



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias

Implementación de un control difuso inalámbrico  
de un sistema experto en granjas acuícolas

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad  
en Instrumentación y control Automático.

**Presenta:**

Ing. David Duarte Correa

**Dirigido por:**

Dr. Gilberto Herrera Ruiz

**SINODALES**

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

MC. Genaro Soto Zarazúa  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

MC. Manuel Toledano Ayala  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

MC. Miguel Ángel Martínez Prado  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

MC. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad

\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Octubre de 2009  
México

## RESUMEN

Este trabajo presenta un esquema de supervisión de variables críticas en la producción acuícola como es la temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez, nivel entre otras. En la producción intensiva acuícola, los sistemas de adquisición y control cableados resultan poco prácticos debido a las distancias que hay que cubrir, que por lo general suelen ser de hectáreas, y tienen un elevado costo. Este sistema muestra el uso de tecnología de alcance comercial aplicada para la medición de parámetros físico-químicos. La administración y control de comunicación lo lleva a cabo una unidad centralizada con ayuda de un computador, que es el módulo de control, vía inalámbrica se comunica con módulos de campo que registran la información de sus elementos de medición, de manera que se forma una red de comunicación entre todos estos módulos, los cuales, se componen principalmente de un microcontrolador programado en lenguaje C y un transceptor inalámbrico.

**Palabras clave:** monitoreo, red microcontrolador y acuicultura intensiva.

## SUMMARY

This work presents a scheme of supervision of variables critical in the aquaculture production as it is the temperature, oxygen dissolved, pH, turbidity, and level, among others. In production intensive, systems of acquisition and control wirings are little practical due to distances which is to cover, that generally usually is of hectares, and have a high cost. This system shows the use of technology of commercial reach applied for the measurement of parameters physical-chemistries. The administration and control of communication carry out a unit to it centralized with the help of a computer, that is the control module, wireless route communicates with field modules that register the information of their elements of measurement, so that a communications network between all these modules forms, which, mainly are made up of a microcontroller programmed in language C and a wireless transceiver.

**Key words:** monitoring, network, microcontroller and intensive aquaculture.

**A los alumnos de los posgrados de la  
Universidad Autónoma de Querétaro**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanos por apoyarme en todas las decisiones de mi vida, a mis profesores por dejarme ver el camino durante mi carrera, y a mis amigos por todo el apoyo estos últimos años.

## Contenido

Índice de figuras .....	4
Índice de tablas .....	4
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
Justificación.....	6
Problema .....	11
Hipótesis .....	11
Objetivo .....	12
Metas .....	13
<b>II. FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>14</b>
Acuicultura .....	14
Situación de la pesca y la acuicultura en el mundo.....	16
La Acuicultura en México .....	18
Breve historia .....	18
Etapas de Desarrollo.....	18
Etapa actual .....	20
Adquisición Analógica .....	23
Filtros activos .....	23
Microcontroladores .....	23
Procesador Digital de Señales .....	24
Sistemas de comunicación.....	25
Redes Broadcast.....	25
Noción de control automático .....	27
Lógica difusa.....	27
Sistemas expertos.....	30

Funciones de un Sistema experto.....	31
Monitorización.....	31
Diseño.....	31
Planificación.....	32
Control .....	33
Simulación .....	33
Instrucción .....	34
Encapsulado.....	35
<b>III Implementación y Desarrollo .....</b>	<b>36</b>
Consideraciones de diseño electrónico.....	37
Estación de control.....	39
Sistema de cómputo y fuente de poder.....	41
Módulo inalámbrico .....	42
Funcionamiento transparente .....	42
Funcionamiento API.....	43
Implementación del Prototipo.....	44
Fuente de poder 110v .....	46
Módulo de comunicación USB .....	46
Programación.....	47
Circuito Impreso .....	49
Estación de Campo .....	52
Módulo de campo.....	54
Tarjeta de procesamiento .....	55
Programación .....	56
Control Difuso.....	56

Circuito Impreso de la tarjeta de procesamiento.....	60
Tarjeta de acondicionamiento .....	65
Tarjeta de entradas/salidas.....	71
Fuente de poder solar.....	75
<b>IV Resultados.....</b>	<b>78</b>
Filtro RC.....	83
Filtro Butterworth .....	83
Prueba piloto de temperatura.....	86
Calibración del RTD y termistor .....	87
<b>V Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>96</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>100</b>
Estándares en Telemática .....	100
La ISO.....	100
La ITU-T.....	101
La Internet Society.....	101
Otras organizaciones.....	102
Código de cabecera de la tarjeta de comunicación USB.....	104
Código de cabecera de la tarjeta de procesamiento.....	105

