

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA



PROGRAMA DE POSGRADO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE TEMPERATURA,
OXÍGENO DISUELTO Y POTENCIAL HIDRÓGENO PARA
SISTEMAS CERRADOS DE CULTIVO ACUÍCOLA**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:

JESÚS RAÚL MARTÍNEZ SANDOVAL

Ensenada, Baja California, México, agosto de 2009.

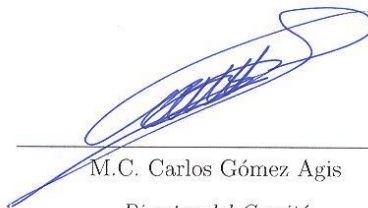
Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería Ensenada

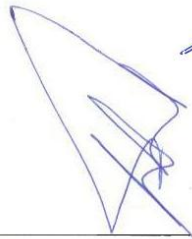
TESIS DEFENDIDA POR

Jesús Raúl Martínez Sandoval

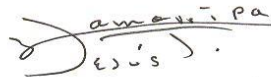
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



M.C. Carlos Gómez Agis
Director del Comité



Dr. José Alberto Fernández Zepeda
Miembro del Comité



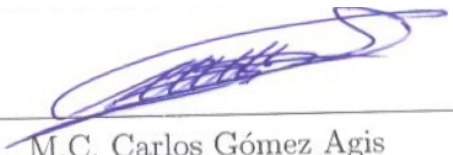
Dr. José de Jesús Zamarripa Topete
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, México. A 5 de agosto de 2009.

RESUMEN de la tesis de **Jesús Raúl Martínez Sandoval**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC . Ensenada, Baja California, México, agosto de 2009.

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE TEMPERATURA,
OXÍGENO DISUELTO Y POTENCIAL HIDRÓGENO PARA
SISTEMAS CERRADOS DE CULTIVO ACUÍCOLA**

Resumen aprobado por:



M.C. Carlos Gómez Agis
Director de Tesis

En este trabajo de tesis, se hace una revisión de conceptos y aspectos relacionados con los sistemas de cultivo acuícola y la importancia de los parámetros físico-químicos que interactúan en éstos. Se describe además, el diseño, construcción e integración de un sistema de instrumentación para el monitoreo de las variables de temperatura, oxígeno disuelto y pH en conjunto con una interfaz gráfica para adquisición, monitoreo y almacenamiento de datos. Cuyo uso final es brindar apoyo en el manejo sistemas de cultivo acuícola, dentro del Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Palabras Clave: Monitoreo en sistemas acuícolas, instrumentación electrónica, sensores acuícolas.

Dedicada

A mi madre María Idalia Sandoval Muy y a mi padre Jesús Raúl Martínez Sánchez, este detalle es para ustedes, como una muestra del buen trabajo que han hecho con mi hermano y conmigo al formarnos de una manera integral como individuos.

A mi hermano Ernesto por estar conmigo para compartir y aprender juntos experiencias de la vida, por tu amistad gracias hermano.

A mis familiares y amigos que de una manera u otra dieron seguimiento a mis avances durante la elaboración de este proyecto, que me animaron a hecharle ganas a seguir adelante con sus palabras y me escucharon en los tiempos difíciles.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a:

Al CONACYT por financiar mis estudios de maestría.

Al Dr. Manuel A. Segovia Quintero por su contribución y respaldo para la elaboración de este proyecto.

Al M.C. Carlos Gómez Agis, por su amistad y respaldo como mi director de tesis.

A mi comité Dr. José Alberto Fernández Zepeda y al Dr. José de Jesús Zamarripa Topete por sus enseñanzas, recomendaciones y consejos durante este proyecto.

Al Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas por su amistad, su tiempo para escuchar mis inquietudes y por su apoyo técnico.

Al Ing. Israel Gómez Liera, por su apoyo en el maquinado de los gabinetes contenedores.

Al Dr. Moises Miranda y al M.C. Ricardo Cuesta por su ayuda en el manejo de Latex.

A mis colegas y compañeros de generación.

A todos los investigadores, estudiantes y personal de la facultad de la Facultad de Ingeniería Ensenada.

A los investigadores, estudiantes y personal del Departamento de Acuicultura de *CI-CESE* .

A todos los que de alguna u otra manera me apoyaron y creyeron en mí a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Contenido

	Página
Resumen en español	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Contenido	iv
Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Propuesta	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Importancia del estudio	6
1.6. Alcance del proyecto	7
1.6.1. Limitaciones técnicas	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1. Introducción	9
2.1.1. Historia	10
2.2. La acuicultura y sus sistemas	14
2.2.1. Sistemas de cultivo	15
2.3. Variables de importancia	19
2.3.1. Temperatura	20
2.3.2. Oxígeno disuelto	21
2.3.3. Potencial hidrógeno	21
2.4. Técnicas y sistemas de monitoreo	22
2.4.1. Termómetros	23
2.4.2. Oxímetros	23
2.4.3. pHmetros	24
2.4.4. Sistemas de monitoreo	25
2.5. Sumario	28

Contenido (continuación)

	Página
3. DESARROLLO	29
3.1. Propuesta de diseño	29
3.2. Descripción de sensores y componentes	30
3.2.1. Sensor de temperatura	31
3.2.2. Sensor de oxígeno disuelto	33
3.2.3. Sensor de potencial hidrógeno	35
3.2.4. Tarjeta de adquisición de datos	38
3.2.5. Computadora personal	39
3.3. Etapa de acondicionamiento de señal	40
3.3.1. Acondicionamiento de señal de temperatura	40
3.3.2. Acondicionamiento de señal de oxígeno disuelto	41
3.3.3. Acondicionamiento de señal de potencial hidrógeno	42
3.3.4. Algoritmos de ajuste	44
3.3.4.1. Curva de ajuste de temperatura	45
3.3.4.2. Curva de ajuste de oxígeno disuelto	46
3.3.4.3. Curva de ajuste de potencial hidrógeno	50
3.4. Interfaz gráfica	53
3.4.1. Interfaz y configuración en <i>LABview 7.0</i>	54
3.4.2. Interfaz gráfica de usuario	55
3.5. Primer prototipo de medición	57
3.6. Diseño de tarjeta de circuito impreso	59
3.7. Integración de módulos analógicos	60
3.7.1. Integración del sistema	60
3.8. Pruebas	63
3.8.1. Medición de niveles de voltaje de T , OD y pH	63
3.8.2. Prueba de pH en laboratorio, con cambios abruptos	65
3.8.3. Medición de niveles en campo de los sensores a la PC	67
3.8.4. Mediciones del gabinete (<i>SIA</i>) hacia a la PC.	67
3.8.5. Mediciones de períodos mayores a 5 horas	70
3.9. Medidas de seguridad	72
4. RESULTADOS	74
4.1. Medición y monitoreo de temperatura	74
4.2. Medición y monitoreo de oxígeno disuelto	78
4.3. Medición y monitoreo de potencial hidrógeno	81
5. CONCLUSIONES	87
5.1. Conclusiones generales	87

Contenido (continuación)

	Página
5.2. Trabajos futuros	88
REFERENCIAS	90
A. ANEXOS	92
A.1. Construcción	92
A.1.1. Circuito impreso	92
A.2. Programas en <i>LABview 7.0</i>	100

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Oxímetro YSI 55 [Foto tomada por el autor] [1].	24
2	Tablas y soluciones colorométricas para medir el pH [Foto tomada por el autor].	25
3	pHmetro digital HANNA [Foto tomada por el autor][2].	25
4	Medidor multiparámetros YSI 556 [1].	27
5	Sistema de monitoreo multiparámetro YSI 5200 [1].	28
6	Sistema de monitoreo oxígeno disuelto YSI 5400 [1].	28
7	Diagrama a bloques de la propuesta de diseño.	30
8	Imagen del sensor de T , <i>Model 108 Temperature Probe</i> [3].	31
9	Curva característica ideal del termistor [3].	32
10	Configuración electrónica interna de sensor de T [3].	33
11	Sensor de oxígeno disuelto, modelo <i>DO6200-T</i> [4].	34
12	Celda galvánica [5].	35
13	Imagen del sensor de pH , <i>modelo 35801-08</i> [foto tomada por el autor] [6].	36
14	Configuración interna de un sensor de combinación para medir pH [7].	38
15	Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para temperatura.	41
16	Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para oxígeno disuelto.	42
17	Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para pH	43
18	Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para el sistema final.	44
19	Algoritmo para obtener los coeficientes de ajuste para temperatura. . .	45
20	<i>Curva de datos medidos en laboratorio de temperatura.</i>	46
21	<i>Curva de ajuste lineal para temperatura.</i>	47

Lista de Figuras (continuación)

Figura		Página
22	Algoritmo para el cálculo del nivel de saturación del oxígeno en el agua.	47
23	Algoritmo para el cálculo de la curva de ajuste oxígeno.	48
24	<i>Niveles calculados de saturación máxima de oxígeno a $T=28^{\circ}C$ y $T=32^{\circ}C$.</i>	49
25	<i>Curva de datos medidos para calibración de oxígeno disuelto.</i>	50
26	<i>Curva de ajuste lineal para oxígeno disuelto.</i>	51
27	Algoritmo para el cálculo de la curva de ajuste de potencial hidrógeno.	51
28	<i>Curva de datos medidos de potencial hidrógeno.</i>	53
29	<i>Curva de ajuste para potencial hidrógeno.</i>	54
30	Algoritmo utilizado para elaborar el programa de interfaz gráfica de usuario.	56
31	Pantalla de interfaz gráfica de usuario diseñada en LABview.	57
32	Alarma de interfaz gráfica de usuario, diseñada en LABview.	57
33	Sistema a un lado del tanque a monitorear, en protoboard.	58
34	Pantalla de interfaz gráfica, primera versión para pruebas.	58
35	Sistema de instrumentación analógica en tablilla de circuito impreso. .	59
36	Fuente de voltaje <i>HTAA-16W-AG</i> ($+5V, \pm 12V$) montada en el Gabinete <i>SIA</i>	61
37	Gabinete de adquisición de datos con sus conectores hembra.	61
38	Gabinete <i>SIA</i>	62
39	Gabinete <i>SIA</i> con los sensores y cable de salida conectados.	62
40	Sistema en plantilla de pruebas conectado a la interfaz TB-8.	64
41	Sistema de pruebas conectado a la interfaz TB-8 con un cable blindado de 30m.	64
42	Prueba en laboratorio de <i>pH</i> con modificación abrupta de <i>pH</i> , de ácido a básico.	66

Lista de Figuras (continuación)

Figura		Página
43	Toma de hidróxido de sodio para hacer básica la solución.	66
44	Se añade 1 ml de ácido clorhídrico para hacer ácida la solución.	67
45	Sistema prototipo conectado a la interfaz TB-8.	68
46	Conexión del cable de salida hacia el gabinete (<i>SIA</i>).	69
47	Gabinete TB-8 conectado a la PC.	69
48	Medición de pH en el tanque con el pHmetro digital HANNA.	71
49	Sistema conectado e instalado, en la plataforma de investigación.	71
50	Sistema funcionando en la plataforma de investigación.	72
51	Tierra física instalada cerca de la plataforma de investigación.	73
52	Monitoreo de temperatura durante 4 horas.	75
53	Monitoreo de temperatura durante 12 horas.	76
54	Monitoreo de temperatura durante 24 horas.	77
55	Monitoreo de temperatura durante 48 horas.	77
56	Monitoreo de oxígeno disuelto durante 4 horas.	79
57	Monitoreo de oxígeno disuelto durante 12 horas.	80
58	Monitoreo de toxígeno disuelto durante 24 horas	80
59	Monitoreo de oxígeno disuelto durante 48 horas.	81
60	Monitoreo de pH en laboratorio durante 5 horas, en condiciones contro- ladas.	82
61	Monitoreo de pH durante 24 horas, en campo, con interferencia.	83
62	Monitoreo de pH durante 48 horas, en campo, con interferencia.	83
63	Diagrama esquemático completo, se incluye la nueva configuración para el pH	84
64	Monitoreo de pH durante 4 horas, en campo, con la configuración mejorada.	85

Lista de Figuras (continuación)

Figura		Página
65	Monitoreo de pH durante 12 horas, en campo, con la configuración mejorada.	85
66	Monitoreo de pH durante 48 horas, en campo, con la configuración mejorada.	86
67	Capa superior del circuito impreso.	100
68	Capa inferior del circuito impreso.	100
69	Configuración de la tarjeta de adquisición.	101
70	Procesamiento y almacenamiento de los datos.	101
71	Comparación de los niveles permitidos.	102
72	Configuración de alarma.	102
73	Bloque de <i>MATLAB script</i> , para incluir código de <i>MATLAB</i>	103

Lista de Tablas

Tabla		Página
1	Intervalos de temperatura (T) utilizados en acuicultura.	20
2	Especificaciones del sensor de T [3].	32
3	Configuración electrónica de las terminales del sensor de T [3].	33
4	Conexiones de las terminales del sensor $DO6200-T$ [4].	35
5	Especificaciones del sensor $DO6200-T$ [4].	36
6	Configuración electrónica de las terminales del sensor de pH [7].	37
7	Relación de voltaje, en millivolts, con respecto a las variaciones de pH [7].	37
8	Especificaciones de la tarjeta $ADAC/5501MF$ [8].	39
9	Características de la PC [9].	39

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La electrónica como ciencia aplicada ha tenido un gran avance en los últimos años. En conjunto con las ciencias computacionales, se han logrado realizar procesos de captura, registro y ordenamiento de la información, de manera que ésta se presente al usuario de forma clara y concisa. Con esto se ha logrado contar con sistemas más rápidos y eficientes, que contribuyen a mejorar el desempeño de algún proceso o simplemente brindar información para la toma de decisiones. Todo lo anterior, hace pensar en la gran gama de aplicaciones en la que ésta se puede utilizar.

La instrumentación es un área de la electrónica en constante desarrollo y con un amplio campo de aplicación, tan sólo por mencionar algunos de éstos están la medicina, las comunicaciones, la industria en general, entre muchos otros.

El trabajo que se presenta en este documento nace como una necesidad de integración y desarrollo tecnológico del Departamento de Acuicultura del *Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE)*, con el fin de contribuir y apoyar en el manejo de sistemas intensivos de cultivo en sistemas cerrados, que ahí se utilizan.

Los sistemas de cultivo intensivo en sistemas cerrados o de recirculación, son sistemas que se utilizan, comúnmente, para el cultivo de organismos acuáticos. Tales sistemas, en general, requieren más componentes tecnológicos, en comparación a, los otros sistemas utilizados, semi-cerrados y abiertos, clasificación de acuerdo a la tecnología del cultivo [10]. Lo cual, los hace sistemas más complejos y costosos.

En una granja de sistema cerrado, los diferentes componentes técnicos incluidos en el sistema se pueden agrupar en los siguientes elementos: unidades de producción; transporte y tratamiento de agua; equipo adicional (alimentadores, manejo, equipo de monitoreo y control)[10].

Los sistemas de monitoreo son esenciales en las granjas, especialmente en las que dependen de un sistema de bombeo, como es el caso de la plataforma de investigación acuícola del *Departamento de Acuicultura de CICESE*. Se ha incrementado el uso de los equipos de instrumentación en el monitoreo y control de la calidad del agua, para asegurar el óptimo desempeño de la producción. Por otra parte, el monitoreo y control de los factores abióticos de la calidad del agua, desempeña un papel crítico para la supervivencia y crecimiento de la especie en cultivo, considerando que, el cuerpo de agua es el medio donde se desarrolla el organismo. El agua debe contar con un estándar de calidad en lo que corresponde a los factores biológicos, físicos y químicos como son la especie en cultivo, bacterias, plantas, entre otras; *oxígeno disuelto (OD)*, *temperatura (T)*; *potencial hidrógeno (pH)*, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos, respectivamente. Estos factores interactúan entre sí en los estanques del cultivo. En conjunto deben proporcionar un medio saludable para el buen desarrollo del los organismos, cabe men-

cionar, que cada especie requiere de un estándar diferente de calidad del agua, para su desarrollo estimado.

Este trabajo apoya en el manejo de estos sistemas de cultivo, mediante el desarrollo y la integración de un sistema electrónico que monitoree de forma continua los factores abióticos de oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y potencial Hidrógeno (pH) de la calidad del agua, de los estanques de cultivo de, organismos acuáticos, en un sistema cerrado de cultivo intensivo.

En la actualidad la acuicultura se practica de alguna forma en todos los países del mundo, con excepción, posiblemente, del continente Antártico. Existen algunas razones por lo que se considera a la acuicultura como una industria en constante crecimiento en muchos países. La mayoría son el resultado directo o indirecto de estos cinco factores:

1. El incremento de la población mundial.
2. La escasez de alimento, especialmente de proteína barata de alta calidad.
3. La producción pesquera está alcanzando su máximo rendimiento posible.
4. El bajo crecimiento de la producción agrícola en muchas regiones del mundo.
5. El aumento en la demanda de artículos que ofrezcan un mejor nivel de vida.

El crecimiento en esta industria ha sido posible gracias al desarrollo en la ingeniería acuícola que ha reducido el consumo de agua dulce con el desarrollo de sistemas de recirculación. Otro factor importante ha sido el desarrollo de cercos en mar abierto, que hasta hace algunos años no eran viables para la acuicultura con buenos resultados

[10].

La ingeniería acuícola abarca un área muy grande del conocimiento e involucra algunas especialidades de la ingeniería en general como la mecánica, ambiental, tecnología de materiales, instrumentación, monitoreo y construcción [10]. Su aportación en el desarrollo de componentes útiles para el manejo adecuado de las granjas de organismos acuáticos, como los medidores de tamaño de peces, para el cálculo de su biomasa, los sensores remotos por hidroacústica o cámaras sumergidas, sistemas de monitoreo, equipo de alertas por mencionar algunos, contribuyen al buen desempeño de la actividad acuícola.

1.2. Planteamiento del problema

En los sistemas cerrados de cultivo intensivo de organismos acuáticos, el monitoreo de los factores abióticos como el oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y el potencial hidrógeno (pH) entre otras, es determinante para mantener un estándar de calidad del agua, de acuerdo a la especie en cultivo.

Los procesos de cultivo acuícola son vulnerables a diferentes tipos de problemas como negligencia del personal, fallas técnicas, entre otros. Algunos de éstos deben resolverse de forma oportuna y eficaz, por la seguridad del cultivo. En muchos casos, el no atender estos problemas ocasiona estrés en los organismos o inclusive hasta la muerte. Por ello el monitoreo de la calidad del agua y otras variables importantes, así como, el correcto funcionamiento del equipo utilizado en cada cultivo, requieren atención las veinticuatro horas del día por parte de los encargados, ya que una sola falla, podría provocar la

perdida del cultivo en su totalidad.

La medición diaria de los factores abióticos o parámetros fisicoquímicos es un trabajo tedioso que requiere de personal técnico especializado, además, cabe mencionar que es un proceso rutinario en el cual se pueden presentar errores durante el registro y almacenamiento de los datos. Aunado a lo anterior, un manejo deficiente del equipo al momento de tomar las lecturas en el cultivo, puede originar una mala interpretación de los parámetros y como consecuencia daños al mismo. El no realizar las acciones correctivas oportunas en problemas relacionados con la calidad del agua (T , OD y pH) puede provocar enfermedades o estrés en los organismos, lo cual retrasa su desarrollo y en algunos casos les ocasiona la muerte.

Tales sistemas de monitoreo son indispensables en granjas de cultivo a gran escala, debido a que estos sistemas de cultivo intensivo en sistema cerrado deben contar con atención las veinticuatro horas por parte de los encargados. Aunque es un sistema necesario, es difícil contar con ellos en granjas para cultivos pequeños o granjas dedicadas a la investigación que cuentan con presupuestos limitados, como es el caso del Departamento de Acuicultura del *CICESE*, debido a que son costosos y complejos.

1.3. Propuesta

La implementación de un sistema electrónico de monitoreo de parámetros (T , OD y pH) en los estanques de cultivo acuícola, mediante la adquisición de datos por sensores, permitirán por medio de una interfaz gráfica de usuario desplegar los datos adquiridos y según las mediciones del sistema, responder con alertas, en caso de ser necesario.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e integrar, un sistema electrónico de monitoreo de la calidad del agua, para sistemas de investigación de cultivos intensivos de organismos acuáticos en sistemas cerrados.

1.4.2. Objetivos específicos

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- *Diseñar, integrar y configurar, el sistema de instrumentación de sensores de oxígeno disuelto (OD), temperatura (T), potencial hidrogeno (pH), para un tanque de cultivo.*
- *Diseñar, configurar y programar, la interfaz gráfica y de alarma para la estación central de monitoreo.*

1.5. Importancia del estudio

El presente trabajo contribuirá en el manejo para el cultivo organismos acuáticos en sistemas cerrados. Con éste sistema se brindará apoyó en el desarrollo de futuras investigaciones, dentro del Departamento de Acuicultura del *CICESE*. El sistema, cuenta

con un monitor, donde se pueden observar los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno. Además simultáneamente se está llevando a cabo un almacenamiento de los mismos. También se comparan los datos que se están registrando con niveles permitidos, esto para encender un indicador y emitir un sonido de alarma para el encargado de la plataforma, si éstos se encuentran fuera de los intervalos adecuados.

Todo lo anterior, es importante para llevar un registro de las mediciones durante los cultivos y, poder, realizar análisis posteriores a los datos. Así mismo, tener un indicador y un sistema de alarma, es un apoyo considerable, ya que los instrumentos manuales, requieren de estar presentes para llevar a cabo la lectura y, al anotar la lectura en la bitácora, los encargados asumen que los parámetros se mantienen en niveles adecuados, lo cual, no siempre se cumple. Es por esto, que el contar con un sistema de este tipo, se tiene una herramienta más de apoyo para mantener los organismos acuáticos durante los proyectos de investigación acuícola.

1.6. Alcance del proyecto

Ésta tesis como parte de un proyecto más amplio, dentro del Departamento de Acuicultura del *CICESE*, contribuirá con un sistema electrónico de monitoreo que, brindará apoyo en el manejo de los sistemas cerrados en el cultivo intensivo de organismos acuáticos.

El presente trabajo está planteado como un sistema electrónico capaz de monitorear los factores abióticos (T , OD y pH) en los estanques de cultivo. En donde, posterior-

mente, si tiene un buen desempeño podría llegar a utilizarse en toda la plataforma de investigación.

El presente trabajo pone la pauta para investigaciones y desarrollos tecnológicos posteriores a manera de complementar o mejorar el sistema, para un mejor desempeño de éste.

