*, Vol.10 No.3, 2005.
- [29] HARTMANN, H. y KESTER, “Plant propagation: Principles and practices”. Prentice-Hall. New Jersey. 2002. P. 880.

-
- [30] Arturo Calderón O. – Ingeniero Agrónomo, Sustratos agrícolas, Facultad de Cs. Agronómicas., U. de Chile, 2002.
- [31] Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Plant Physiology (3^a. edición). Sinauer, New York, NY.
- [32] Joseph J. Carr, Brown, “Introduction to biomedical equipment technology”, 2001.
- [33] John G. “Medical instrumentation applications and design”. Webster, 1998, Canada.
- [34] Joseph J. Brown, John M. “Introduction to medical equipment technology”. Editorial. Prentice Hall. 2001.
- [35] Castellanos A. P., Godínez F. R. Jiménez C. J., Medina B. V. Electrofisiología humana un enfoque para ingenieros”, universidad autónoma metropolitana, México, D.F. 1997., pp. 101 – 170.
- [36] Brownlee C., “Microelectrode techniques in plant cells and Microorganisms”, Marine Biological Association of the UK, The Laboratory, cap. 13., pp 347-358.
- [37] Feldman Y., Polygalov E., Ermolina I., Polevaya Y., Tsentsiper B., “Electrode polarization correction in time domain dielectric spectroscopy”, MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY , 2001, 1355–1364.
- [38] Drake M. J. M., “Instrumentación electrónica de comunicaciones”, escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, universidad de Cantabria, 2005.
- [39] López A., Roberto; Reyna C., Marco A.; Bravo Z., Miguel E.; Salazar Q., Ramsés A. “Alternativa para generar bases de datos de pacientes postinfartados: electrocardiógrafo de alta resolución”. e-Gnosis, Vol. Esp. 2009, pp. 1-8 Universidad de Guadalajara México.

- [40] Yapur M., Rodríguez J., Gaibor W., “Monitor de Electrocardiografía a través de una Computadora Personal”, revista tecnológica ESPOL, Vol. 18. No. 1. , 2005, pp. 53 – 59.
- [41] Anthony J. M., Sarah J. C., Susan J., Darren M. W., “The use of microelectrodes to investigate compartmentation and the transport of metabolized inorganic ions in plant”, Journal of Experimental Botany., Vol. 52., 2001., pp 541-549.
- [42] Fang Zheng Peng. “Harmonic Sources and Filtering Approaches”, IEEE Industry Applications Magazine, 2001, pp 18-25.
- [43] Lallana, V. H., Valenzuela, O. R., Lallana, M., Tonelli, B.B., Rothman, M.S. “Valoración física, química y biológica de lombricompostos de residuos de conejeras (217-223). En: sustratos para plantas:a base de productos vegetal en recipientes. Atelene Normann Kampf, Maria Helena Frmino, Editores. Porto Alegre: génesis, 2000. Pp 312.
- [44] Claudia Gallardo., “Sustratos para plantas, tipos y principales características”, Universidad Nacional de Entre Ríos., ISBN 950.698.096.9.
- [45] Adel S. Sedra., C. Smith, “Circuitos microelectronicos”., 4ª edicion., 2000.
- [46] Neuman, M. R. “Biopotential Electrodes.”The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. Ed. Joseph D. Bronzino Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [47] Merletti, Roberto “Electromyography - Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications”. Editado por: Merletti, Roberto; Parker, Philip © 2004, John Wiley & Sons.
- [48] Robert F. Coughlin., Frederick F. Driscoll., “Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales”,. 5ª edición., 1999., pp. 289-323.
- [49] Enrique P., Fernando R., Lucas J. L., “Microcontroladores PIC”, 1ª edición, 2004., pp. 1-10.

- [50] Axelson J. "Serial Port Complete: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485"., 1999.
- [51] Lajara V. J. R., Sebastián P. J., "LabVIEW entorno gráfico de programación", 3ª Edición., Alfaomega, Marcombo., 2009., pp.161-186.
- [52] Lazaro A. M. LabVIEW. "Programación grafica para el control de instrumentación". Editorial Thompson. 2001., pp. 150-210.