## Índice de figuras

Figura 1. Red de comunicación del sistema experto.....	36
Figura 2. Diagrama de la Estación de Control.....	40
Figura 3. Foto del sistema de cómputo. ....	41
Figura 4. Caja envolvente del Módulo Inalámbrico.....	44
Figura 5. Diagrama esquemático del Módulo Inalámbrico. ....	45
Figura 6. Circuito impreso del Módulo Inalámbrico .....	46
Figura 7 Diagrama esquemático de la tarjeta de comunicación USB.....	50
Figura 8 Circuito impreso de la tarjeta de comunicación USB.....	51
Figura 9 Diagrama de la Estación de Campo.....	53
Figura 10 Gabinete del Módulo de Campo.....	54
Figura 11. Función de membrecía para el error .....	57
Figura 12. Función de membrecía para la diferencia del error.....	57
Figura 13. Función de membrecía de salida. ....	58
Figura 14. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 1 de 3.....	61
Figura 15. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 2 de 3.....	62
Figura 16. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 3 de 3.....	63
Figura 17. Circuito impreso de la tarjeta de procesamiento .....	64
Figura 18. Tarjeta de acondicionamiento y procesamiento parte 1 de 3.....	66
Figura 19. Tarjeta de acondicionamiento y procesamiento parte 2 de 3.....	67
Figura 20. Tarjeta de acondicionamiento y procesamiento parte 3 de 3.....	68
Figura 21. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento y procesamiento.....	69
Figura 22. Diagrama de la tarjeta de acondicionamiento. ....	70
Figura 23. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento.....	71
Figura 24. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 1 de 3.....	72
Figura 25. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 2 de 3.....	73
Figura 26. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 3 de 3.....	74
Figura 27. Circuito impreso de la tarjeta de entradas/salidas.....	75

Figura 28. Diagrama de la fuente conmutada. ....	76
Figura 29. Circuito impreso de la fuente conmutada .....	77
Figura 30. Descripción de la tarjeta de comunicación USB.....	78
Figura 31. Tarjeta de comunicación USB en funcionamiento.....	79
Figura 32. Tarjeta de procesamiento y acondicionamiento operando. ....	79
Figura 33. Módulo de Campo.....	80
Figura 34. Interfaz de usuario.....	81
Figura 35. Configuración del transceptor inalámbrico. ....	82
Figura 36. Prueba de comunicación del transceptor. ....	82
Figura 39. Filtro RC .....	83
Figura 40. Filtro Butterworth con topología Sallen-Key .....	84
Figura 41. Respuesta en magnitud del filtro Butterworth.....	85
Figura 42. Respuesta en fase del filtro Butterworth.....	85
Figura 37. Instalación de sensores.....	86
Figura 38. Estación de Campo.....	87
Figura 43. Gráfica de la respuesta de un RTD y un Termistor. ....	90
Figura 44. Gráfica de la respuesta del termistor contra temperatura en Minitab...	91
Figura 45. Gráfica de la respuesta del RTD contra temperatura en Minitab. ....	92
Figura 46. Gráfica de la temperatura del 5/05/2008 sin control.....	92
Figura 47. Gráfica de la temperatura del 22/05/2008 con control difuso. ....	93

## Índice de tablas

Tabla 1. Configuración de la API.....	43
Tabla 2. Asignación de variables lingüísticas.....	58
Tabla 3. Asignación numérica de las variables de salida. ....	58
Tabla 4. Componentes del filtro Butterworth .....	84
Tabla 5 Respuesta en bits de un RTD y un Termistor.....	89

## I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un esquema de supervisión de variables críticas en la producción acuícola como es la temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez, nivel entre otras. En la producción intensiva acuícola, los sistemas de adquisición y control cableados resultan poco prácticos debido a las distancias que hay que cubrir, que por lo general suelen ser de hectáreas, y tienen un elevado costo, este sistema muestra el uso de tecnología de alcance comercial aplicada para la medición de parámetros físico-químicos.

La administración y control de comunicación lo lleva a cabo una unidad centralizada con ayuda de un computador, que es el módulo de control, vía inalámbrica se comunica con módulos de campo que registran la información de sus elementos de medición, de manera que se forma una red de comunicación entre todos estos módulos, los cuales, se componen principalmente de un microcontrolador programado en lenguaje C y un transceptor inalámbrico.