1.6.1. Limitaciones técnicas

Las limitaciones técnicas para el presente trabajo son las siguientes:

- *Las variables a medir están restringidas a los intervalos que se indican a continuación:*
 - *Temperatura de 18 a 40 °C.*
 - *Oxígeno disuelto de 0 a 14 mg/l.*
 - *Potencial Hidrógeno de 6 a 9 pH.*
- *La distancia entre la plataforma de investigación y el laboratorio, aproximadamente de 25 m.*
- *La tarjeta de adquisición de datos, es una tarjeta de adquisición de bajo costo PCI. Modelo ADAC/5501MF.*

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Introducción

La acuicultura como cualquier actividad humana que explota o maneja recursos naturales para la producción de alimentos, es una fuente de impacto al ambiente, pero al mismo tiempo es una fuente de alimentos, de empleo y de ingresos.

Esta actividad ha crecido de manera importante en las últimas dos décadas, aportando volúmenes considerables a la producción pesquera mundial y así mismo ha influido de manera importante en la organización de la trama social y en la economía de ciertas regiones del mundo [11].

En México, según la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (*CONAPESCA*), en esta área el crecimiento fue del 26.5% durante el 2006 [12]. México se considera como uno de los países con mayores recursos pesqueros y de variedades marinas, tanto en cultura pesquera como en acuicultura a nivel mundial, así como, por la extensión de sus litorales y por su excelente ubicación geográfica.

El crecimiento de la industria acuícola ha sido el resultado de los avances en el desarrollo tecnológico y de conocimiento en esta área. Algunos de los factores que han hecho

posible el crecimiento de la ingeniería acuícola son por ejemplo, el perfeccionamiento en tecnologías que permite reducir el consumo de agua dulce y el desarrollo de sistemas de reuso; otro ejemplo es el progreso en los cercos en mar adentro, lugar que hasta hace algunos años atrás no era viable para propósitos en acuicultura. Sin embargo, siempre habrá necesidad de tecnología para el desarrollo y optimización de cada especie [10].

Por todo lo anterior, es pertinente exponer algunos conceptos de la acuicultura, la tecnología que se utiliza (de acuerdo al nivel de sofisticación de la granja), y particularmente de los sistemas cerrados, así como, del monitoreo, un aspecto importante en estos sistemas.

2.1.1. Historia

La *acuicultura* como actividad se atribuye a los egipcios, que posiblemente criaron tilapia, aunque está en duda quiénes iniciaron con esta actividad (ya que los chinos cultivan la carpa). Por otro lado, el cultivo de ostión y otros esfuerzos en acuicultura han sido registrados por autores griegos y romanos [13] [14].

Desafortunadamente la acuicultura no ha progresado con la misma rapidez que la agricultura. La aplicación de la ciencia e ingeniería en la acuicultura se ha retrasado por varias razones ya que el hombre se entiende más fácilmente con plantas y animales terrestres, debido a que es un ser vivo terrestre [13].

El estudio y práctica, de la acuicultura ha tenido un auge en las últimas tres décadas,

con un incremento considerable a nivel internacional. Este ha sido un fenómeno mundial, extendido a través de los continentes excepto la Antártica [14].

En África se está siguiendo el mismo patrón que en el resto del mundo, pues el mayor crecimiento se presentó en la década de 1990 a 2000 (cerca al 300 %), aunque tal desarrollo estuvo sustentado sólo en los peces de agua dulce, especialmente los cíclidos. La acuicultura en África se practica en diferentes ambientes y modalidades. Predominan con 97% los sistemas extensivos y semi-intensivos en estanques de tierra con área de 100 a 11000 m^2 . La alimentación de los organismos consiste en desechos domésticos, desechos de plantas y compostas. Los crustáceos, moluscos y plantas acuáticas, históricamente se han permanecido con volúmenes de producción muy bajos, ya que en este continente la acuicultura es de baja tecnología, principalmente dirigida al autoconsumo con el fin de complementar la dieta de la población rural [11].

Por otra parte, en Norteamérica el crecimiento de la acuicultura ha recibido especial atención. En Estados Unidos, por ejemplo, el Departamento de Comercio estableció recientemente políticas encaminadas a hacer de la acuicultura una actividad altamente competitiva y sostenible, ya que dentro de los objetivos está el de incrementar el valor de las producciones de 900 millones en 1997, a 5 mil millones de dólares para el 2025.

Como en el resto del mundo los rendimientos de las capturas no presentan incrementos sustanciales, por lo cual la acuicultura jugará un papel importante en el suministro de alimento. Como consecuencia se prevé una dependencia de recursos naturales que soporten la producción, el desarrollo de tecnologías de producción, controles sanitarios y regulación del ambiente. Especial atención tendrá la descarga de efluentes, de manera

que el desarrollo de la acuicultura tenderá al uso de sistemas de recirculación o sistemas cerrados [11].

En Sudamérica la producción acuícola se concentra principalmente en salmónidos y camarón. Estos productos son principalmente exportados a Estados Unidos, Japón y Europa, haciendo de esta actividad una importante fuente de divisas. El cultivo de salmón se concentra en Chile, que ocupa el segundo lugar en la producción de Salmónidos en el mundo, siendo superado por Noruega.

Otro productor importante en la región es Ecuador, cuya producción de camarón en el 2000 lo colocó como el séptimo productor en el mundo [11].

Cabe mencionar que en Sudamérica se considera que la acuicultura ha impactado de manera importante al ambiente, especialmente al costero. Conflictos causados por la deforestación de mangle y la contaminación costera, aunados a los eventos naturales provocados por los fenómenos del niño y la niña, representan los mayores riesgos de la actividad [11].

En Europa desde la década de los 70, la actividad acuícola está fundamentada en los peces y moluscos. El cultivo de los moluscos se han mantenido constante desde 1970 al 2000, mientras que el de peces tuvo su mayor tasa de crecimiento de 1980 a 1990. En este continente las formas de producción acuícolas son diversas. Las cuales van desde el cultivo de moluscos que se realiza en forma artesanal y familiar (granjas de trucha a mediana escala) y empresas multinacionales que cultivan peces marinos. La mayoría de la producción acuícola (70%) proviene de cultivos marinos, específicamente salmónidos.

Asia, al igual que Norteamérica, presenta una alta diversificación de las especies cultivadas. El crecimiento en volumen ha sido muy superior al resto de los continentes. En esta región los peces de agua dulce, fundamentalmente ciprínidos, han tenido la mayor tasa de crecimiento. La diversidad de especies que se cultivan en Asia es superior al resto de los continentes. En 1994 se cultivaron 100 especies de peces, 40 de moluscos y 26 de crustáceos. Del total de especies cultivadas en el mundo, las cultivadas en Asia representaron el 67 % los peces, el 55% moluscos y 67% de los crustáceos [11].

El rápido desarrollo acuícola que ha tenido Asia en las últimas dos décadas, se atribuye a una combinación de factores sociales y ambientales, incluyendo la larga tradición en el cultivo de peces en varios países, abundantes recursos naturales y condiciones climáticas generalmente favorables para la acuicultura. Aunque, uno de los principales problemas que ha presentado esta actividad en el continente asiático han sido las enfermedades.

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos, que implica de alguna forma de intervención en el proceso de crianza con el fin de aumentar la producción [11]. Como actividad productiva, la acuicultura debe considerar dos aspectos: a) la naturaleza física del cultivo y b) el tipo de manejo. Un concepto clave para definir los sistemas de producción acuícola es la intensidad de producción, término que se refiere a la combinación de dos variables: la cantidad de material biológico cosechado por unidad de área del sistema de cultivo (productividad) y el grado de manipulación de los procesos naturales (nivel de tecnología).

Por otra parte, la acuicultura se puede desglosar en varias categorías dependiendo del

criterio utilizado para su clasificación. La siguiente clasificación se basa en el objetivo final del esfuerzo acuicultural en el cultivo:

1. Para la producción de alimentos.
2. Para mejorar los bancos naturales a través del reclutamiento y transplante artificial.
3. Para la producción de pesca deportiva.
4. De organismos acuáticos para abastecer a los grupos de investigación, ya sea científica o de pasatiempo, para ornato.
5. De organismos acuáticos como medio para recircular desechos orgánicos.
6. De organismos acuáticos para la producción de artículos industriales, tales como aceite, perlas, alimento para animales y medicamentos.

Estos cultivos se llevan a cabo mediante ***sistemas de acuicultura***.

2.2. La acuicultura y sus sistemas

La *acuicultura* (Del *lat. aqua, agua y cultura*) es la técnica del cultivo de especies acuáticas vegetales y animales [15]. Otra manera de definir acuicultura es la siguiente: Acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos bajo condiciones controladas o semi-controladas [16].

La acuicultura es una de las biotecnias para la producción de alimentos, con mayor dinámica en nuestro país, y con gran potencialidad en el manejo de los recursos naturales. En años recientes ha crecido el interés de los diferentes sectores de la población

para participar en esta actividad. Este interés se ha manifestado en un número cada vez mayor de proyectos interdisciplinarios en el campo de la investigación científica y tecnológica que se orienta hacia la consolidación de la capacidad de diseño de sistemas acuícolas.

Por otra parte, la producción acuicultural o acuícola es aquella porción de la producción pesquera que se obtiene por intervención del hombre y comprende el control físico del organismo en algún punto de su ciclo de vida, diferente al de la producción por captura.

Para el propósito de esta tesis se va a manejar la siguiente definición: ***La acuicultura es la ciencia y el arte del cultivo de organismos acuáticos*** [13].

2.2.1. Sistemas de cultivo

Existe una variedad de opciones en sistemas de cultivo. Algunos se pueden utilizar con el propósito de cultivar diferentes especies, aunque algunos se desarrollan para una especie en particular o algunos organismos relacionados [16].

En los sistemas naturales se tiene la ventaja de que están bien balanceados y operan de una forma cíclica, lo que evita problemas de alimentación debido a que los desechos de un componente son alimento para el otro. Sin embargo, este sistema natural opera de una manera lenta en la mayoría de los casos, y la productividad de materiales que puede utilizar el hombre es muy baja. Lo deseable sería incrementar la productividad del sistema sin destruir la operación del mismo [13].

El propósito primario de la ingeniería acuícola es utilizar el conocimiento técnico ingenieril y los principios de la acuicultura y producción biológica para practicar la acuicultura de manera eficiente y sustentable [10].

Existe un número de maneras de clasificar la acuicultura de acuerdo a las facilidades y sistemas de producción, basándose en la tecnología o los sistemas de producción utilizados.

La acuicultura extensiva, intensiva y semi-intensiva es una forma común de clasificar la acuicultura basando en la producción por unidad de volumen (m^3) o por unidad de área (m^2) cultivada [10]. La acuicultura extensiva involucra sistemas de producción con baja producción por unidad de volumen. Las especies cultivadas se mantienen en bajas densidades y es mínima la intervención humana y de sustancias artificiales. Cuentan con un bajo nivel de tecnología y también con una baja inversión por unidad de volumen cultivada, lo cual es característico de este método.

En el cultivo intensivo, la producción por unidad de volumen es más alta, requieren de mayor tecnología y se utilizan entradas artificiales de agua. Para llevar a cabo estos sistemas, el costo de inversión por unidad de volumen cultivada es más elevado. El mantener las condiciones óptimas de crecimiento es necesario para llevar a cabo el potencial de las especies que se están cultivando. La alimentación balanceada, los métodos de control de enfermedades y efectivos sistemas de respiración, también, caracterizan a este tipo de cultivo. El riesgo de enfermedades y muertes es más alto que en cultivos extensivos debido a que el organismo se estresa continuamente para alcanzar su máximo

desarrollo.

Es posible combinar los dos sistemas de producción antes mencionados, ésta se llama acuicultura semi-intensiva. Por ejemplo, la producción intensiva de crías combinada con la engorda extensiva.

Otra clasificación de sistemas acuícolas es de acuerdo al ciclo de vida de la especie que se esté produciendo en la granja por ejemplo huevos, crías, juveniles o engorda. Algunas granjas cubren por completo los procesos de producción, a lo cual se llama ciclo completo o producción completa.

De acuerdo con el tipo de tecnología utilizada para el cultivo también hay un número de clasificaciones basada en el diseño y funcionalidad de las unidades de producción [10]. Esto depende de la especie y el ciclo de vida que se este manejando. Para peces, la clasificación es la siguiente: 1. Unidades cerradas de producción, en donde el pez se mantiene en sistemas cerrados de producción separados del ambiente externo. 2. Unidades abiertas de producción, donde las unidades cuentan con paredes permeables, así como, mallas o redes donde el pez interactúa con el ambiente que lo rodea.

También es posible clasificar a las granjas de acuerdo a dónde se encuentran localizadas, ya sea en el mar, zona de embalse o en tierra. También las granjas se pueden clasificar de acuerdo a cómo utilizan la fuente de agua, es decir, si el agua se utiliza una vez, fluyendo directamente a través de la granja (granja de flujo continuo) o si el agua se utiliza varias veces, cuando el agua de la fuente se recicla (sistema de reuso o sistemas de recirculación) [10].

Los sistemas cerrados son aquellos en los que el fluido de trabajo se coloca dentro del sistema y éste rara vez se cambia con fuentes externas al sistema. Dentro del sistema, el fluido lo circulan bombas u otros dispositivos. El sistema cerrado permite un preciso control de los parámetros ambientales. La temperatura del agua se puede controlar mucho más económicamente en un sistema cerrado que en un sistema semicerrado. La necesidad de calentar o enfriar el agua representa uno de los gastos mayores dentro de la operación de los sistemas cerrados y semicerrados [13].

El control de la temperatura del agua y de otros parámetros ambientales permite un crecimiento más rápido, así como, el uso de alimento más económico y eficiente, esto debido a la reducción de los niveles de estrés, para los organismos. El control ambiental de los parámetros disminuye la frecuencia de estrés en los animales y mejora su resistencia a enfermedades. Sin embargo, las altas densidades de población típicas de un sistema cerrado incrementan el estrés y los problemas de enfermedades, aunque la observación constante hace posible detectar de manera temprana los problemas o enfermedades [13].

Los sistemas cíclicos cerrados en comparación con los sistemas abiertos y semicerrados tienen muchas ventajas pero actualmente su rentabilidad económica está limitada a unas pocas operaciones comerciales [13]. La mayor ventaja de un sistema cerrado es que permite al acuicultor tener un control total de las condiciones ambientales para el crecimiento [14].

2.3. Variables de importancia

Los organismos acuáticos en la acuicultura se desempeñan al máximo cuando éstos se encuentran en ambientes adecuados, es decir, ambientes que brinden menor estrés a los organismos. Algunas ventajas son reducir los cambios de temperatura, mantener niveles adecuados de oxígeno y evitar los niveles bajos ($OD < 5mg/l$), entre otros. Parte del secreto para controlar el estrés es mantener una buena calidad del agua [16].

En el agua se alojan literalmente cientos de miles de iones, varios elementos y compuestos químicos. También contiene una variedad de químicos que no requieren las especies que habitan el cuerpo de agua y que en muchos casos son tóxicos, cuando están presentes en altas concentraciones. Por tal motivo es necesario realizar mediciones de los parámetros de la calidad del agua en los estanques de cultivo [16].

En los siguientes párrafos se describen algunas de las variables más importantes que se deben medir en los cultivos acuícolas.

Existen variables de importancia que se deben medir periódicamente en todos o en la mayoría de los sistemas acuícolas. Éstas son: la temperatura, el oxígeno disuelto, el potencial hidrógeno, amonio, nitrito, nutrientes de las plantas (fertilización orgánica, fertilización inorgánica, control de plantas indeseables) y salinidad, entre otras [16].

En este trabajo, sólo se enfoca en tres de los parámetros de importancia que son la temperatura, el oxígeno disuelto y el potencial hidrógeno.

2.3.1. Temperatura

La tasa metabólica de animales acuáticos y la de las plantas la control la temperatura. Cada especie acuática tiene un intervalo de temperatura con el cual su reproducción, crecimiento y desarrollo es óptimo. El cuerpo de agua que es más frío o caliente que el intervalo óptimo disminuye el crecimiento. Aunque la mayoría de las especies, relativamente, son euritérmicas: esto es, que ellas pueden tolerar un intervalo bastante amplio de temperatura y sobrevivir [16]. Los intervalos de temperatura que generalmente se manejan se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Intervalos de temperatura (T) utilizados en acuicultura.

Clasificación:	Intervalo:
Agua fría	Menor a 15°C (60°F)
Agua templada	Entre 15° y 20°C (60-80°F)
Agua caliente	Mayor a 20°C (68°F)

Algunos de los sistemas tienden a elevar su costo cuando se requiere cultivar especies de clima tropical o caliente, en localidades o ciudades de clima templado o frío, esto, para contribuir al mercado consumidor con productos ricos en proteína de alta calidad. El costo se eleva porque es necesario enfriar o calentar el agua, según sea el caso, lo que eleva el costo de los sistemas, por lo cual se tiene que trabajar en el desarrollo de sistemas más eficientes y económicos.

2.3.2. Oxígeno disuelto

La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua a nivel de saturación depende principalmente de tres factores principales: *temperatura, salinidad y altitud*. En general, los organismos acuáticos con agallas sobreviven y crecen sin problemas de estrés en tanto el nivel de oxígeno disuelto se mantenga en $5mg/l$ o más. Por otro lado, mientras que la saturación es deseable de oxígeno disuelto = $5mg/l$, la mayoría de los acuicultores se empieza a preocupar cuando el nivel de oxígeno disuelto cae a $3mg/l$ [16].

El oxígeno disuelto necesita mantenerse lo más cerca posible a la saturación en sistemas de cultivo donde los organismos acuáticos se cultivan para evitar la imposición del estrés. El acuicultor debe tratar de mantener los niveles de oxígeno disuelto no menor a $5mg/l$ todo el tiempo.

2.3.3. Potencial hidrógeno

El parámetro conocido como potencial hidrógeno (pH) se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. La escala del pH va desde 0 a 14 con un valor neutral en 7. Los valores debajo de 7 son *ácidos*, mientras que, los superiores son *básicos*. Como la escala del pH es una función logarítmica, las diferencias entre los números consecutivos son grandes en magnitud. Esto es, por cada incremento en una unidad del pH , por ejemplo, un incremento de $pH=6$ a $pH=7$ el agua se vuelve 10 veces menos ácida (o 10 veces más básica, dependiendo de donde se desee observar)[16].

En sistemas de recirculación de agua, la acumulación de ácidos orgánicos que vienen de sustancias en la comida, aunado con la acumulación de dióxido de carbono (CO_2)

debido a la respiración, permiten una reducción en el pH , lo cual no es óptimo para los organismos cultivados en agua dulce. Para sistemas de agua dulce el pH debe mantenerse entre 6.5 y 8.5. En sistemas marinos o de agua salada, debe mantenerse un pH básico (arriba de 7), por ejemplo, en un cultivo de almejas la concha al encontrarse en agua con un pH ácido tiende a debilitarse y eso no es bueno para el organismo [16].

2.4. Técnicas y sistemas de monitoreo

Los parámetros físicos y químicos se utilizan para caracterizar la calidad del agua, muchos de los instrumentos que se utilizan se basan en diferentes principios.

Los instrumentos para medir la calidad del agua se pueden dividir en instrumentos fijos o portátiles, basados en su construcción. Los instrumentos fijos son los que se pueden quedar en el agua realizando un continuo monitoreo y éstos son del tipo electrodo o sensores. El mismo principio de instrumento, sin embargo, utilizado de forma portátil sirve para realizar mediciones individuales. Los instrumentos portátiles están más relacionados con su uso en laboratorios, lo cual, requiere de más trabajo para llevar a cabo el análisis, además de contar con experiencia en el manejo de material de laboratorio en algunos casos [10].

Los instrumentos fijos o analizadores químicos se pueden clasificar en aquellos que usan sensores, pero no reactivos químicos, y analizadores húmedos (*usar instrumentos con sensores es recomendado, porque reducen el trabajo manual*).

2.4.1. Termómetros

Aunque los termómetros electrónicos se han utilizado por algunos años y son muy precisos; de hecho, son más precisos de lo necesario para las mediciones de rutina. A los acuicultores típicamente les gusta saber la temperatura del agua lo más cercano al grado, mientras que algunos instrumentos miden exactamente lo más cercano a 0.1°C o menos. La temperatura es una de las variables más fáciles de medir, para llevar acabo esto, existen varios métodos para obtener su lectura. Un método muy probado y confiable es usar el termómetro de vidrio (mercurio en vidrio o alcohol en vidrio), aunque los termómetros electrónicos se recomiendan ya que los termómetros de vidrio son fácil de romperse.

Los acuicultores miden la temperatura diariamente. Así como, algunas otras variables, y deben guardarse para una futura referencia. Cuando un termistor (sensor de temperatura) se acopla a un termómetro digital o computadora, se puede obtener la gráfica de la fluctuación diaria de la temperatura. De esta forma el acuicultor fácilmente puede graficar períodos largos y detectar patrones en los cambios de la temperatura [16], lo cual, es importante tanto para sistemas de cultivo a nivel de producción o en sistemas de cultivo para investigación.

2.4.2. Oxímetros

El oxígeno disuelto se puede medir ya sea químicamente o electrónicamente. El primer método (método de Winkler [17]), involucra química húmeda, que permite determinar la cantidad de mg/l de oxígeno disuelto a través de una valoración química. El procedimiento es utilizado para determinar cuantos mg/l están en la muestra de agua. Este

método tarda algunos minutos por prueba y requiere de recipientes frágiles de vidrio [10][16].

Muchos medidores electrónicos de oxígeno disuelto se encuentran actualmente disponibles y son económicos. La mayoría ya cuentan con compensadores de temperatura y salinidad. Un medidor típico de oxígeno disuelto se encuentra en la figura 1.

Los medidores de oxígeno disuelto no cuentan con la ventaja de hacer mediciones rápidas, pero si se utilizan en conjunto con sistemas de almacenamiento o conectados a computadoras, se pueden realizar períodos largos de monitoreo continuo [16].



Figura 1. Oxímetro YSI 55 [Foto tomada por el autor] [1].

2.4.3. pHmetros

El pH de cualquier fuente de agua se debe determinar antes de utilizarse para acuicultura. Los tanques deben monitorear para verificar si el valor está en los intervalos adecuados, y observar si existe la posibilidad de cambios drásticos en el pH .

El pH del agua se puede medir con pruebas colorométricas (ver figura 2) tiras de papel tornasol o una sonda conectada aun medidor de pH (ver figura 3). Algunos pueden ser relativamente baratos y siempre debe haber, al menos algún de los dos tipos mencionados anteriormente, en el laboratorio de calidad del agua para mayor facilidad en el manejo [16].



Figura 2. Tablas y soluciones colorométricas para medir el pH [Foto tomada por el autor].



Figura 3. pHmetro digital HANNA [Foto tomada por el autor][2].

2.4.4. Sistemas de monitoreo

Los sensores se pueden utilizar de manera individual, o instrumentos multiparámetros, los cuales están conectados con algunos sensores mediante una sonda múltiple o sonda

multiparámetros, ver figura 4. Los sensores de la sonda múltiple se pueden cambiar por otra con diferentes sensores para medir otros parámetros de la calidad del agua, pero el instrumento de medición sigue siendo el mismo [10].

También existen empresas que brindan productos y servicios, capaces de llevar a cabo el monitoreo en unidades centrales de monitoreo, como es el caso de la empresa argentina *Estanques y peces* [18].

Esta empresa ofrece un sistema de control y monitoreo, de establecimientos de acuicultura tanto de agua dulce como de agua salada.

Esto lo llevan a cabo mediante un sistema patentado, que genera de manera inmediata datos de extrema importancia que inciden sobre la producción, rentabilidad del establecimiento basados en análisis continuos de parámetros físicos y químicos, del agua, unidades térmicas, entre otras [18].

A continuación, se muestran algunas de las características generales del sistema:

- La interface contiene la totalidad de las plaquetas de conversión, tiene conexión de los puertos por contactos secos para manejar cualquier dispositivo, permite almacenar procesos primarios para automatización y control, regenadores opcionales para largas distancias.
- Telecomandos manuales, telecomandos automáticos programados desde la consola general.
- Los puertos de cada interface son pre-programados para usarse como teleseñales,

telemedidas, telecomandos o combinaciones entre estos.

- Cada unidad descentralizada puede manejar puerto RS232 y puerto USB para dispositivos auxiliares, también maneja hasta 4096 puntos de control por cada unidad, es decir, hasta 4096 sensores.
- La interface se monta en rack normalizado de 19 pulgadas (para modelo de hasta 288 puertos).
- cada consola general, en su versión base, puede manejar hasta 23 unidades descentralizadas.

Como se puede observar, es un sistema complejo, el cual puede llegar a ser muy costoso, según la magnitud de la granja acuícola.

También están disponibles en el mercado otro tipo de sistema de la marca YSI, por ejemplo, los instrumentos portátiles (ver figura 4) y los sistema de monitoreo continuo (ver figura 5 y 6).



Figura 4. Medidor multiparámetros YSI 556 [1].



Figura 5. Sistema de monitoreo multiparámetro YSI 5200 [1].



Figura 6. Sistema de monitoreo oxígeno disuelto YSI 5400 [1].

2.5. Sumario

En este capítulo se dio una breve introducción a los sistemas acuícolas, su historia, así como los sistemas que se utilizan para el monitoreo de éstos. Se describen además las variables de importancia para la aplicación, que son la temperatura (T), el oxígeno disuelto (OD) y potencial hidrógeno (pH) las cuales deben de estar dentro de los intervalos de 18°C a 40°C , 0 mg/l a 10 mg/l y $pH=6$ a $pH=9$, respectivamente. Cabe mencionar que éstos últimos son particulares según la especie en cultivo y, por último, se mencionan algunas de las técnicas, equipos y sistemas de monitoreo que existen en el mercado.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO

3.1. Propuesta de diseño

Con base en lo antes expuesto, se propone diseñar un sistema que cuente con una etapa de acondicionamiento para las variables de temperatura, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno, otra de adquisición de datos, así como una de procesamiento. Todo lo anterior lo controla un programa que tiene una interfaz gráfica con el usuario (ver figura 7). Las etapas antes citadas se describen a detalle en el capítulo tres. Sin embargo, a continuación se menciona un panorama general de las mismas.

La etapa de acondicionamiento permite obtener niveles de señal adecuados, éstos los registra una tarjeta de adquisición de datos [19]. Los datos, se procesan mediante algoritmos implementados en *MATLAB 7.0* y *LABview 7.0*, para convertir las lecturas de voltaje adquiridas a las unidades correspondientes a cada parámetro. Una vez procesadas y obtenidas las lecturas en las unidades en $^{\circ}\text{C}$, mg/l y pH se muestran en forma numérica y gráfica en pantalla. Posteriormente, se realizará una comparación con los niveles de alarma. Esta última tiene como función el indicar a través de la interfaz gráfica y emitir un sonido cuando alguno de los parámetros esté fuera de los intervalos permitidos, requeridos por el cultivo en cuestión. Además el sistema tiene la opción para hacer un almacenamiento de las lecturas realizadas.

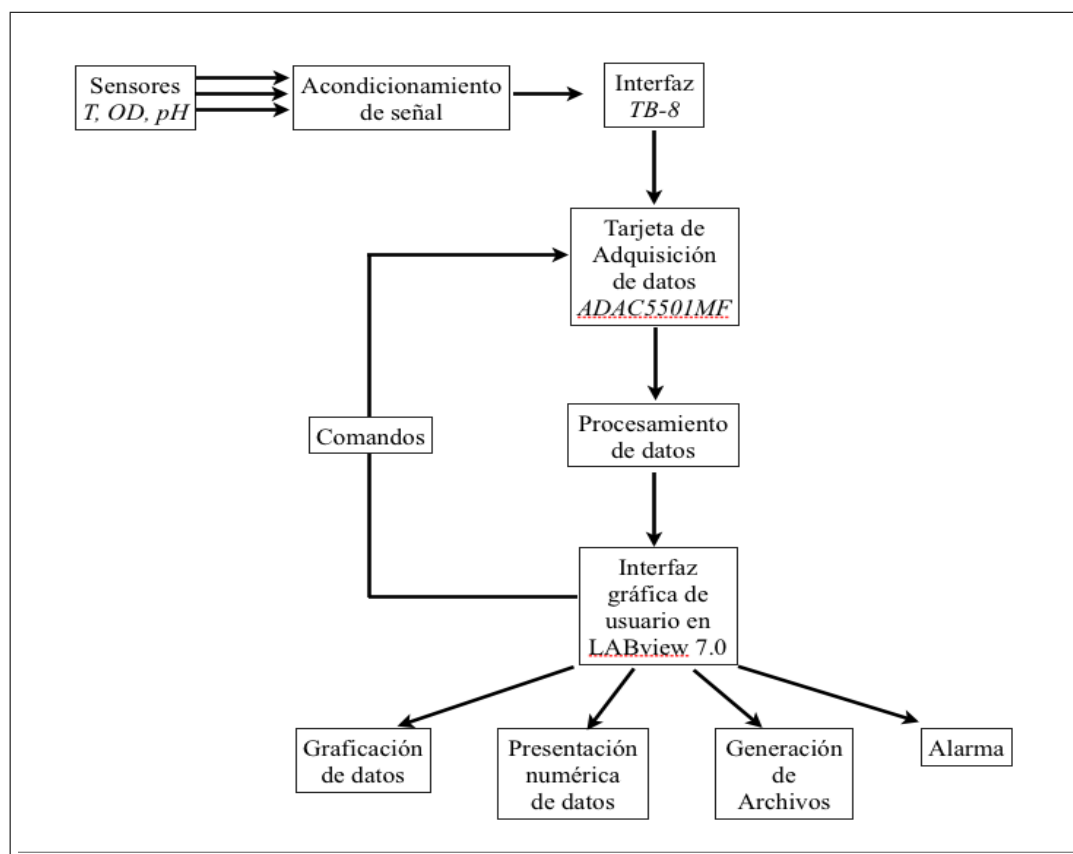


Figura 7. Diagrama a bloques de la propuesta de diseño.

3.2. Descripción de sensores y componentes

En este apartado se describen los sensores utilizados para medir la *temperatura*, *oxígeno disuelto* y *pH*. También se mencionan las características tanto de la tarjeta de adquisición de datos como de la computadora personal (PC).

También se exponen los sensores utilizados para el sistema electrónico de monitoreo de la calidad del agua. En primer plano, se describe cada sensor, iniciando con el referente a temperatura (T), siguiendo con el de oxígeno disuelto en el agua (OD) y terminar con el de potencial hidrógeno (pH). En esta descripción se presentan datos relacionados

con su composición interna, funcionamiento y algunas configuraciones electrónicas para su acondicionamiento.

3.2.1. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura (T) utilizado es el modelo 108 (*Model 108 Temperature Probe*) de la marca Campbell Scientific, Inc. (ver figura 8). Éste, está diseñado para medir temperatura en aire, suelo y agua. El modelo consiste en un termistor encapsulado en una envoltura epoxy cilíndrica de aluminio. La envoltura protege al termistor permitiéndole al sensor ser enterrado, sumergido o puesto al aire libre.



Figura 8. Imagen del sensor de T , *Model 108 Temperature Probe* [3].

Las características más relevantes del sensor se indican en la tabla 2. Su curva característica, configuración electrónica y el código de colores de sus terminales se muestran en las figuras 9, 10 y tabla 3 respectivamente.

Tabla 2. Especificaciones del sensor de T [3].

Nombre:	Especificación:
Intervalo de mediciones de temperatura	-5 °C a 95 °C
Intervalo de temperatura de vida útil	-50 °C a 100 °C
Error por linealización polinomial	0.5 °C en el intervalo de - 7 °C a 90 °C
Constante de tiempo en aire	200 a 10 s

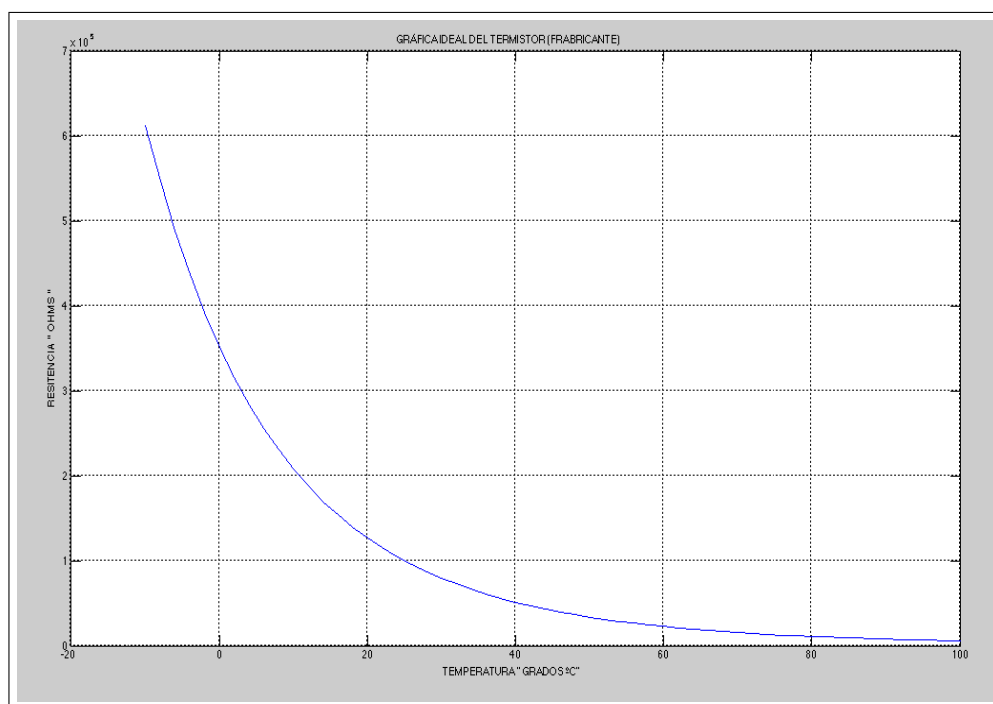


Figura 9. Curva característica ideal del termistor [3].

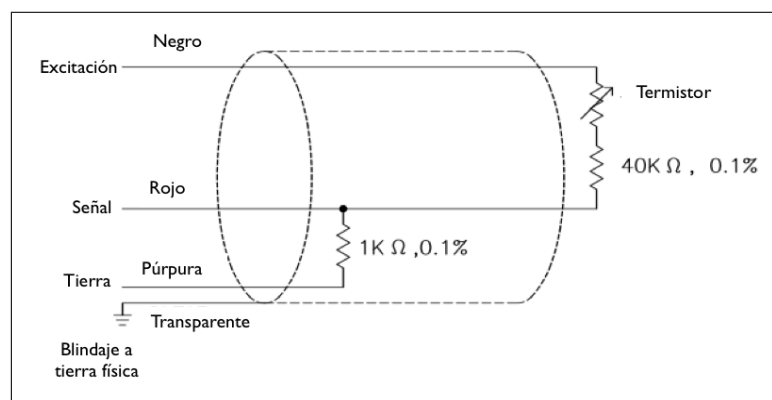


Figura 10. Configuración electrónica interna de sensor de T [3].

Tabla 3. Configuración electrónica de las terminales del sensor de T [3].

Color:	Descripción:
Negro	Excitación
Rojo	Señal
Púrpura	Tierra
Transparente	Blindaje

3.2.2. Sensor de oxígeno disuelto

Para la adquisición del oxígeno disuelto se utilizó el sensor modelo *DO6200-T* de la marca Sensorex (ver figura 11). Este sensor se utiliza comúnmente utilizado en acuicultura, por ser un sensor robusto que soporta rasgaduras, sustancias abrasivas y los rayos UV. Además, la superficie escurridiza de teflón es resistente a la adhesión de materia biológica.

El sensor de oxígeno disuelto, modelo *DO6200-T*, es un transductor electroquímico que



Figura 11. Sensor de oxígeno disuelto, modelo *DO6200-T* [4].

utiliza, como parte activa, una celda galvánica (ver figura 12) para medir el oxígeno disuelto. Este dispositivo no requiere de energía del medidor o controlador para generar su señal. El sensor de DO no mide el oxígeno directamente. Éstos miden la presión parcial de oxígeno en el agua, lo que es directamente proporcional al porcentaje de saturación de oxígeno en el agua. La concentración (mg/l o ppm) se puede calcular sobre la solubilidad del oxígeno en el agua, la cual depende de factores como la temperatura, salinidad y la presión barométrica.

Este sensor consiste de un cátodo, un ánodo y un electrolítico separados del fluido a medir por una membrana permeable, tabla 4. El oxígeno pasa a través de la membrana y reacciona con el cátodo, cediendo electrones, lo cual produce una corriente eléctrica. Las especificaciones del sensor se presentan en la tabla 5.

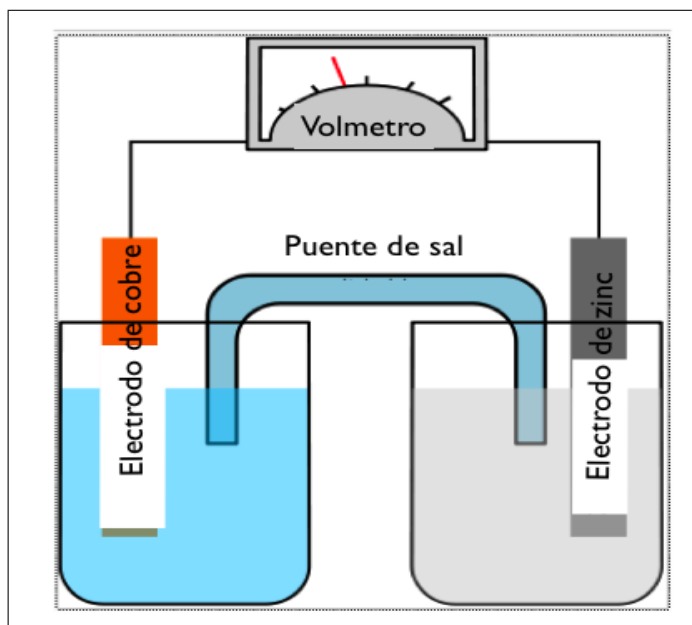


Figura 12. Celda galvánica [5].

Tabla 4. Conexiones de las terminales del sensor *DO6200-T* [4].

Conexión:	Descripción:
Cable rojo	Cátodo +
Cable negro	Ánodo -

3.2.3. Sensor de potencial hidrógeno

El *modelo 35801-08*, de la marca *OAKTON* (ver figura 13), es el sensor utilizado para medir el potencial hidrógeno (pH).

El sensor de potencial hidrógeno es un electrodo de *pH* sumergible en línea, lo cual, lo hace un electrodo ideal para aplicaciones en acuicultura. Está permanentemente encapsulado en un cuerpo de *CPVC* y trae terminaciones de rosca *NPT* de 3/4 de pulgada, en ambos lados, lo cual lo hace un sensor robusto para aplicaciones industriales (ver

Tabla 5. Especificaciones del sensor *DO6200-T* [4].

Especificación:	Descripción:
Salida a 100% de saturación	24-42 mV
Salida a 0% de saturación	1 mV
Intervalo de temperatura	max= 50°C min= 0°C
Exactitud	± 2 % cuando T es igual a la T de calibración
Tiempo de respuesta	2 minutos para alcanzar el 90% de la lectura
Tasa de movimiento en el agua	Mínimo 2 pulgadas /segundo
Materiales húmedos	Cuerpo - Delrin, Membrana - Teflon
Conexiones DO600, DO7000	Rojo = + , Negro = -

Figura 13. Imagen del sensor de *pH*, modelo 35801-08 [foto tomada por el autor] [6].

tabla 6. Este sensor utiliza un método electroquímico, el cual, mediante un electrodo brinda un voltaje de salida en mV, de acuerdo a la variaciones de la concentración de iones de hidrógeno, *pH*.

Tabla 6. Configuración electrónica de las terminales del sensor de pH [7].

Conexión:	Descripción:
BNC	Señal
Compensación de temperatura (ATC).	Cables sin recubrimiento externos al conector BNC en la terminal del sensor. Si no se utilizan se dejan al aire.

El funcionamiento del electrodo comienza por una composición especial de vidrio, en donde se detectan los H^+ y, el electrodo genera un voltaje (59.2 mV por unidad de pH a 25 °C).

El sensor de pH presenta la siguiente relación de voltaje con respecto a las variaciones de pH (ver tabla 7).

Tabla 7. Relación de voltaje, en millivolts, con respecto a las variaciones de pH [7].

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
millivolts	+414	+355	+296	+237	+177	+118	+59	00	-59	-118	-177	-237	-296	-355	-414

El electrodo de combinación (ver figura 14) utiliza dos electrodos para relizar las lecturas, uno de referencia y otro que es sensible a los cambios de pH y con esta relación se produce una reacción electroquímica, la cual, genera un voltaje en sus terminales de

salida.

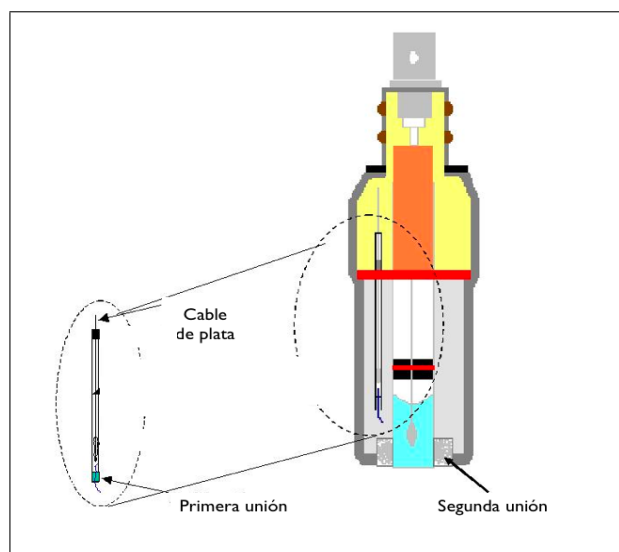


Figura 14. Configuración interna de un sensor de combinación para medir pH [7].

3.2.4. Tarjeta de adquisición de datos

El propósito de un sistema de adquisición de datos es obtener información para la toma de decisiones a partir de uno o más parámetros. La resolución, la exactitud, el número de canales, así como los requerimientos de velocidad son particulares en cada aplicación.

La tabla 8 muestra las especificaciones de la tarjeta *ADAC/5501MF* utilizada en este trabajo.

A partir de las características antes indicadas se decidió hacer uso de los canales analógicos de 0, 2, 4 para la adquisición de datos de temperatura, oxígeno disuelto y pH respectivamente. Estos canales se configuran a una frecuencia de muestreo de 1 KHz, tomando en cuenta solo las primeras 100 muestras por canal, para realizar la

Tabla 8. Especificaciones de la tarjeta *ADAC/5501MF* [8].

Especificación:	Descripción:
Entradas analógicas	8 Canales terminal simple
Resolución	12 bit
Tasa de muestro máxima A/D	100KHz
Intervalos de voltaje elegibles por canal	Unipolar= 0-10V, Bipolar = 10V

promediación y procesamiento del dato promediado.

3.2.5. Computadora personal

Para este trabajo los requerimientos de la computadora personal utilizada para procesar los datos, presentarlos y guardarlos, son los que se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Características de la *PC* [9].

Características:	Descripción:
Marca y modelo	HP Pavilion 530K
Sistema operativo	Windows XP Professional
Procesador	Pentium 4
Memoria RAM	256 MB

3.3. Etapa de acondicionamiento de señal

En esta sección se hace una descripción de las etapas de acondicionamiento de señal para los sensores de T , OD y pH expuestos anteriormente. Esta etapa es necesaria para que los niveles de voltaje entregados por éstos estén ajustados al alcance dinámico de la tarjeta de adquisición de datos *ADAC/5501MF*.

3.3.1. Acondicionamiento de señal de temperatura

Para esta variable, el sensor utilizado requiere de una excitación externa para generar un voltaje de salida que corresponde a la variación temperatura a la que éste sea sometido. Tomando en cuenta su configuración interna, el cual, está formado por un arreglo de resistencias, como se muestra en la figura 10. Se propuso una señal de excitación externa constante a $5 V_{DC}$, para así obtener en su terminal de salida una variación milivolts.

La señal entregada por el sensor se encuentra en el intervalo de 15 a 30 milivolts, 18 °C y 40 °C respectivamente. Se puede apreciar que es una señal de bajo nivel (menor a $1 V_{DC}$). Basados en el alcance dinámico de la tarjeta de adquisición y en el nivel de señal entregado por el sensor, se instrumentó un arreglo electrónico para amplificar la señal por un factor de 200, con un amplificador de instrumentación (AD627 [20]). Así se tiene una señal útil que varía de 3 a 6 V_{DC} , para registrar el intervalo de temperatura requerido (18 °C min y 40 °C max). Con esto también se satisface el intervalo de voltaje de la entrada analógica de la tarjeta *ADAC5501MF* que es de 0 - 10 V_{DC} . El arreglo implementado se muestra en la figura 15.

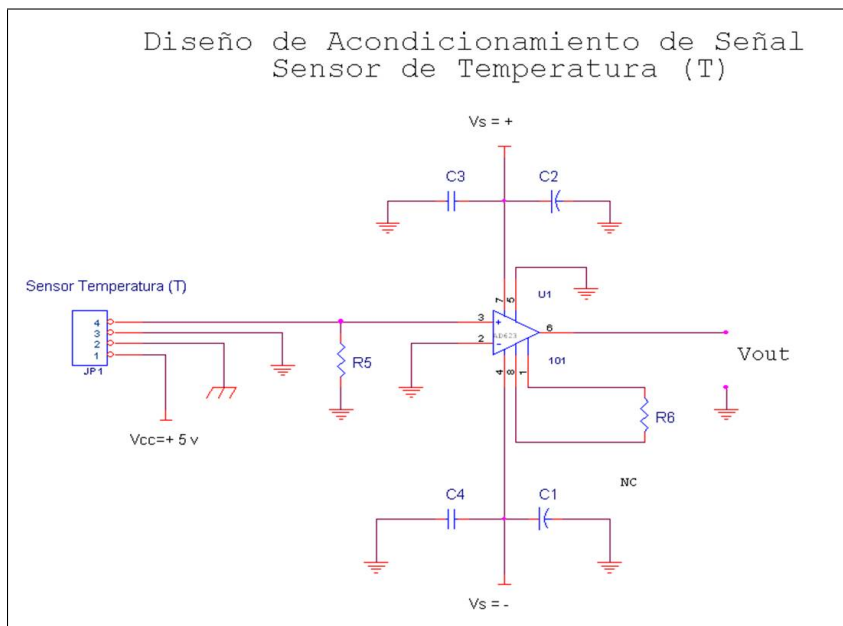


Figura 15. Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para temperatura.

3.3.2. Acondicionamiento de señal de oxígeno disuelto

El electrodo *DO6200-T*, utilizado como sensor de oxígeno basa su operación en un proceso electroquímico. La señal generada por éste es del orden de milivolts. Por lo tanto, se requiere de una etapa de amplificación que permita tener un nivel de señal adecuado al alcance dinámico del canal analógico en la tarjeta.

La etapa de acondicionamiento de señal para el sensor de *OD*, requiere de un ampli-

ficador de instrumentación (AD627 [20]) con una ganancia de 10 y un sumador que agregue $2.5 V_{DC}$ a la salida (ver figura 16).

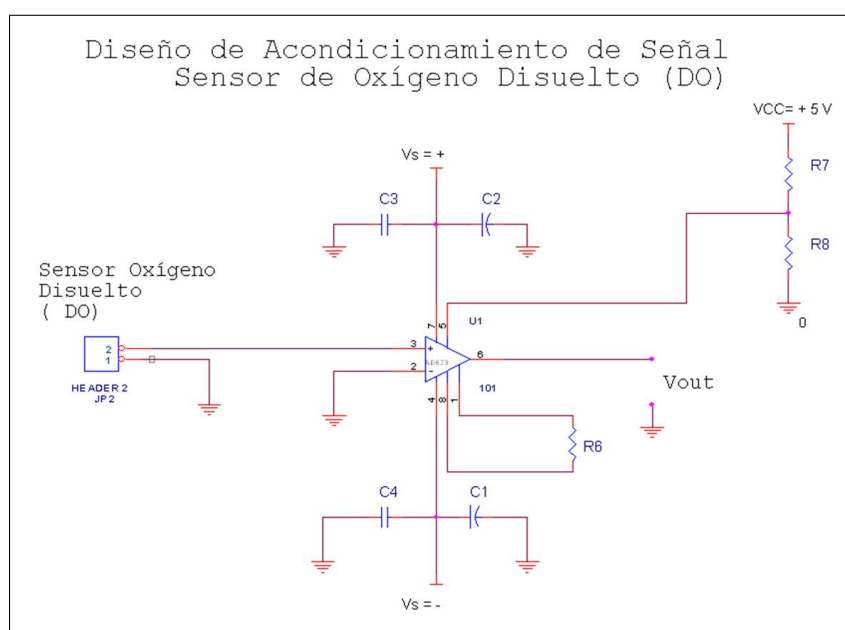


Figura 16. Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para oxígeno disuelto.

3.3.3. Acondicionamiento de señal de potencial hidrógeno

La señal del sensor *modelo 35801-08* de potencial hidrógeno (pH), por su composición y funcionamiento interno, requiere una etapa en configuración seguidor de voltaje con cierto nivel de voltaje de compensación y, a su vez, con alta impedancia de entrada. Ya

que el mismo sensor genera un voltaje, el cual es bipolar e inversamente proporcional al pH , es decir, entre mayor pH menor voltaje de salida, por medio de un proceso electroquímico.

Primero se verifica el correcto funcionamiento del sensor, de acuerdo a sus especificaciones, en donde el sensor debe generar una pendiente de aproximadamente 59 mV por unidad de pH . Así se elige un amplificador de instrumentación (INA110KP [21]) con la configuración propuesta por el fabricante, para la etapa de seguidor de voltaje, con un nivel de voltaje de compensación configurable a la salida y posteriormente amplificar (AD627 [20]) la señal 10 veces. La figura 17 muestra la etapa de acondicionamiento instrumentada para medir la señal de pH .

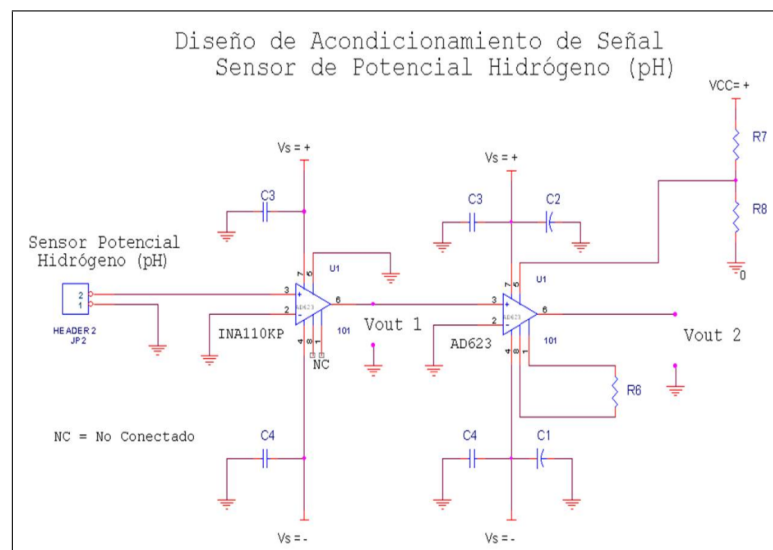


Figura 17. Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para pH .

El sistema de acondicionamiento se presenta en la figura 18.

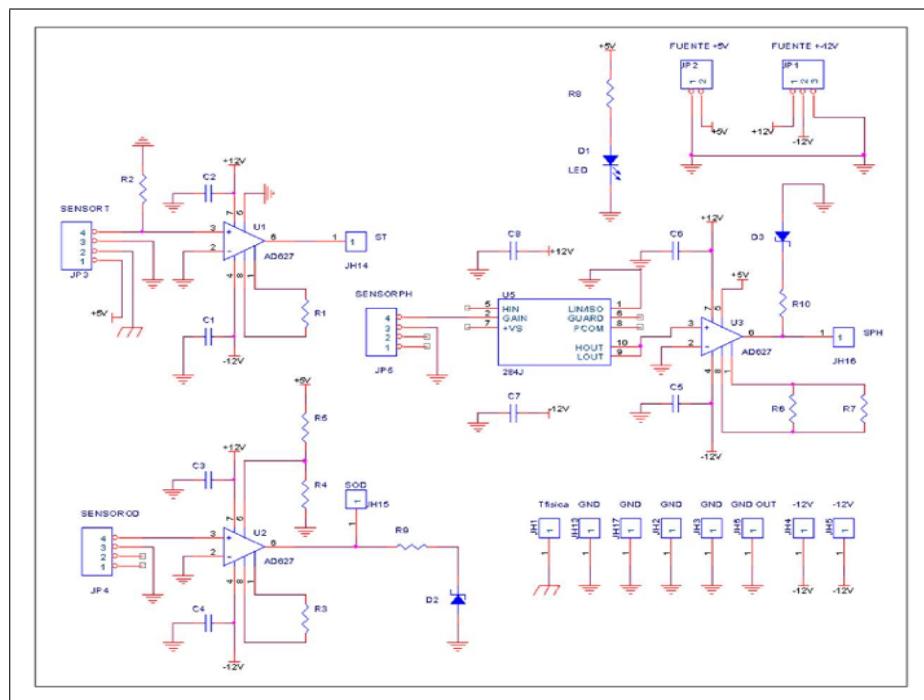


Figura 18. Configuración electrónica de acondicionamiento de señal para el sistema final.

3.3.4. Algoritmos de ajuste

El procedimiento para la obtención de las curvas de ajuste de los sensores expuestos en las secciones 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3, es el que a continuación se describe.

3.3.4.1. Curva de ajuste de temperatura

El algoritmo que determina la curva de ajuste para temperatura, requiere de los datos medidos durante el barrido de temperatura, los cuales fueron registrados en unidades de volts. El comando "*polyfit*" recibe los datos obtenidos y entrega los coeficientes del polinomio que mejor ajusta el comportamiento de los mismos (ver figura 19).

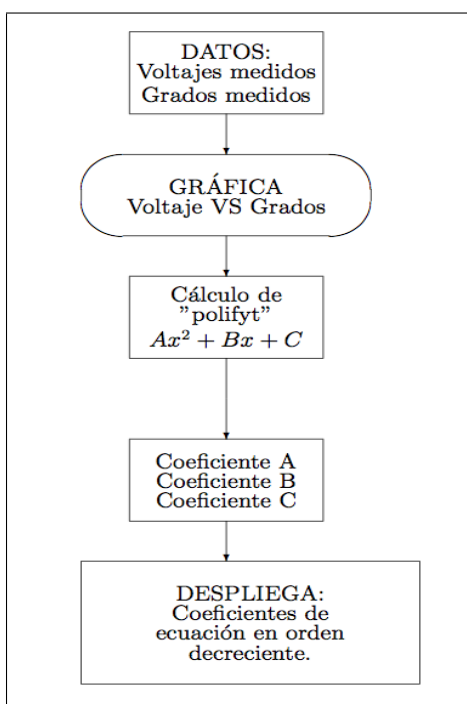


Figura 19. Algoritmo para obtener los coeficientes de ajuste para temperatura.

Para generar la curva de ajuste de temperatura, se llevó a cabo un protocolo de calibración que consistió en un barrido de temperatura de 6 °C a 45 °C en el que durante cada minuto se tomó una lectura del sensor en conjunto con las lecturas de un instrumento de referencia YSI 55 (ver figura 20). El proceso anterior dio como resultado el comportamiento que se presenta en la figura 21.

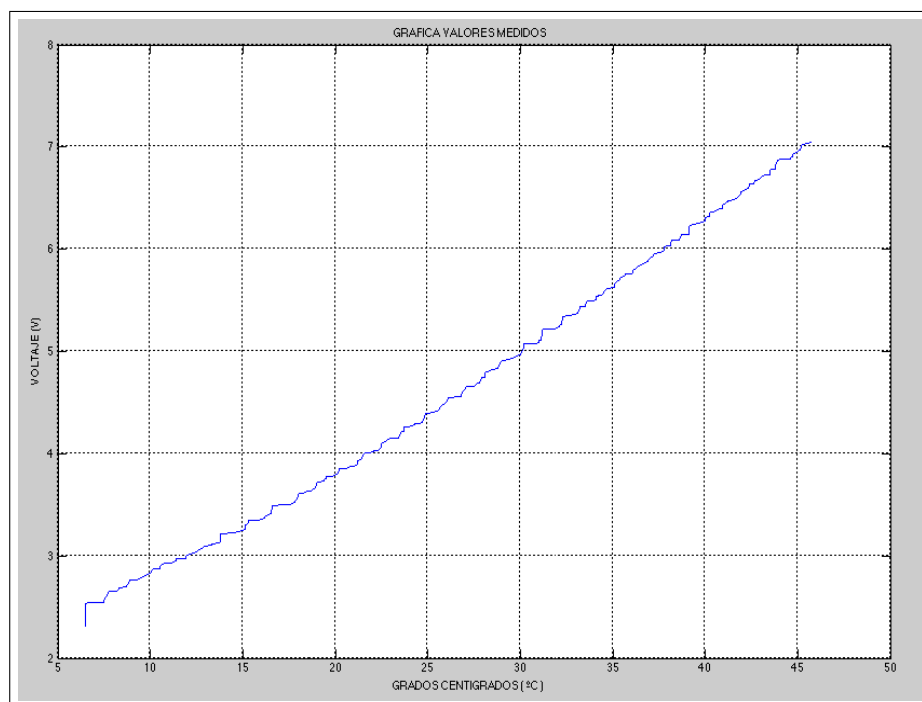


Figura 20. *Curva de datos medidos en laboratorio de temperatura.*

3.3.4.2. Curva de ajuste de oxígeno disuelto

El siguiente algoritmo describe cómo se calcula el nivel de saturación máxima (ver figura 22) y la curva de ajuste de oxígeno disuelto utilizando programación en el software *MATLAB*.

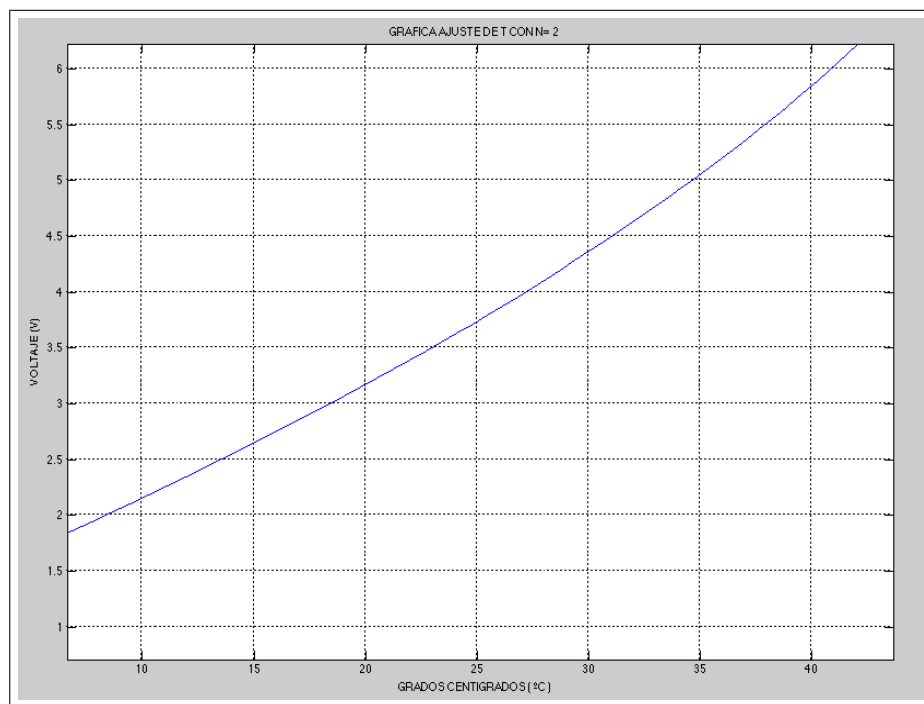


Figura 21. Curva de ajuste lineal para temperatura.

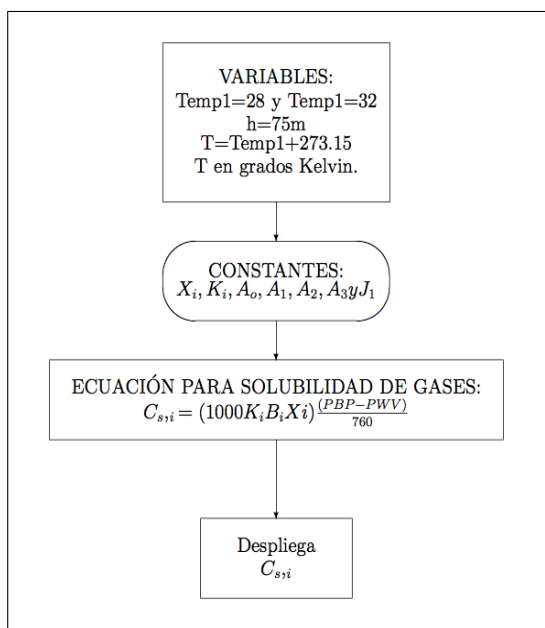


Figura 22. Algoritmo para el cálculo del nivel de saturación del oxígeno en el agua.

Para la curva de ajuste de oxígeno disuelto, se debe tomar en cuenta que este parámetro depende de tres variables, la temperatura, presión barométrica, salinidad. Por esto se debe calcular el nivel máximo de saturación de oxígeno posible con las características de $h=75$ m de altura sobre el nivel del mar. La presión barométrica se calcula para esa altura y la temperatura en estos dos puntos $T=28$ °C y $T=32$ °C, límites utilizados como margen por los calentadores en el sistema de cultivo (ver figura 23) [13]. Como resultado de estos cálculos se tiene la gráfica figura 24 en donde se ubican los niveles de saturación en mg/l con respecto a la temperatura.

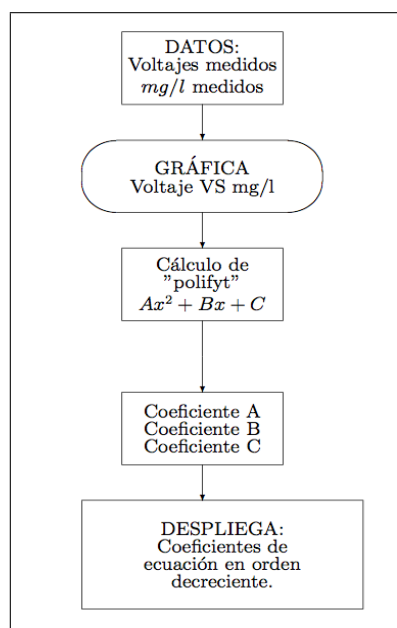


Figura 23. Algoritmo para el cálculo de la curva de ajuste oxígeno.

El primer algoritmo calcula el nivel de saturación máxima ($C_{s,i}$) para cierta temperatura. Cabe resaltar que, en el algoritmo de interfaz gráfica esto se ajusta con cada lectura de temperaturas, es decir, se vuelve a recalcular el valor de $C_{s,i}$ y se procesa en el segundo algoritmo, el cual, obtiene los coeficientes que definen la curva de ajuste

para oxígeno disuelto. Éste, con la lectura de voltaje y la ecuación de ajuste, genera el valor equivalente en mg/l .

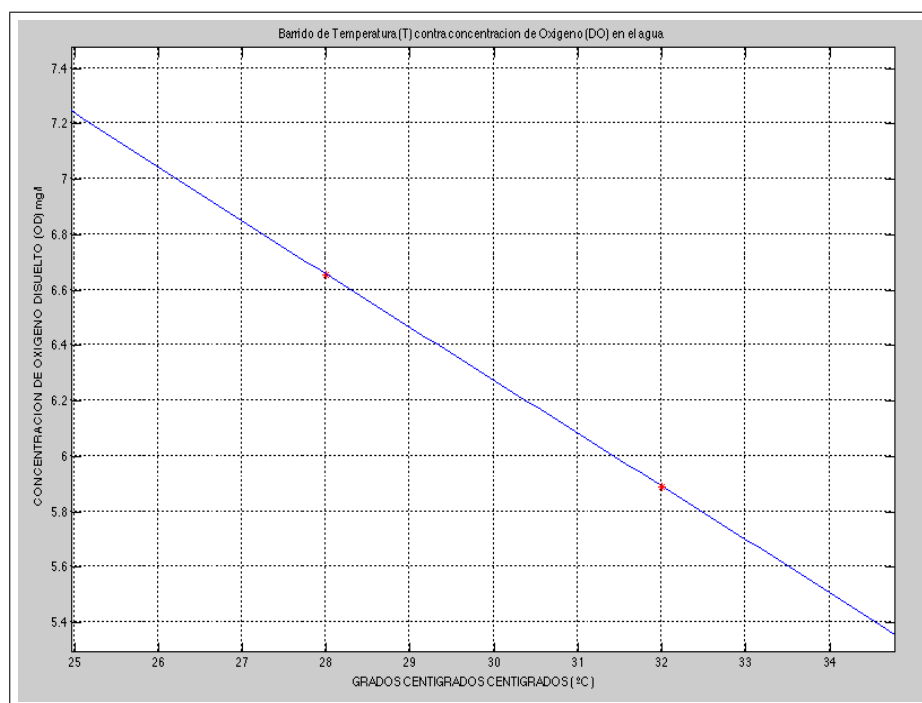


Figura 24. Niveles calculados de saturación máxima de oxígeno a $T=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T=32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente, se llevaron a cabo mediciones de voltaje del *sistema de instrumentación analógica* y el OD de referencia del sensor *YSI 55*. Estas lecturas se tomaron en dos niveles de saturación, como marca la hoja de especificaciones del sensor *DO6200-T*, máxima al aire y mínima en sulfito de sodio (ver figura 25). Con estos datos se obtienen 2 puntos para generar una curva, la cual, con el algoritmo antes descrito, procesa los datos medidos y genera una curva de ajuste lineal para el oxígeno disuelto (ver figura 26).

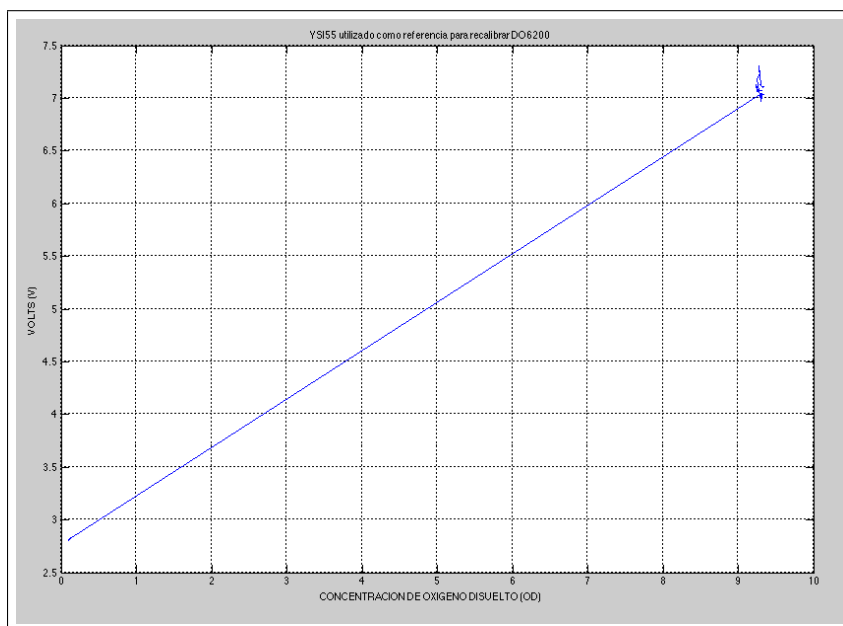


Figura 25. *Curva de datos medidos para calibración de oxígeno disuelto.*

3.3.4.3. Curva de ajuste de potencial hidrógeno

El algoritmo para el cálculo de la curva de ajuste de potencial hidrógeno se presenta a continuación (ver figura 27), utilizando programación en el software *MATLAB*.

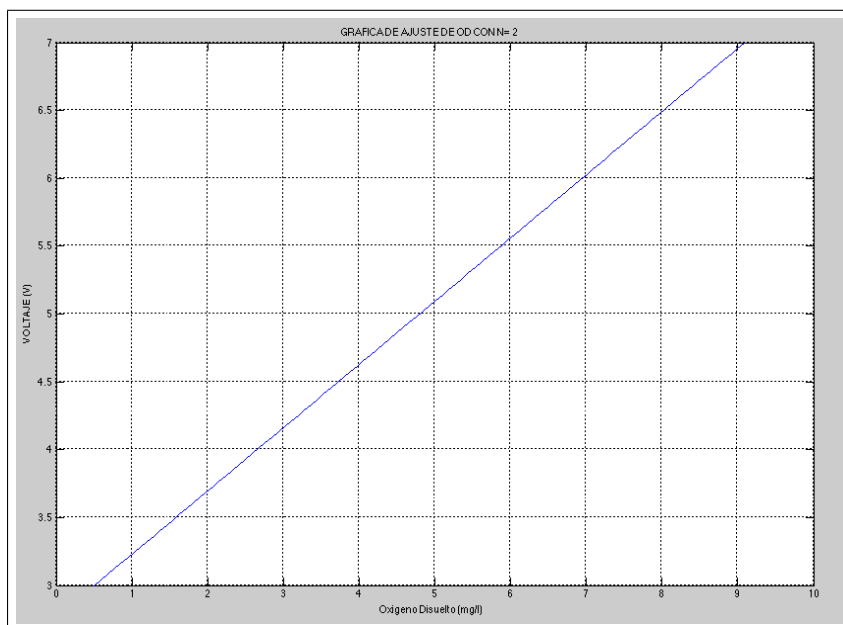


Figura 26. Curva de ajuste lineal para oxígeno disuelto.

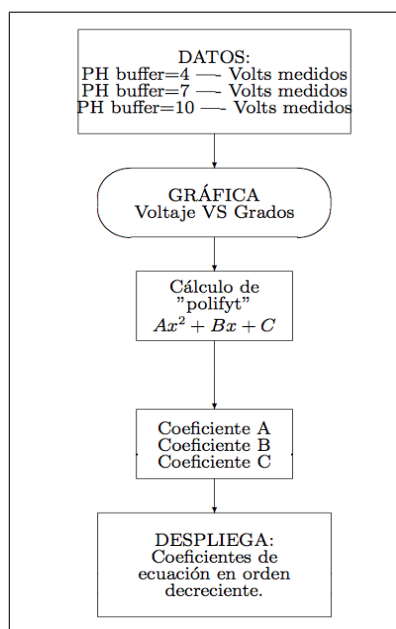


Figura 27. Algoritmo para el cálculo de la curva de ajuste de potencial hidrógeno.

Los coeficientes que definen la curva de ajuste para pH se calculan por medio del al-

goritmo aquí descrito. Éste requiere los datos de las lecturas en voltaje, leídas cuando el sensor de pH se encontró sumergido en los buffer de $pH=4$, $pH=7$, $pH=10$, para calibrar pH . Con estos datos, el algoritmo con el comando `polifyt` calcula y obtiene los coeficientes A, B, C que generan a un curva de ajuste para pH y, así obtener la interpretación de los valores de voltaje a lecturas en pH .

Los datos medidos que se requieren para llevar a cabo el algoritmo antes mencionado, se obtuvieron siguiendo los pasos que se describen en el protocolo y muestreando las lecturas del *sistema de instrumentación analógica*, canal 1, y el pH de referencia del sensor *HANNA*. Básicamente, el sensor de pH se introdujo en *"buffers de pH "*, es decir, tres diferentes concentraciones de pH , $pH=4$, $pH=7$, $pH=10$. Es suficiente con colocarlo en dos buffers, comúnmente $pH=4$ y $pH=7$. Se da un tiempo para que se estabilicen las lecturas y tomar las muestras en cada buffer de pH (ver figura 28). Así se tienen 2 puntos de referencia medidos para realizar los cálculos de la ecuación que describe la variación de pH del sensor, para generar la ecuación de ajuste para pH (ver figura 29).

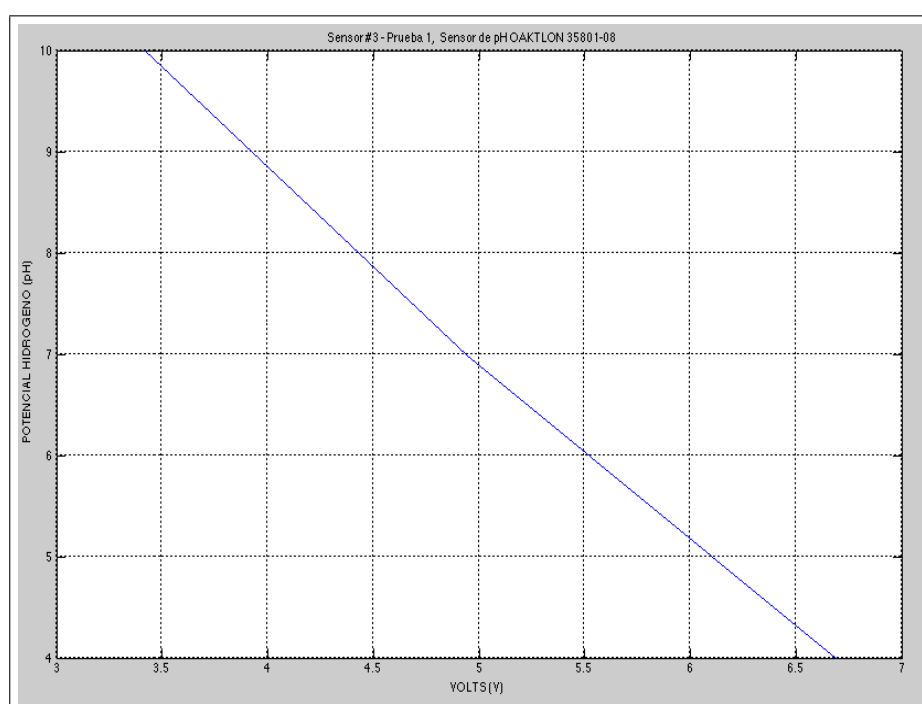


Figura 28. *Curva de datos medidos de potencial hidrógeno.*

3.4. Interfaz gráfica

En esta sección se presentan los algoritmos desarrollados para el procesamiento de las señales de la etapa de instrumentación analógica, haciendo uso de las curvas de ajustes

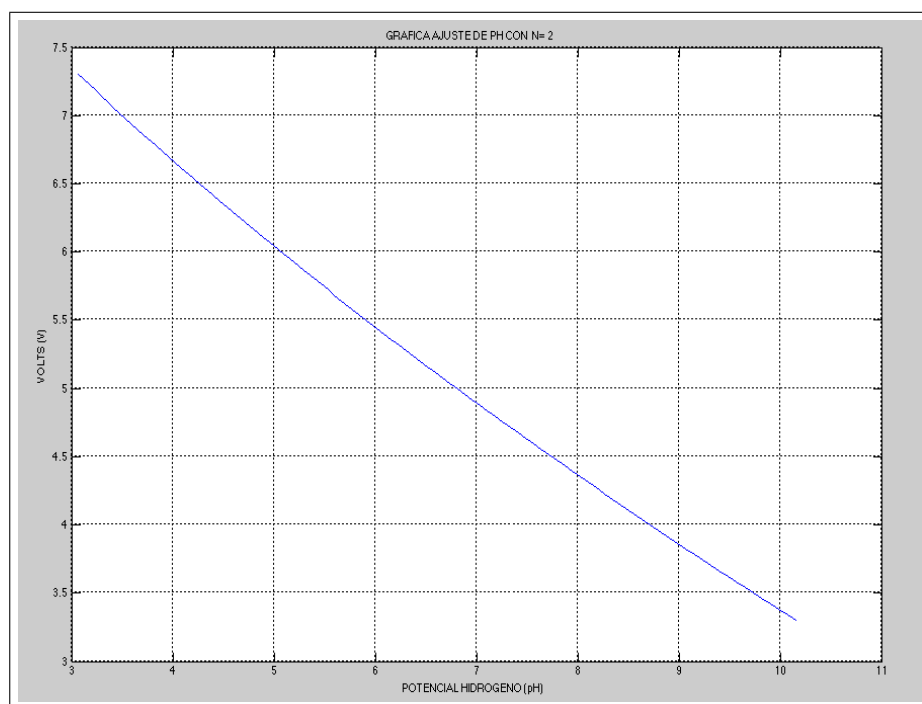


Figura 29. Curva de ajuste para potencial hidrógeno.

antes expuestas. Se muestra la interfaz gráfica y la opción de almacenamiento de datos elaborada [22].

3.4.1. Interfaz y configuración en *LABview 7.0*

LABview 7.0 es una plataforma de programación diseñada para crear instrumentos virtuales y sistemas de control. Basado en este principio, su estructura y su peculiar programación en bloques lo hizo una herramienta idónea para esta aplicación. Con este software se llevó a cabo la siguiente configuración a la tarjeta *ADAC5501MF*: se estableció una frecuencia de muestreo por canal de 1 KHz, posteriormente se habilitaron los canales 0, 2 y 4, como entradas analógicas para las señales provenientes de los sensores de temperatura, oxígeno disuelto y *pH*, respectivamente. Hecho lo anterior se estableció que en cada canal se ejecutara un almacenamiento de 100 muestras, las

cuales se promedian para generar una muestra por segundo. Por último se programó la conversión de las lecturas de voltaje a sus unidades correspondientes en $^{\circ}\text{C}$, mg/l y pH .

3.4.2. Interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica está diseñada de tal manera que sea sencillo para el usuario el visualizar y manejar los datos medidos. El algoritmo general de la interfaz gráfica (ver figura 30) y la pantalla de interfaz gráfica (ver figura 31).

De la figura 31, de derecha a izquierda se pueden apreciar tres recuadros, en los que se indican las lecturas del voltaje medido, enseguida se tienen tres monitores gráficos, donde se presentan los datos en una ventana de tiempo determinada. Continuando, aparecen tres recuadros que contienen las lecturas presentadas en las unidades correspondientes($^{\circ}\text{C}$, mg/l y pH).

Por último, se indican seis campos donde se colocan las direcciones de almacenamiento para las mediciones.

En la parte superior de la pantalla, se observa un recuadro con la hora y la fecha. También se aprecia el botón para activar la función de guardar y un recuadro para asignar la frecuencia de almacenamiento, en segundos, para las mediciones.

La figura 32, muestra el sistema de alarma, que cuenta con dos botones uno habilitar y otro desactivar. El primero activa la alarma, para llevar a cabo las comparaciones

de las mediciones con los niveles de alarma y el segundo, es utilizado para desactivar la alarma. En la parte central se muestra un indicador que se activa cuando alguna de las mediciones se encuentra fuera de los valores límite.

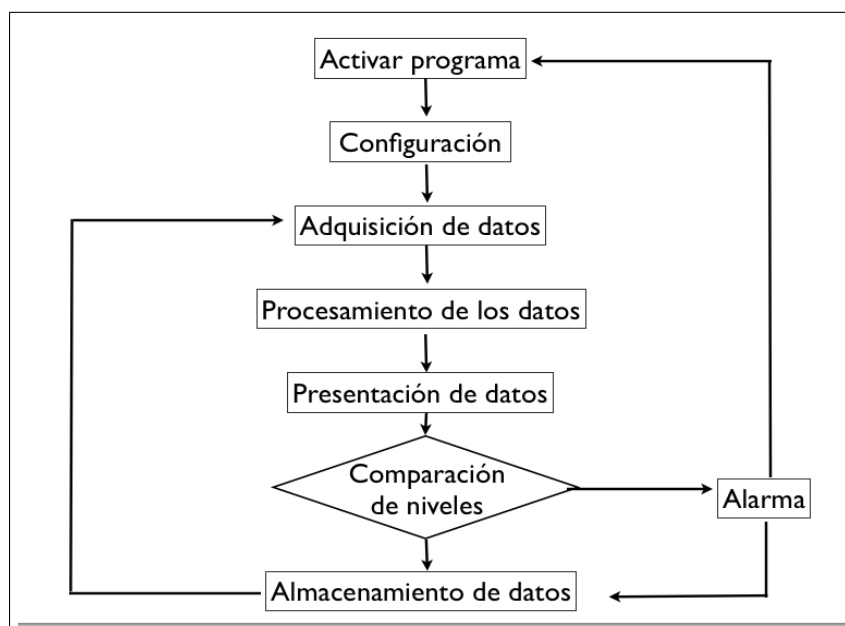


Figura 30. Algoritmo utilizado para elaborar el programa de interfaz gráfica de usuario.



Figura 31. Pantalla de interfaz gráfica de usuario diseñada en LABview.

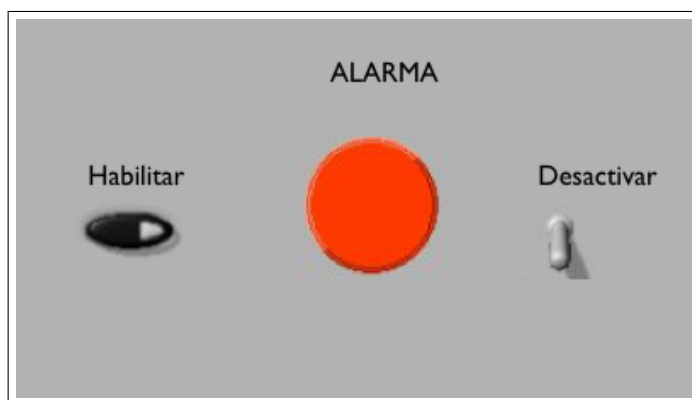


Figura 32. Alarma de interfaz gráfica de usuario, diseñada en LABview.

3.5. Primer prototipo de medición

Una vez instrumentadas las etapas de acondicionamiento de señal, éstas se integraron en un primer prototipo que se muestra en la figura 33 y se realizó una primera versión de interfaz (ver figura 34) antes de la presentada en la sección 3.3. Éste se probó en

campo antes de proceder a la integración del sistema final, dando resultados preliminares satisfactorios.

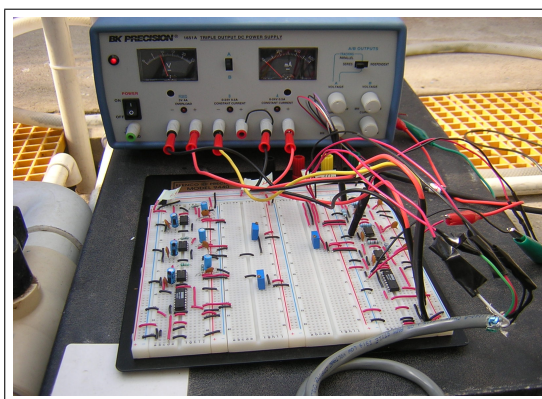


Figura 33. Sistema a un lado del tanque a monitorear, en protoboard.

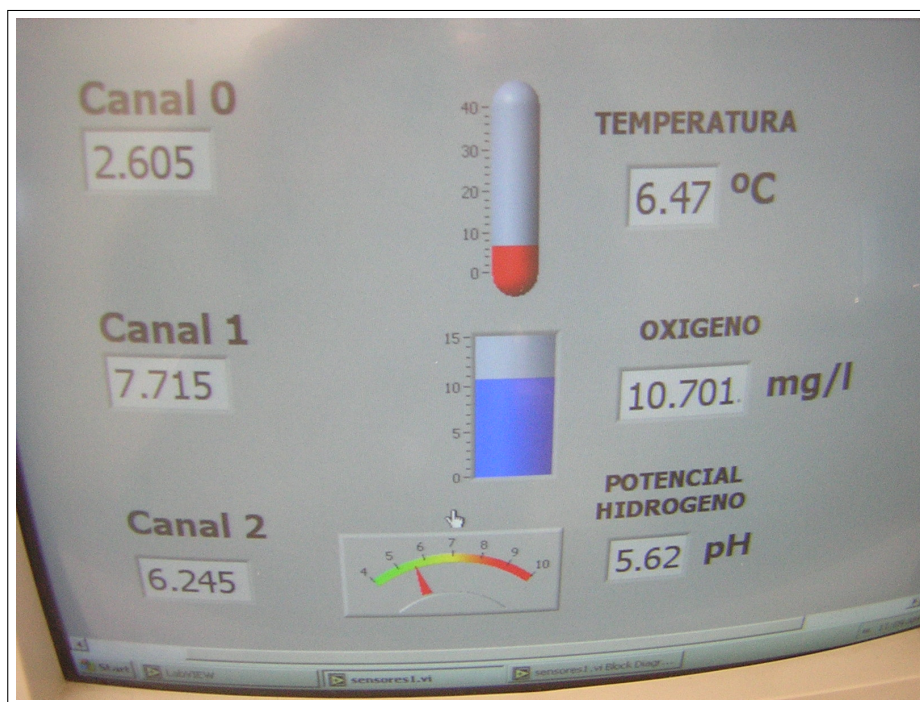


Figura 34. Pantalla de interfaz gráfica, primera versión para pruebas.

3.6. Diseño de tarjeta de circuito impreso

La tablilla de circuito impreso se diseño en el software *ORCAD 9.0*. Se inició con el diagrama esquemático del sistema en *CAPTURE CIS* y posteriormente se diseñó la colocación de las pistas que interconectan a los componentes en *LAYOUT PLUS*. El diseño se elaboró colocando los sensores próximos y en línea recta con la terminal de la entrada no inversora amplificador y, asimismo, la salida en línea recta con terminal de salida. Lo cual, es recomendado para evitar que se debilite la señal. Además, se siguieron las configuraciones y recomendaciones de los fabricantes en los circuitos amplificadores, colocando los capacitores de desacoplo próximos a los pines de alimentación (ver figura 35).

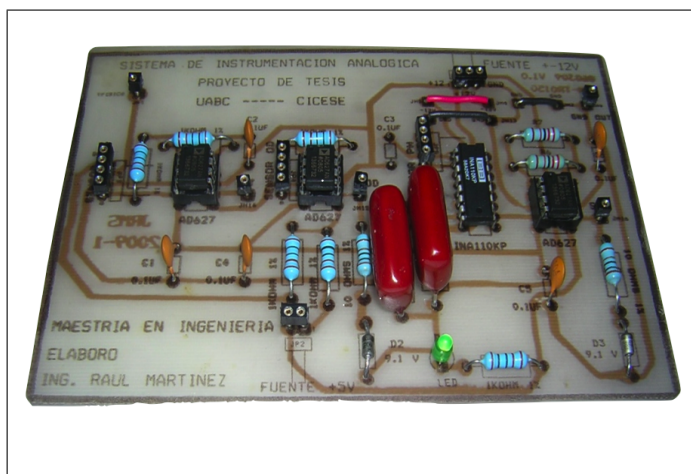


Figura 35. Sistema de instrumentación analógica en tablilla de circuito impreso.

3.7. Integración de módulos analógicos

La presente sección muestra el proceso de integración de la etapa física del sistema, es decir, la instrumentación analógica. Es la parte donde interactúan los sensores con el tanque, a su vez, los sensores con la etapa de acondicionamiento de señal y, ésta, proporciona señales adecuadas para la tarjeta de adquisición de datos.

El procesamiento se refiere al programa desarrollado en el software *LABview 7.0* para la presentación y almacenamiento de los datos, el cual se describió anteriormente.

3.7.1. Integración del sistema

Para la integración del prototipo, se comenzó por colocar el sistema de instrumentación analógica en tablilla de circuito impreso.

Por otra parte, se adquirió la fuente de alimentación *HTAA-16W-AG* (ver figura 36) para energizar al sistema, la cual se eligió de acuerdo a los requerimientos en voltaje ($+5 V_{DC}$, $-12 V_{DC}$ y $+12 V_{DC}$) de la tablilla de circuito impreso.

Como parte de la etapa de acondicionamiento de señal se adquirió un *cable blindado* calibre *22 AWG* par trenzado blindado con cubierta exterior de PVC. El cable consta de 3 pares trenzados con blindaje individual, cada par correspondiente a cada una de las señales de salida del sistema de instrumentación analógica (T , OD , pH). Tanto en las terminales del cable blindado como en las terminales de cada sensor, se utilizaron conectores *serie 400* de *BUCCANEER*, los cuales son a prueba de agua,



Figura 36. Fuente de voltaje *HTAA-16W-AG* ($+5V, \pm 12V$) montada en el Gabinete *SIA*.

especiales para este tipo de aplicaciones.

Dado que el ambiente al que está expuesto el sistemas es h stil, se colocaron las etapas construidas e integradas en dos gabinetes previamente adecuados para protección de las mismas (ver figura 37 y 38) y la figura 39 muestra el gabinete SIA con los sensores y cable de salidas conectados.



Figura 37. Gabinete de adquisición de datos con sus conectores hembra.



Figura 38. Gabinete S/A.



Figura 39. Gabinete S/A con los sensores y cable de salida conectados.

De manera que el sistema final consta de un gabinete, color negro, el cual contiene una fuente de alimentación (*HTAA-16W-AG*) y el *sistema de instrumentación analógica*. El sistema esta construido, con conectores externos tanto para la alimentación como para los sensores y señal de salida, además del fusible de protección. En la parte frontal está colocado un led indicador de encendido. Todo esto, como parte física de interfaz entre el software y los sensores en el tanque a monitorear.

3.8. Pruebas

En este apartado se presentan las pruebas realizadas con el sistema de instrumentación analógica así como el procesamiento digital de las señales en la computadora. Primero se muestran las pruebas con el sistema analógico y posteriormente el procesamiento de éstos en la computadora y su presentación en pantalla, así como, el almacenamiento de éstos en un archivo.

3.8.1. Medición de niveles de voltaje de T , OD y pH

Para comprobar que el sistema se encontraba funcionando adecuadamente, se realizaron las mediciones de los tres sensores (T , OD y pH) para verificar si las lecturas se encontraban en los niveles calculados, correspondientes a su curva de ajuste. Se conectó el sistema, en la plantilla de pruebas o protoboard, directamente a la interfaz TB-8 (ver figura 40). Así mismo se conectó el sistema hacia a la PC, donde se encuentra el programa de interfaz gráfica para procesar las mediciones de cada uno de los sensores.

Posteriormente, una vez conectado el sistema de la manera antes descrita, se realizaron las mediciones correspondientes a cada canal y se verificaron que las lecturas fueran las mismas. Lo anterior, con el objetivo de que las señales detectadas por los sensores sean transmitidas satisfactoriamente hacia la PC y, que al momento de desplegar los datos en pantalla sean útiles para el monitoreo. La conexión del sistema analógico se presenta la figura 41.

También se realizó la metodología descrita anteriormente pero agregándole una variante,

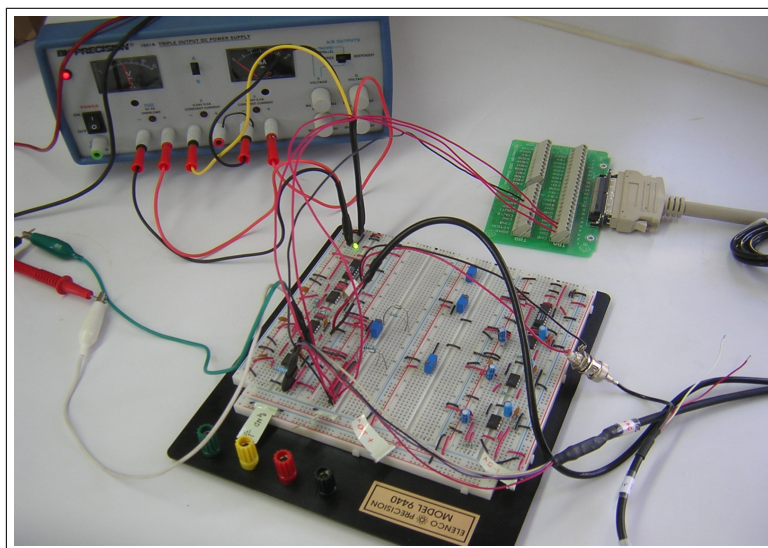


Figura 40. Sistema en plantilla de pruebas conectado a la interfaz TB-8.

la conexión del sistema en una plantilla de pruebas hacia la interfaz $TB - 8$ se hizo por medio de un cable blindado de 30 m. Esto para verificar en laboratorio que las señales fueran transmitidas hacia la PC y no hubiera atenuación de la señal, la cual fue de aproximadamente 20 mV de la señal de origen.

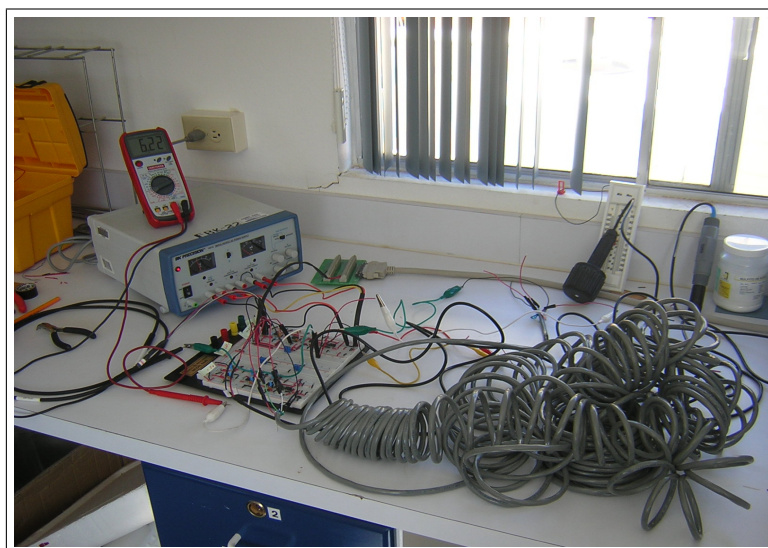


Figura 41. Sistema de pruebas conectado a la interfaz TB-8 con un cable blindado de 30m.

3.8.2. Prueba de pH en laboratorio, con cambios abruptos

En esta prueba, se sometió al sensor de pH a cambios abruptos para observar si el sensor seguía a la señal de referencia del *phmetro digital HANNA* de referencia. Lo anterior, se llevó a cabo mediante el siguiente procedimiento:

Procedimiento para prueba de pH con cambios abruptos:

- Primero, se verificó que el ácido clorhídrico no hiciera reacción con el hidróxido de sodio, reactivos utilizados para llevar a cabo esta prueba.
- Se tomó un recipiente y se colocó en 800 ml de agua destilada con un $pH = 7$, (ver figura 42).
- Posteriormente se sumergió el sensor de pH y se dejó unos minutos para la estabilización de su lectura.
- Con unas pinzas se tomaron los pedazos de hidróxido de sodio y se fueron agregando al recipiente hasta obtener una solución básica $pH = 12.2$, (ver figura 43).
- Con un gotero de 1ml, se agregaron gotas de ácido clorhídrico hasta tener una solución muy ácida $pH = 1.3$, (ver figura 44).
- Tomando en cuenta estos los efectos de manipular la solución para ubicar a ésta en niveles extremos de basicidad y acidez, además de hacer otras variantes en la forma de pasar de un nivel de pH a otro, a lo largo de un período de 5 horas. Cabe resaltar, que la configuración electrónica del sistema está diseñada para las lecturas descritas en las especificaciones técnicas de este proyecto. Por esta razón

la señal no llega hasta los niveles máximos a los que fué sometido el sensor, ya que la configuración cuenta con unos limitadores de voltaje. Con esto se evita dañar la tarjeta de adquisición de datos.



Figura 42. Prueba en laboratorio de pH con modificación abrupta de pH , de ácido a básico.

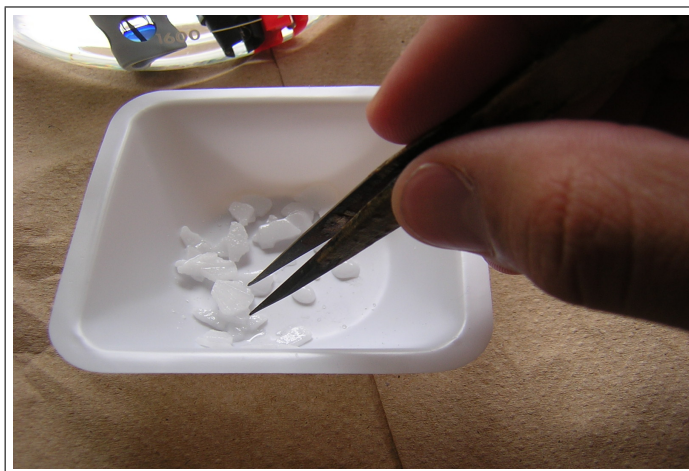


Figura 43. Toma de hidróxido de sodio para hacer básica la solución.



Figura 44. Se añade 1 ml de ácido clorhídrico para hacer ácida la solución.

3.8.3. Medición de niveles en campo de los sensores a la PC

En esta prueba se sometió el sistema a un ambiente de medición real, donde posteriormente sería instalado. El sistema se colocó cerca del tanque que se desea medir. Se realizaron las conexiones de los sensores hacia el sistema y del sistema hacia la PC (ver figura 45). Con ello se verificaron que las lecturas llegarán satisfactoriamente hasta el laboratorio con una ubicación de 25 m aproximadamente de la plataforma de investigación.

3.8.4. Mediciones del gabinete (*SIA*) hacia a la PC.

Una vez probado el prototipo del sistema en campo, se procedió a su integración en el sistema final, para así poder realizar períodos más largos de prueba y observar el desempeño del sistema.

En el figura 46, se puede apreciar cómo se realizan las conexiones en el gabinete del sistema de instrumentación analógica y en la figura 47 se ve la conexión en el gabinete

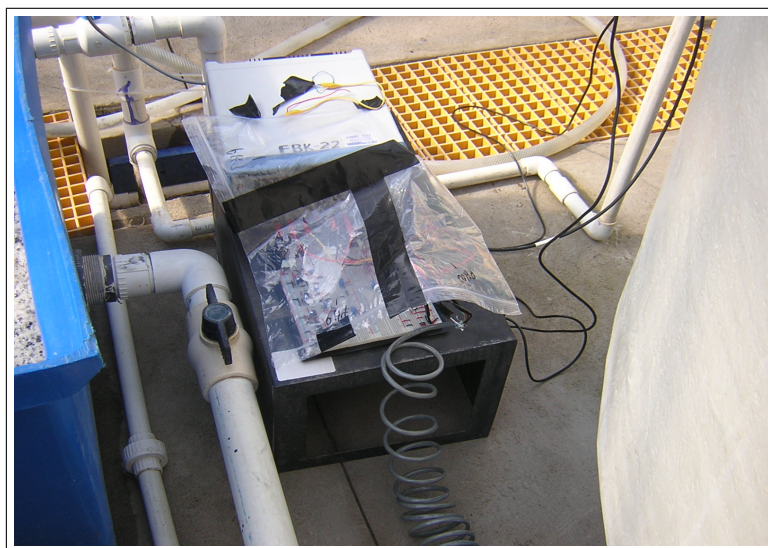


Figura 45. Sistema prototipo conectado a la interfaz TB-8.

TB-8 de interfaz de la tarjeta de adquisición.

Se probó el sistema para verificar que las configuraciones funcionaran adecuadamente, así como los algoritmos programados para la conversión de las lecturas de volts a las unidades de medición de temperatura, oxígeno disuelto y pH , en los canales 0, 2, 4 respectivamente. Con esto se corroboraron los niveles con las curvas de ajuste calculadas y se verificó que el sistema realizaba un monitoreo de estas variables, de una manera adecuada y satisfactoria.



Figura 46. Conexión del cable de salida hacia el gabinete (S/A).



Figura 47. Gabinete TB-8 conectado a la PC.

3.8.5. Mediciones de períodos mayores a 5 horas

Con las pruebas antes descritas, se tuvo las herramientas y las bases necesarias para realizar pruebas de mayor duración, para observar el comportamiento del sistema durante un período más largo de tiempo. Además, de poder observar la evolución del sistema durante el día, con cambios tanto en las condiciones del ambiente dentro del invernadero, como en los cambios físicos, químicos y biológicos en el tanque, que pudieran afectar las lecturas.

Se detectó para el caso del sensor de pH , que sus lecturas se modificaban abruptamente cuando se presentaba ruido eléctrico en la plataforma de investigación. Este problema se resolvió modificando la configuración electrónica para su acondicionamiento con una configuración que refuerza la señal del sensor y además elimina la señal de ruido. Esto se logró con un amplificador diferencial, teniendo cuidado de preservar la ganancia anterior. En la figura 48 se cómo se registraban las lecturas de referencia en el tanque.

En la figura 49 se pueden apreciar los sensores de referencia, la bitácora y el sistema de instrumentación analógica instalados en la plataforma de investigación. En la figura 50 se muestra al sistema funcionando en la plataforma durante los períodos mayores a 5 horas en campo.



Figura 48. Medición de pH en el tanque con el pHmetro digital HANNA.



Figura 49. Sistema conectado e instalado, en la plataforma de investigación.

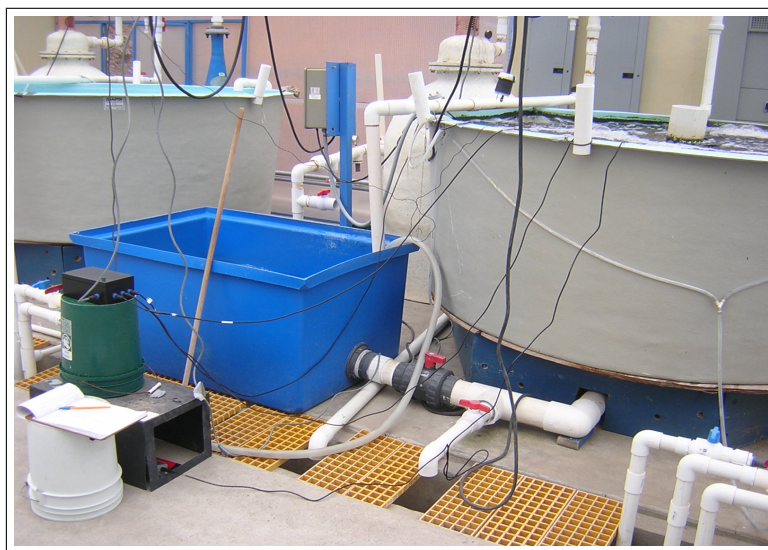


Figura 50. Sistema funcionando en la plataforma de investigación.

3.9. Medidas de seguridad

En esta sección se dan algunas recomendaciones en el manejo del sistema, instalación, protección del sistema y para la seguridad de los usuarios.

Una parte importante que se debe tomar en cuenta es la instalación de una tierra física (ver figura 51). La tierra física es una protección contra descargas inesperadas y contribuye a la eliminación del ruido inducido hacia el sistema de monitoreo.

El manejo constante de agua en las instalaciones de la plataforma de investigación, es una causa potencial de accidentes al contar con equipo eléctrico y electrónico en las instalaciones. Esto se contempló en el diseño del sistema por lo que se colocó al sistema en un gabinete de plástico; además se le incorporaron conectores *a prueba de agua* y también una guía de conexión para evitar una inadecuada conexión del sensor en su conector hembra. Así se previene algún tipo de falla electrónica dentro del sistema.

Por otra parte, también se cuenta con un cable blindado con forro gris de PVC de protección, que además de ser resistente a los rayos UV, provee seguridad y protección a las señales de salida.

Se recomienda verificar que el sistema se encuentre apagado antes de realizar cualquier conexión y manejar los gabinetes con las manos secas.

Es importante tener en cuenta que antes de encender del sistema, primero se tienen que conectar los sensores al gabinete de instrumentación analógica y, posteriormente se energiza el sistema. Después se debe inicializar el programa en la PC. Por último, antes de activar el almacenamiento de los datos se verifica que la frecuencia de almacenamiento sea el deseado y que las direcciones de almacenamiento sean las correctas.



Figura 51. Tierra física instalada cerca de la plataforma de investigación.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas de campo realizadas al sistema integrado expuesto en el capítulo anterior (también llamado sistema bajo prueba o simplemente SBP). En esta sección también se describen algunas consideraciones hechas durante las pruebas.

La exposición de los resultados se hacen en el siguiente orden. Inicialmente se presentan los correspondientes al parámetro de temperatura, para seguir con los obtenidos para el oxígeno disuelto y finalmente con los correspondientes del parámetro de pH . Cabe mencionar que el orden antes indicado sólo es por motivos de exposición ya que el sistema realiza la medición de los tres variables al mismo tiempo. Un punto a resaltar, además del anterior, es el que en todas las pruebas se tenían presentes en los tanques de cultivo tanto los sensores del SBP como otros sensores comerciales para realizar la comparación.

4.1. Medición y monitoreo de temperatura

Para las pruebas de medición y monitoreo de la temperatura en el tanque de cultivo se colocaron tanto el instrumento de referencia como el sensor del sistema instrumentado. Al inicializar el sistema, éste realiza una calibración para ajustar y compensar

las condiciones ambientales.

Hecho lo anterior, a través de la interfaz gráfica se realizó un monitoreo de 4 horas como prueba inicial cuyo resultado se presenta en la figura 52. De la gráfica se observan dos curvas, una en línea continua (SBP) y otra en línea continua con puntos (instrumento de referencia). De estas gráficas se puede resaltar que el SBP da una medición constante que no dista de las obtenidas por los instrumentos de referencia. El SBP tomaba una muestra cada 20 segundos, para después promediarse cada 10 minutos, en posprocesado. Del instrumento de referencia se ven transiciones abruptas, las cuales se deben a la resolución que presenta dicho instrumento, que es de décimas de grado centígrado.

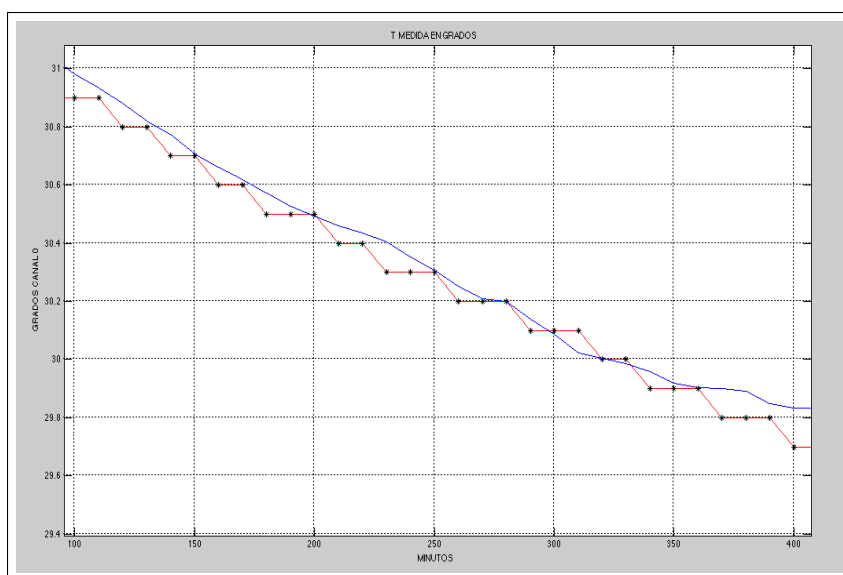


Figura 52. Monitoreo de temperatura durante 4 horas.

La figura 53 muestra las lecturas del SBP y del instrumento de referencia por 12 horas. Al igual que en la prueba inicial se tienen que ambos instrumentos presentan un comportamiento prácticamente idéntico. Para la prueba de 24 horas se agregó un segundo

instrumento de referencia. De esta prueba se observa que el comportamiento de los tres sistema es semejante aunque se presentan variaciones entre los tres pero para propósitos prácticos de la aplicación, estas diferencias no son críticas.

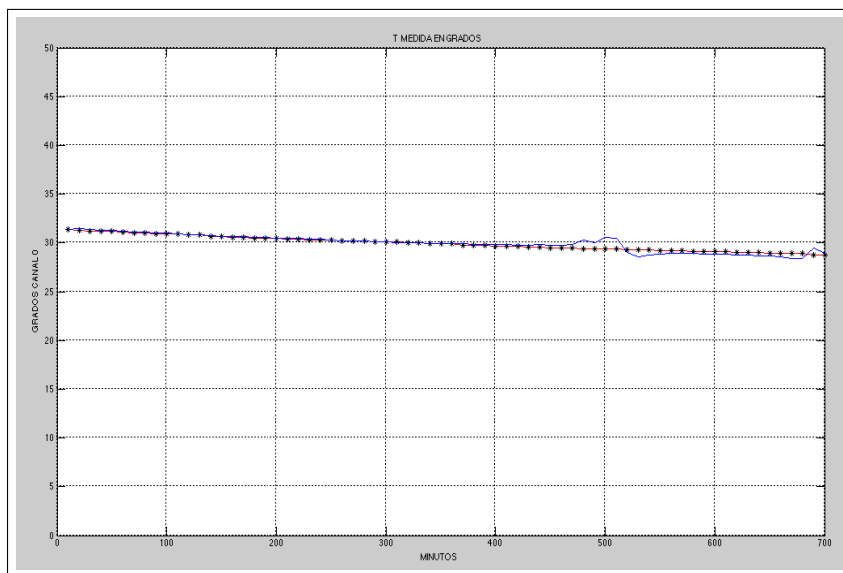


Figura 53. Monitoreo de temperatura durante 12 horas.

Al término de la prueba anterior, se ejecutaron otras pruebas adicionales, una 24 horas y otra de 48 horas, para observar el comportamiento del sistema en periodos de tiempo más largos. Por otra parte, se debe indicar que para la prueba de 12 horas se mantuvieron las mismas condiciones de muestreo antes citadas, pero para las pruebas de 24 horas (ver figura 54) y 48 horas (ver figura 55) el promedio se hizo cada hora.

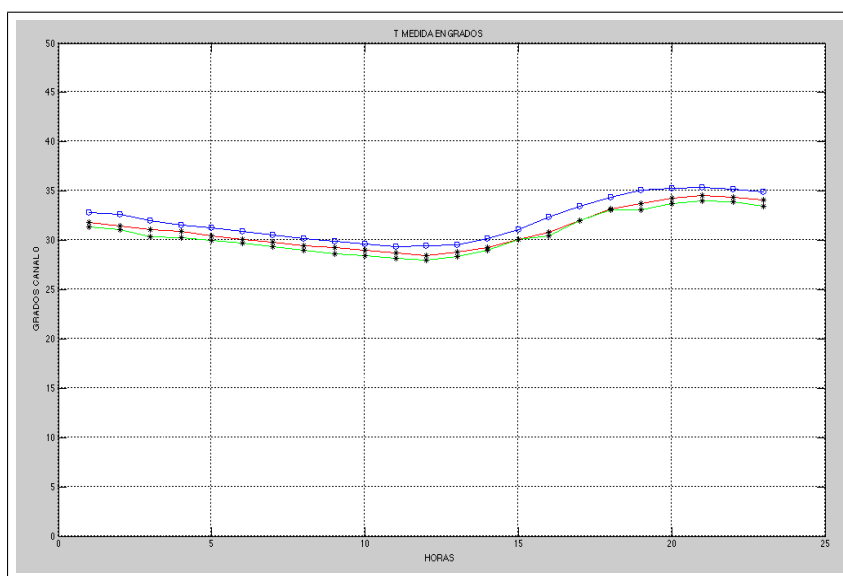


Figura 54. Monitoreo de temperatura durante 24 horas.

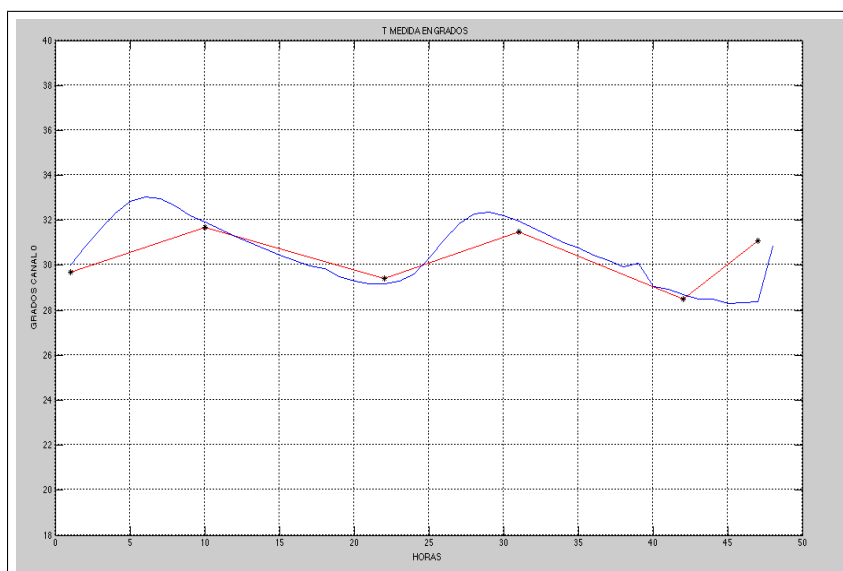


Figura 55. Monitoreo de temperatura durante 48 horas.

4.2. Medición y monitoreo de oxígeno disuelto

En las pruebas de medición y monitoreo de oxígeno disuelto en el tanque de cultivo se colocaron tanto el instrumento de referencia como el sensor del sistema instrumentado. Al inicializar el sistema, éste realiza el cálculo de los niveles de saturación máxima de oxígeno disuelto en el agua. Con este dato se recalcula la curva de ajuste polinomial de acuerdo a la temperatura del tanque. Con ello, se tiene un reajuste dinámico de acuerdo a las variaciones del temperatura del tanque durante las mediciones de oxígeno.

Con lo anterior y a través de la interfaz gráfica se realizó un monitoreo de 4 horas como prueba inicial. Este resultado se presenta en la figura 56. De la gráfica se observan dos curvas, una en línea continua (SBP) y otra en línea continua con puntos (instrumento de referencia). De estas gráficas se puede resaltar que el SBP da una medición constante que no dista del las obtenidas del instrumento de referencia. El SBP tomó una muestra cada 20 segundos, para después promediarse cada 10 minutos, en posprocesado.

Al concluir la prueba anterior, se ejecutaron llevaron a cabo pruebas adicionales, una de 12 horas (ver figura 57), 24 horas (ver figura 58) y 48 horas (ver figura 59), para observar el comportamiento del sistema en periodos de tiempo más extensos. En términos generales el comportamiento del SBP y el sistema de referencia registraron lecturas equivalentes, aunque se aprecian variaciones, éstas no son significativas para la aplicación.

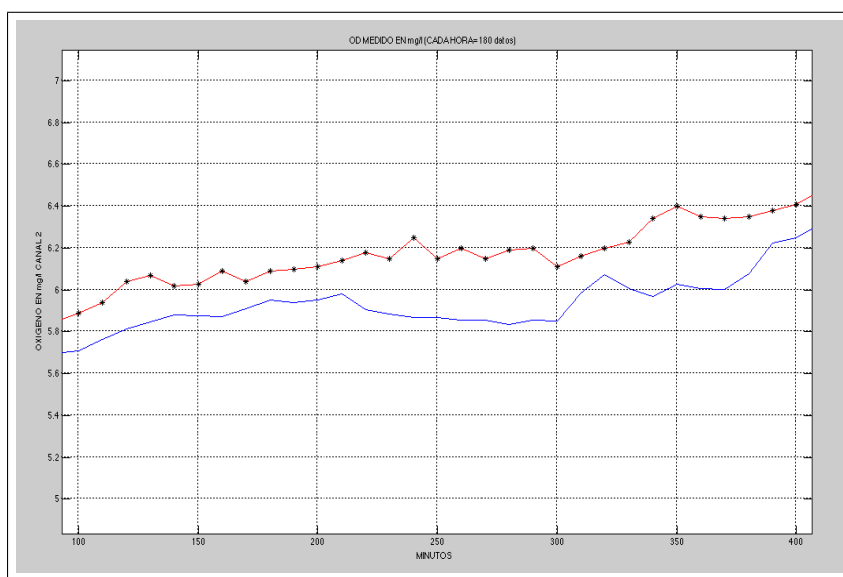


Figura 56. Monitoreo de oxígeno disuelto durante 4 horas.

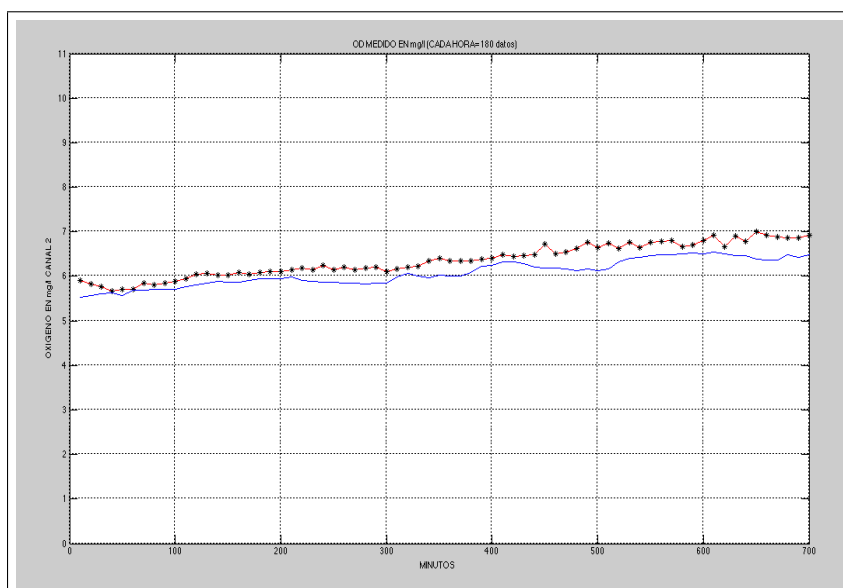


Figura 57. Monitoreo de oxígeno disuelto durante 12 horas.

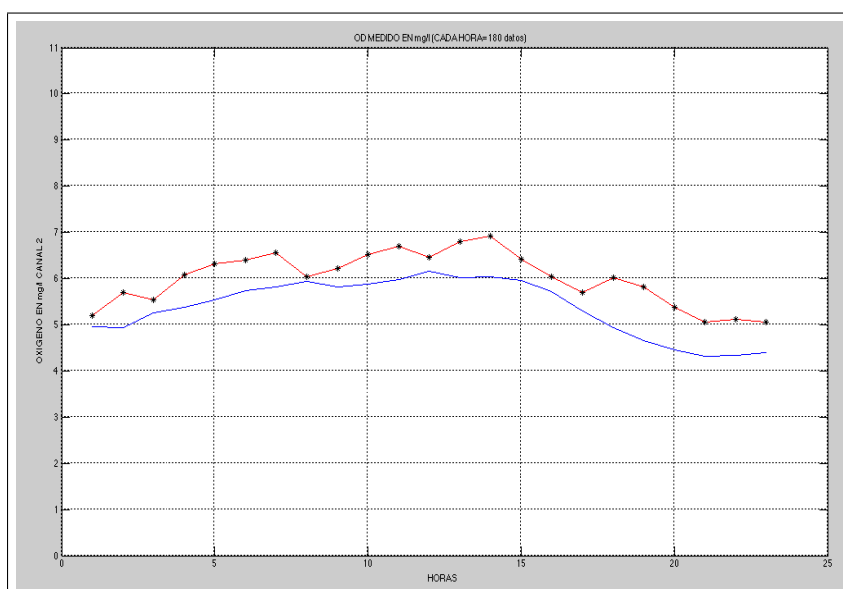


Figura 58. Monitoreo de oxígeno disuelto durante 24 horas

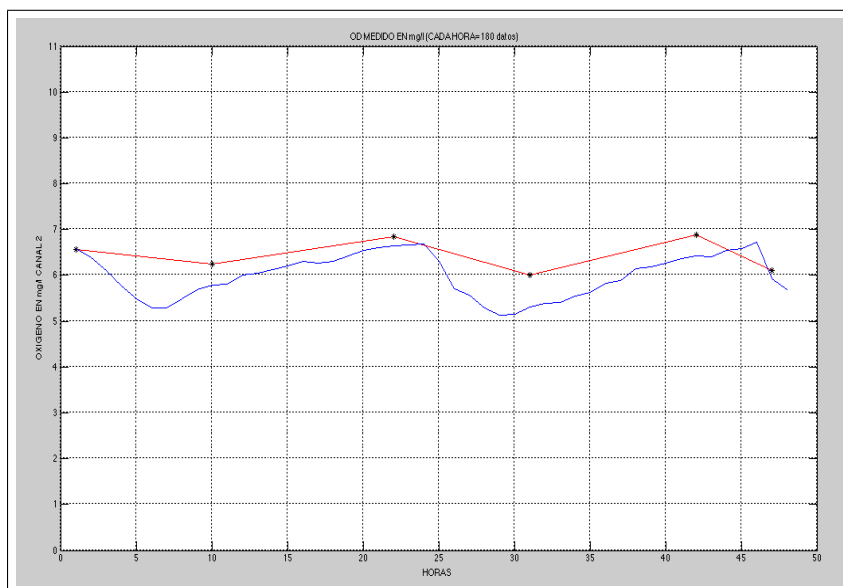


Figura 59. Monitoreo de oxígeno disuelto durante 48 horas.

4.3. Medición y monitoreo de potencial hidrógeno

Por último, para las pruebas de medición y monitoreo de potencial hidrógeno, se siguió la metodología utilizada en las pruebas anteriores.

A través de la interfaz gráfica se realizaron monitoreos de 4, 24 y 48 horas, para este parámetro manteniendo las mismas condiciones de muestreo y promediación, establecidas para las variables de temperatura y oxígeno disuelto.

Durante el monitoreo de 4 horas (ver figura 60) se observa que el SBP (línea continua) y el instrumento de referencia (línea punteada) presentan lecturas con un comportamiento semejante.

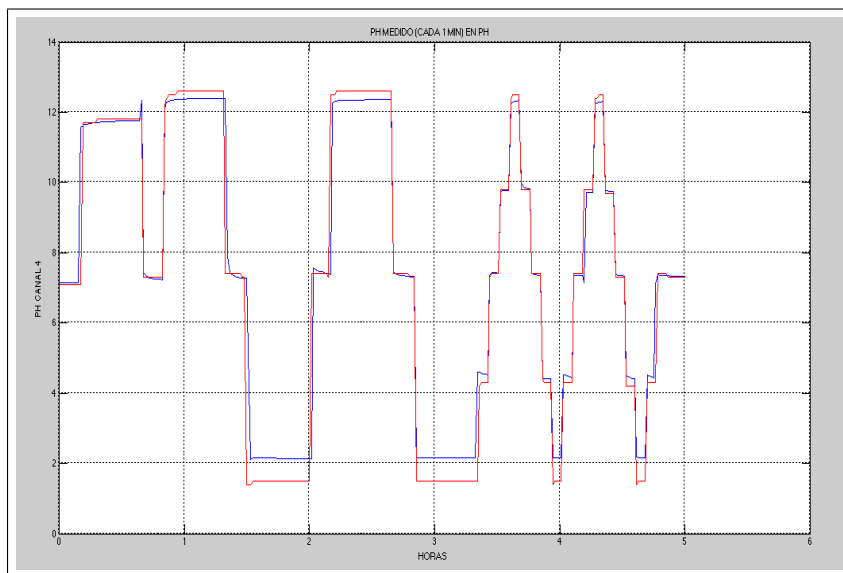


Figura 60. Monitoreo de pH en laboratorio durante 5 horas, en condiciones controladas.

Por otro lado, en las pruebas en campo de 24 (ver figura 61) y 48 horas (ver figura 62) se observó un cambio abrupto y significativo en la medición. Llevando a cabo un análisis de los datos y de las condiciones de campo, se encontró que tales variaciones eran por efecto de una interferencia eléctrica. Así mismo se realizó una revisión en la literatura referente a la medición de este parámetro y se encontró que esta variable es susceptible a interferencia eléctrica. Basado en lo anterior se detectó una interferencia que afecta al sensor de pH [23] [24].

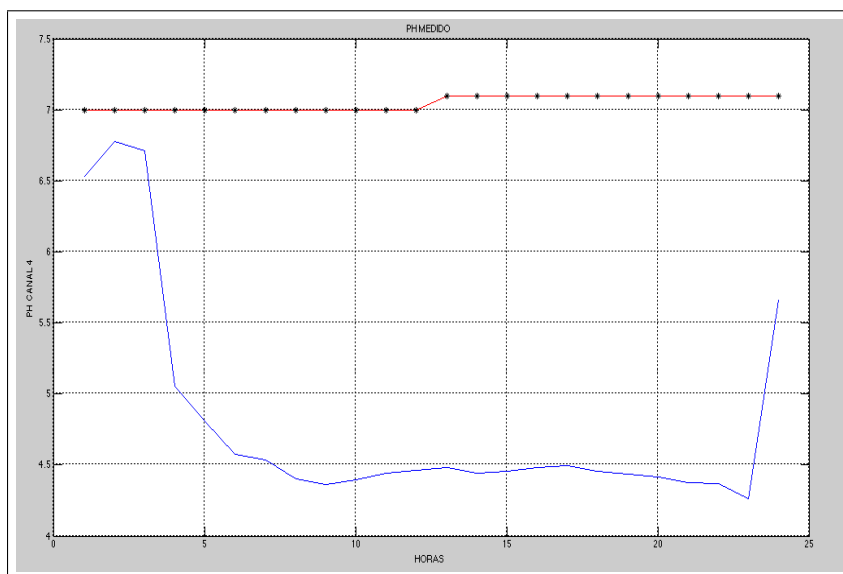


Figura 61. Monitoreo de pH durante 24 horas, en campo, con interferencia.

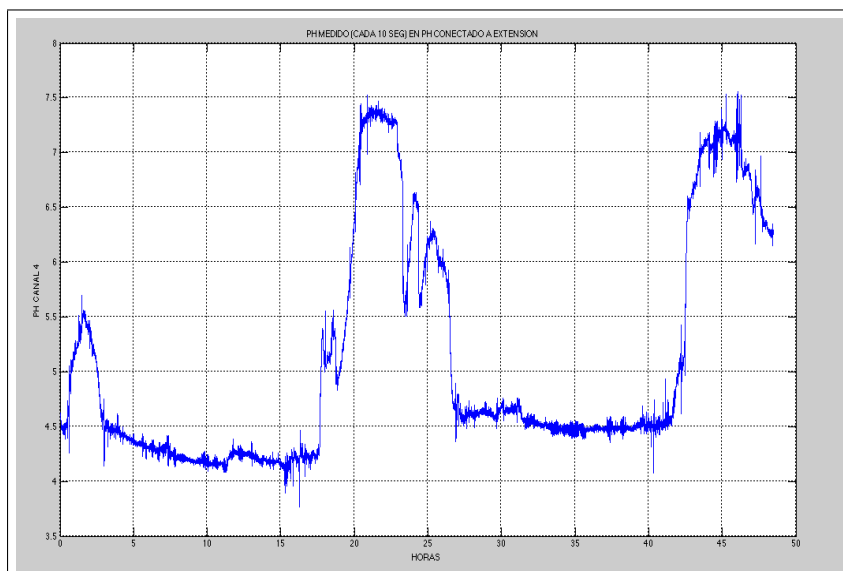


Figura 62. Monitoreo de pH durante 48 horas, en campo, con interferencia.

El efecto descrito se eliminó rediseñando el circuito de acondicionamiento de señal, para el sensor de pH , mediante una configuración en amplificador diferencial [25] [26] [27].

La etapa rediseñada (ver figura 63) consta de tres configuraciones en conjunto, donde la primera corresponde a un amplificador cuya entrada es diferencial y su salida es diferencial, la siguiente etapa es un amplificador diferencial con una ganancia de 10 y por último se agregó un amplificador no inversor para ajustar los niveles de voltaje a los permitidos por la tarjeta de adquisición.

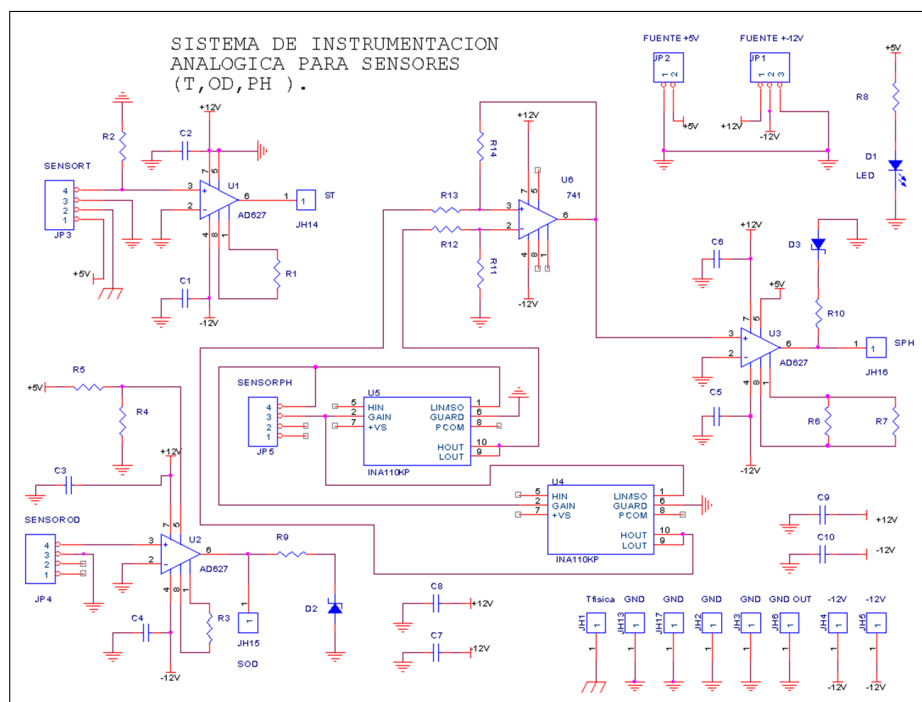


Figura 63. Diagrama esquemático completo, se incluye la nueva configuración para el *pH*.

Haciendo uso de la etapa mejorada se llevaron a cabo monitoreos de 4, 12 y 48 horas (ver figura 64, 65 y 66) bajo las condiciones de monitoreo expuestas en párrafos anteriores. En estas pruebas las lecturas del SBP ya no presentan variaciones por causa de la interferencia, antes citada, y en comparación con el instrumento de referencia estas son equivalentes.

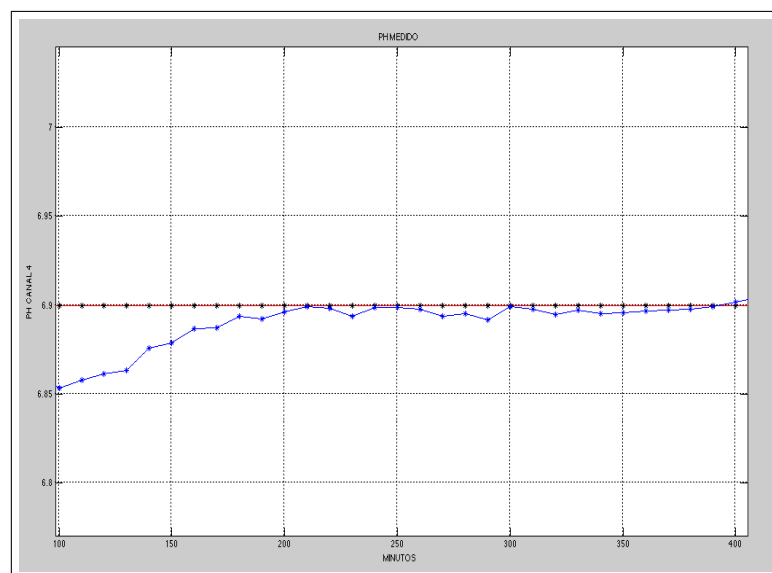


Figura 64. Monitoreo de pH durante 4 horas, en campo, con la configuración mejorada.

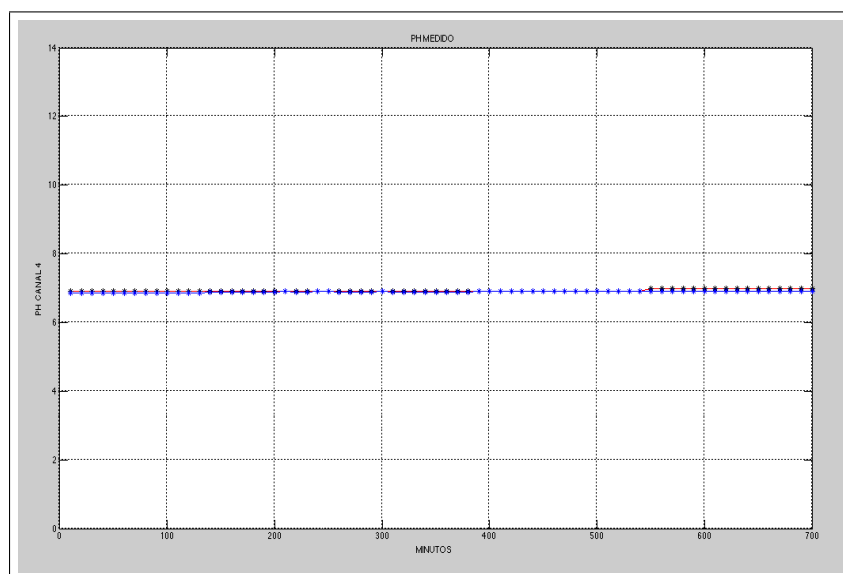


Figura 65. Monitoreo de pH durante 12 horas, en campo, con la configuración mejorada.

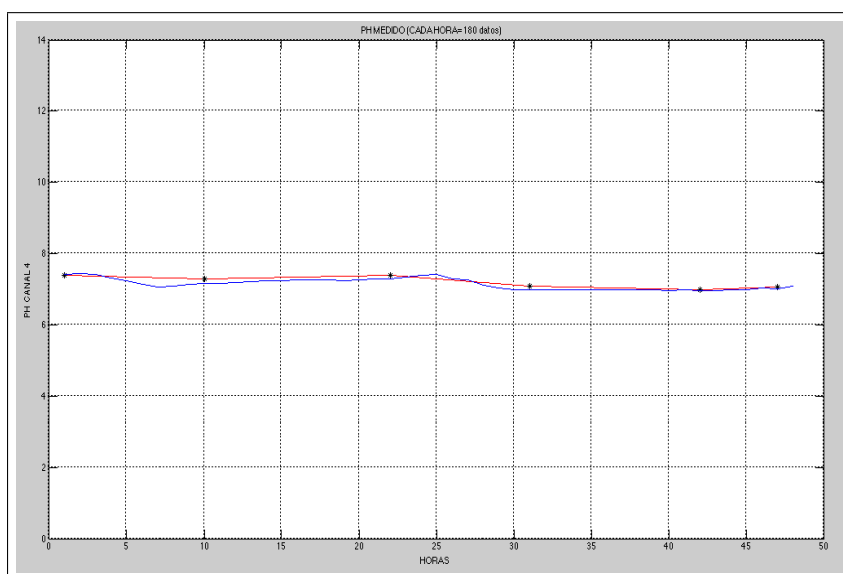


Figura 66. Monitoreo de pH durante 48 horas, en campo, con la configuración mejorada.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones generales

En este trabajo de tesis se ha presentado el diseño, instrumentación, integración y prueba de un sistema electrónico para el monitoreo de temperatura, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno. El cual tiene por objetivo final el apoyar en proyectos de investigación acuícola.

Como resultado del trabajo realizado, se tienen los siguientes productos generados:

- Un sistema que mide la temperatura, oxígeno disuelto y pH , dentro ciertos intervalos establecidos en un tanque de cultivo acuícola.
- Un sistema electrónico que cuenta con dos módulos, uno analógico, y uno de digital. Ambos módulos se empotraron en un gabinete analógico y uno digital, uno lleva a cabo la instrumentación analógica de los sensores y el otro funciona como interfaz entre las señales de salida, a través de un cable blindado a las entradas analógicas de la tarjeta *ADAC/5501MF*, respectivamente.
- Una interfaz gráfica programada en *LABview 7.0*, que realiza el procesamiento, presentación, graficación, activación de alarma y almacenamiento de datos.
- Manuales para el uso del sistema y manuales técnicos para el mantenimiento.

En función de los resultados y el trabajo realizado se llega a las siguientes conclusiones:

- Comparados con instrumentos comerciales para la medición de los parámetros de interés se tiene que el sistema construido cumple con los requerimientos de la aplicación.
- Es posible desarrollar instrumentos de medición y de bajo costo para monitorear sistemas de cultivo acuícola.
- Es importante realizar pruebas de campo de duración prolongada para poder detectar comportamientos y variables externas no contempladas en el laboratorio.
- Antes de adquirir los sensores, es conveniente hacer una evaluación en función de los requerimientos de la aplicación y de las condiciones a las cuales el estará sometido el sistema, para así comprar el sensor que sea más adecuado.
- La tarjeta de adquisición provee a este sistema de una versatilidad significativa, ya que se pueden incorporar más sensores, agregar otros módulos de acondicionamiento y otros dispositivos.
- Es importante el uso adecuado del equipo, protocolos de manejo y el seguimiento de las recomendaciones de operación y seguridad del personal.
- El funcionamiento satisfactorio en campo de instrumentos de medición, provee la motivación para continuar desarrollando este tipo de sistemas.

5.2. Trabajos futuros

Como trabajo futuro sobre este proyecto, se plantean los siguientes aspectos para mejorar el desempeño del sistema antes expuesto:

- Hacer un nuevo diseño específico e integrado en un gabinete contenedor para tener una mejor protección y reducción en su tamaño.
- Mejorar el diseño en PCB del circuito impreso.
- Modificar el diseño para que se pueda ser utilizar con un microcontrolador.
- Construir una versión inalámbrica del sistema.
- Incorporar más sensores al sistema.

REFERENCIAS

- [1] YSI Environmental Monitoring. <http://www.ysi.com/>, enero, 2009.
- [2] HANNA Instruments. <http://www.hannainst.com/>, febrero, 2009.
- [3] Campbell Scientific Inc. <http://www.campbellsci.com/documents/manuals/108.pdf>, febrero, 2009.
- [4] Sensorex. <http://www.sensorex.com/>, febrero, 2009.
- [5] Celda Galvanica. [www.tecnavin.com/imagenes/ rice/tnl45-1sp.jpg](http://www.tecnavin.com/imagenes/rice/tnl45-1sp.jpg), marzo, 2009.
- [6] Inc. Aquatic Eco-Systems. <http://www.aquaticeco.com/subcategories/1878/in-line-submersible-ph-electrode/oakton/0>, abril, 2009.
- [7] OAKTON. <http://www.4oakton.com/>, febrero, 2009.
- [8] Iotech. <http://www.iotech.com/>, noviembre, 2008.
- [9] HP. <http://www.hp.com/>, noviembre, 2008.
- [10] Lekang Odd-Ivar. *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing. Primera edición. United Kingdom. 304 pp. ISBN : 978-1-4051-2610-6, 2007.
- [11] Miranda. La acuicultura y su entorno: productivo, ambiental, socioeconómico y normativo, tesis de maestría. Master's thesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2002.
- [12] CONAPESCA. Creció 26.5% la producción acuícola en la presente administración. *Panorama Acuícola*, 2006.
- [13] Timmons, Michel B. *et al. Recirculating Aquaculture Systems*. Cayuga Aqua Ventures. printed in the United States. 767 pp. ISBN: 0-9712646-1-0, 2002.
- [14] Landau, M. José. *Introduction to Aquaculture*. John Wiley & Sons. Primera edición. USA. 440 pp. ISBN: 0-471-61146-8, 1992.
- [15] Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española*. Espasa- Calpe. Vigésima primera edición. Madrid, España. 1513 pp. ISBN: 84-239-4399-2, 1992.
- [16] Stickney, R.R. *Aquaculture and Introductory Tex*. CABI Publishing. Primera edición. USA. 265 pp. ISBN: 0851990819, 2005.
- [17] Eaton Andrew D. Clesceri Lenore S., Greenberg Arnold E. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA, AWWA, WEF, USA. 4-129 a 4-130 p, 1998.

- [18] Estanques y Peces. <http://www.estanquesypeces.com/>, octubre, 2007.
- [19] Domingo Biel, Manuel Antoni, Jordi Frat Olive. *Instrumentación Virtual. Adquisición, Procesado y Análisis de Señal*. Alfaomega. Primera edición. Barcelona, España. 373 pp. ISBN: 970-15-0777-0, 2002.
- [20] Analog Devices. <http://www.analog.com/>, abril, 2009.
- [21] Burr-Brown. <http://www.burr-brown.com/>, abril, 2009.
- [22] Vázquez A. Erika. Sistema de monitoreo y control de cultivos de especies marinas SIMON, tesis de maestría. Master's thesis, Universidad Autónoma de Baja California, 2005.
- [23] Cole Palmer. <http://www.coleparmer.com/techinfo/techinfohome.asp>, mayo, 2009.
- [24] Josep Balcells, Francesc Daura, Rafael Esparza, Ramón Pallás. *Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos*. Alfaomega. Primera edición. México, D. F. 421 pp. ISBN: 968-6223-87-8, 1992.
- [25] Pallás Areny Ramón, G. Webster John. *Sensor and signal condictioning*. John Wiley Sons. Segunda edición. New York, USA. 587 pp. ISBN: 0-471-33252-1, 2001.
- [26] Rivera Mejía, José. *Instrumentación*. Trillas. Primera edición. México, D.F. 232 pp. ISBN: 978-968-24-7643-3, 2007.
- [27] Mandado Enrique, Mariño Perfecto, Lago Alfonso. *Instrumentación Electrónica*. Alfaomega marcombo. Primera edición. México, D.F. 261 pp. ISBN: 970-15-0151-0, 1995.

APÉNDICE A

ANEXOS

A.1. Construcción

A.1.1. Circuito impreso

Para llevar a cabo la construcción de la tarjeta de circuito impreso del sistema de instrumentación analógica, fue necesario manejar una herramienta para su diseño en computadora, *CAD*. Para tal propósito se utilizó el software *ORCAD 9.0*, programa para el diseño de diagramas electrónicos esquemáticos y diagramas en *PCB*, (*Printed Circuit Board*), tarjetas de circuitos impresos. A continuación se presenta un *GuíaRápido* sobre como diseñar tarjetas de circuitos impreso en este software.

MANUAL RÁPIDO DE *ORCAD 9.0*

Pasos para pasar al LAYOUT PLUS en ORCAD 9.0.

Una vez diseñado el diagrama esquemático en CAPTURE CIS. Se minimiza la ventana del esquemático y se selecciona la ventana de Project Manager o, la que tiene el nombre del proyecto en que se este trabajando.

Se selecciona Nombre del proyecto en SCHEMATIC click en PAGE 1 click en Nombre del esquemático.

Una vez seleccionado el esquemático, en la pestaña de nombre TOOLS dar click en Design Rules Check, para checar los errores, aparece una ventana de diálogo y se le da aceptar. Si hay errores aparece otra ventana de diálogo, la cual, preguntará si se quiere ver los errores, Se debe hacer esto hasta que no haya errores, si son WARNINGS se puede generar el NETLIST, pero cabe resaltar que no lo deja compilar si son ERRORES.

Seleccionar el esquemático, ir a la pestaña de TOOLS click en CREATE NETLIST, este genera un archivo con extensión MNL, el cual es utilizado por el LAYOUT PLUS. Aquí, al dar click, aparece una ventana de diálogo con varias pestañas, se debe seleccionar la de nombre LAYOUT.

BROWSE: Se da click en browse para seleccionar el lugar o carpeta donde se desea guardar, tiene que ser el MISMO lugar donde se encuentra el SCHEMATIC. (Recomendación, hacer una carpeta por proyecto). Dar click en ACEPTAR, aparecerá en el Project Manager en el apartado de OUPUTS, es decir, las salidas de esquemático, aqui se crean varios archivos, pero el que va a leer el LAYOUT es el archivo con el nombre del proyecto y con extensión MNL.

Nota: Viene preseleccionada una opción, de pulgadas o milímetros, esta generalmente causa problemas en el LAYOUT, si no se generó adecuadamente el archivo MNL (se sabe porque no se abra nada en el LAYOUT), sólo abría que cambiar esta opción en la que se encuentra a la otra disponible.

Con estos pasos, ya se generó el archivo MNL, por lo cual, se puede minimizar o cerrar el programa CAPTURE CIS, donde se diseño el diagrama esquemático.

LAYOUT PLUS

En LAYOUT PLUS realizar los siguientes pasos:

FILE Click en NEW , aquí aparece una ventana de diálogo Load Template File.

Dar click en la carpeta de DATA y seleccionar el archivo DEFAULT.TCH y dar click en ABRIR.

Aparece una ventana de diálogo Load Netlist Source. Aquí se debe de ubicar el archivo NETLIST que se generó en el CAPTURE CIS, con la extensión MNL. Normalmente se encuentra en la carpeta CAPTURE, click en la carpeta en donde se guardo el proyecto para buscar el archivo con la extensión MNL seleccionar y ABRIR.

De nuevo aparece otra ventana de diálogo Save File As. Generalmente es el mismo nombre del archivo en mayúsculas, lo asigna solo, sólo hay que elegir la carpeta del proyecto, para que todo se encuentre en la misma dirección.

Procesa y aparece, una ventana de diálogo Link the footprint. Esto es para asignarle una huella (la huella, toma en cuenta las dimensiones de las terminales del componente) y es asignada a cada componente del circuito. Aquí se debe de observar bien que la

huella que se asigne corresponda ó sea adecuada para cada componente.

Algunos ejemplos:

La huella de 1 resistencia ó 100 resistencias, es decir, si se tienen en el circuito 100 resistencias, aunque sean de diferentes valores su huella es la misma. Para las resistencias comúnmente se utiliza la librería **TM- AXIAL**.

- **R de 1/4 W** su huella podría ser: **AX/.450X.100/.034.**
- **R de 1/2 W** su huella podría ser: **AX/.650X.175/.040.**

La huella de un amplificador operacional o de instrumentación se encuentra en la librería **DIP100T**.

- **textbf8 pines**, su huella podría ser: **DIP.100/8/W.300/L.450.**
- **16 pines**, su huella podría ser: **DIP.100/8/W.300/L.950.**

Algunas de las librerías comúnmente utilizadas **LIBRERIAS:**

- **TM-CAP-P:** Librería para los capacitores polarizados.

- **TM- DIODE**: Librería para los diodos.
- **HEADERS** : Librería para los conectores de chasis, tipo peine.
- **VRES**: Librería para los potenciómetros.
- **RELAY**: Librería para los Relevadores.

Después de que todas las huellas de los componentes son asignadas, se cargan todos los componentes en la pantalla.

En la barra de herramientas se selecciona la herramienta OBSTACLE TOOL, la cual, sirve para dibujar un contorno con las dimensiones que se desea construir la tablilla de circuito impreso.

Se da un click y comienza a pintar una línea amarilla. En la parte inferior, va indicando la distancia total en Y, por ejemplo, $DY = 5000$, una vez que se determine la dimensión, deseada, verticalmente en Y. Se da otro click para dibujar la parte horizontal, en X, por ejemplo la distancia total en X, por ejemplo, $DX = 7000$ o puede hacerse de manera inversa, primero X y luego Y. Al terminar de dibujar en la intersección dar click derecho y dar click en END COMMAND. Con esto tenemos el contorno a las dimensiones deseadas.

Posteriormente, verificar que la herramienta DRC se encuentre desactivada y, activar la herramienta COMPONENT TOOL, después se selecciona cualquier componente y posteriormente se desplaza hasta colocarlo dentro del contorno, previamente dibujado. Con la letra R, en el teclado, se puede rotar el componente. al colocarlo donde se desea, dar click derecho (sin dejar de seleccionarlo), aparecen varias opciones seleccionar LOCK o simplemente presionar la letra L en el teclado.

Una vez que se han colocado uno o varios componentes dentro del contorno, en la barra de menú, dar click en PLACE y luego en BOARD, este comando coloca los componentes adentro del contorno, dejándolos listos para posicionarlos donde el diseño lo requiera.

Aquí, los componentes se distribuyen en la placa de una forma general y en desorden. Es recomendable acomodar los componentes estratégicamente donde tentativamente pudieran quedar. También, se puede reubicar el Texto de cada componente; con la herramienta TEXT TOOL, en la barra de herramientas, esto comúnmente se realiza al final, aunque también es bueno hacerlo al principio para tener una buena visibilidad del diseño.

Antes de comenzar a enrutar, se deben realizar las configuraciones de trabajo y propiedades de conexión.

En la barra de menú seleccionar TOOL luego Layer y después Select From Spreadsheet. Aquí hay que elegir las caras o capas que se desean enrutar. Por ejemplo, si se trabaja a una sola cara o capa se debe de dar click derecho sobre TOP, en la columna de Layer Type y seleccionar la opción UNUSED y dar click en ACEPTAR. y la opción de BOT

debe de estar en ROUTING.

Seleccionar TOOL luego PADSTACK, tamaño de las donas, y después Select From Spreadsheet y luego CANCEL. una vez hecho esto Seleccionar toda la columna de PAD WIDTH, dar click derecho seleccionar PROPERTIES y cambiar a 70 y luego dar OK, automaticamente se cambia la columna de PAD HEAIGHT.

Seleccionar TOOL en la barra de menú y posteriormente NET, tamaño de las pistas, click en Select From Spreadsheet luego CANCEL. Seleccionar toda la columna MIN-MAX click derecho y elegir PROPERTIES, cambiar los valores a 20- 20-20.

En la barra de menú seleccionar OPTIONS luego GLOBAL SPACING , espacio global, y cambiar el valor a 15.

HERRAMIENTAS

- **ADD/EDIT ROUTE MODE** : Herramienta utilizada para enrutar los componentes. Con la letra D en el teclado, se deshace la linea enrutada. Si se da click derecho sobre cualquier pista se pueden observar todas las funciones que se pueden realizar con esta herramienta.
- **EDIT / SEGMENT MODE** : Esta herramienta se utiliza para modificar pistas SIN DESCONECTARLAS, es decir, se modifica su posición pero sin desconectar la pista y volverla a enrutar.

Empezar a diseñar.

PREVISUALIZACIÓN E IMPRESIÓN

Terminado el diseño se da click en **OPTIONS**, en la barra de menú, y se elige **POST PROCESS SETTINGS**. Aquí se debe de elegir la capa que se desea previsualizar.

Comúnmente son, a una capa:

- **AST (Assembly Top Components)**, capa de los componentes (ver figura 67).
- **BOT (Bottom Layer)**, capa de las pistas (ver figura 68).

Se ubica la capa que se desea ver, se selecciona y se da click derecho y se elige **PREVIEW**. una vez en preview se puede mandar a imprimir.

NOTA: La capa de las pistas se imprime normal en el acetato, eligiendo la opción de **CENTER PAGE**,. Pero la capa de los componentes. se imprime seleccionando la opción de **CENTER PAGE** y **MIRROW** en el momento de la impresión.

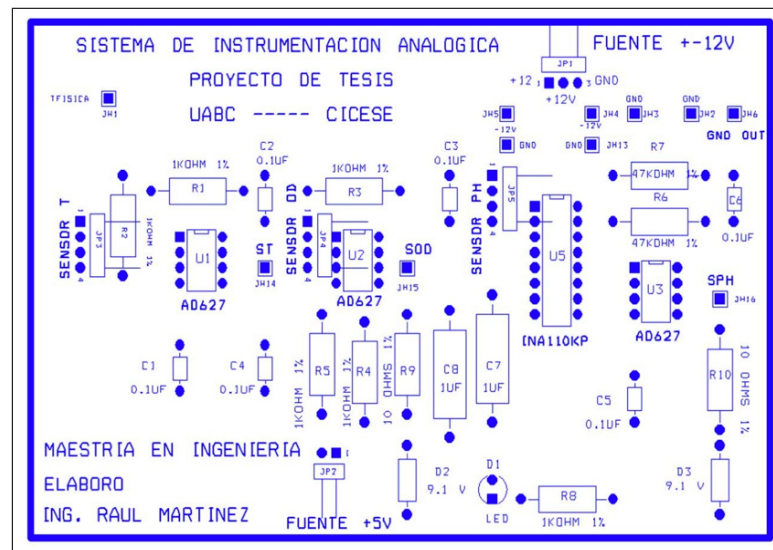


Figura 67. Capa superior del circuito impreso.

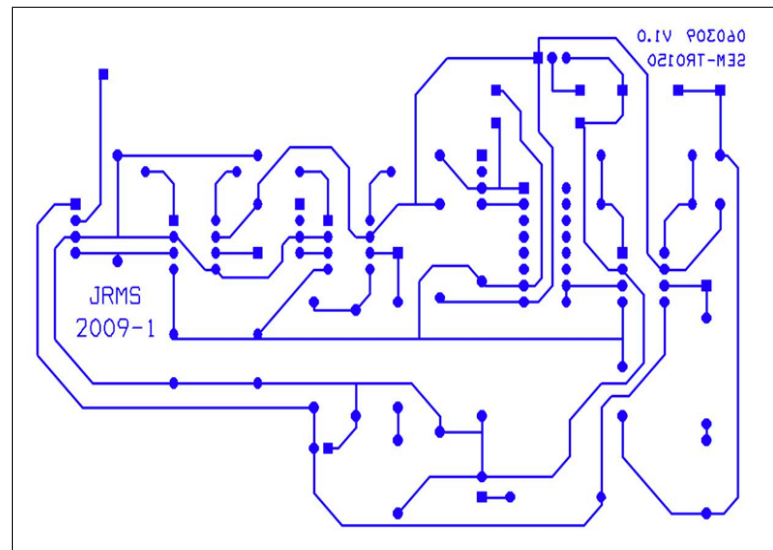


Figura 68. Capa inferior del circuito impreso.

A.2. Programas en *LABview 7.0*

En esta sección se presentan los programas elaborados, figuras 69, 70, 72, 71, 73, para llevar a cabo los algoritmos descritos en este trabajo.

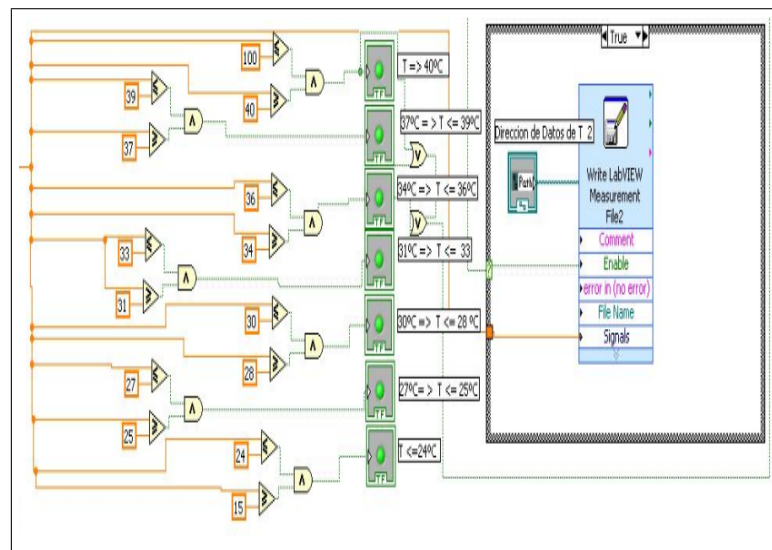


Figura 71. Comparación de los niveles permitidos.

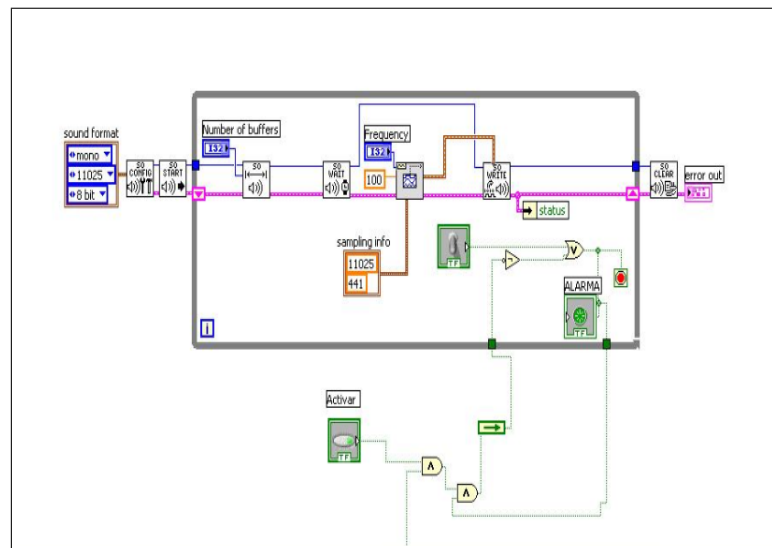


Figura 72. Configuración de alarma.

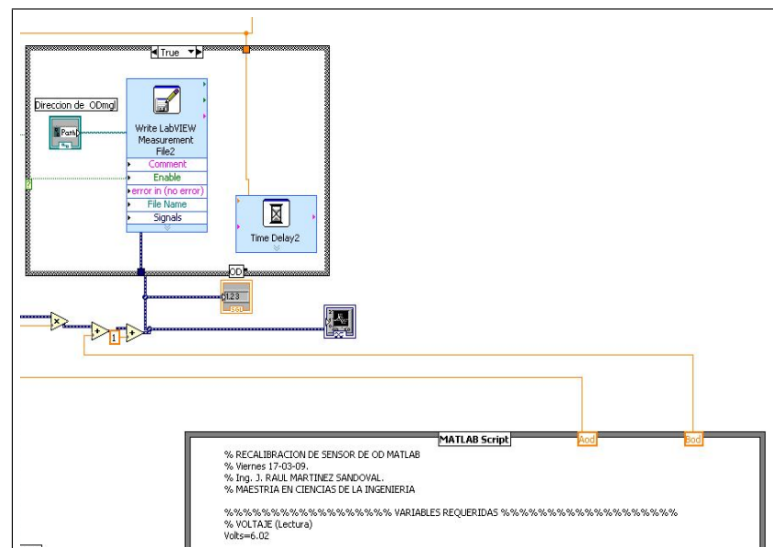


Figura 73. Bloque de *MATLAB script*, para incluir código de *MATLAB*.