### **Justificación**

La acuicultura intensiva demanda la adquisición de datos más frecuente y su interpretación pueden ser la clave para entender la variabilidad de la producción. Las redes de sensores inalámbricos es una tecnología que provee datos de campo en tiempo real de los sensores físicamente distribuidos en un lugar. Las mediciones son reportadas a un punto colector donde se realiza un estimado de sus propiedades (Gonda & Cugnasca, 2006). Las redes inalámbricas de sensores son una nueva tecnología que puede proporcionar datos en tiempo real de los sensores distribuidos físicamente en el campo (Camilli, Cugnasca, Saravia, Hirakawa, & Correa, 2007).

Uno de los principales problemas en los sistemas de cultivo intensivo de peces es la rápida acumulación de amoníaco, nitrito y nitrato en el agua. El problema comienza con el metabolismo de los peces, la descomposición del alimento no consumido y en la nitrificación de la población de bacterias (Alcaraz & Espina, 1995).

El amoniaco (en su forma no ionizada) y el nitrito son tóxicos para los peces los niveles tolerables de concentración de esos compuestos para un sistema de cría de peces es un poco bajo, usualmente es mucho menos que  $1\text{mg l}^{-1}$  (Lin. & Wu, 1996). Generalmente, las concentraciones menores a  $1\text{mg l}^{-1}$  de amoníaco y nitrito desencadena cambios fisiológicos (i.e. la secreción de hormonas hepáticas) y de comportamiento en los peces por un periodo corto de tiempo. Ese estado de estrés cambia la composición de la sangre e incrementa la respiración y la frecuencia de los latidos del corazón, causando un decremento en la efectividad del sistema inmune y un aumento en la susceptibilidad de enfermedades y de ataques de parásitos (Palackova, Gajdusek, Jirasek, & Fasaic, 1990). Además, algunas posibles consecuencias del aumento en los niveles de concentración de amoníaco y nitrito son los efectos desfavorables en las tasas de crecimiento, mortalidad y producción final.

En varias granjas acuícolas los niveles de concentración de amoníaco y nitrito son fácilmente reducibles y controlados ajustando el abastecimiento de agua (Abeysinghe, Shanableh, & Rigden, 1996), Sin embargo, en muchos casos esta estrategia supone una baja relación costo beneficio. Usualmente, en las granjas de anguilas Europeas el control de la concentración de amoníaco y nitrito es eliminado (remoción/conversión) por la aplicación de recirculación y filtros biológicos (Kamstra, Van der Heul, & Nijhof, 1998). Esto se debe a que los sistemas de recirculación proveen varias ventajas: minimiza el uso del agua, permite un mayor control en el ambiente de crecimiento (especialmente la temperatura del agua), permite a las granjas acuícolas localizarse en las mejores áreas de mercado y reduce significativamente el volumen de descarga malgastado

en aguas residuales. De esta manera se incrementan los beneficios económicos obtenidos.

Por otro lado, los sistemas de recirculación tienen sus desventajas debido a sus requerimientos de equipo adicional para tratar de reutilizar el agua. Este equipo adicional aumenta el riesgo de pérdidas catastróficas debido al uso de complejos sistemas operativos. Sin embargo una capacidad mayor en la predicción de las variables importantes para el sistema (i.e. amoníaco, nitritos, pH, temperatura, etc.) pueden mejorar el control y disminuir el riesgo de grandes pérdidas.

Debido al riesgo que supone la acumulación de esos compuestos para la producción, algunos autores como Kochba (Kochba, Diab, & Avnimelech, 1994) y Avnimelech (Avnimelech, Kochba, & Diab, 1994) desarrollaron modelos para predecir la concentración de esos contaminantes en los tanques de crecimiento. De esta manera Kamstra (Kamstra, Van der Heul, & Nijhof, 1998), Gujer (Gujer & Boller, 1996) y Nijhof (Nijhof, 1994) desarrollaron complejos modelos físicos con la capacidad de predecir el comportamiento de las unidades de filtración biológicas para el reutilización del agua. Esos modelos reúnen variables como la carga hidráulica en el filtro el tipo del medio del filtro, el tamaño del filtro y la estratificación de las bacterias en la columna de agua, permitiendo estimar la cantidad de amoníaco en el biofiltro, la tasa de remoción y la concentración de amoníaco en los tanques.

Sin embargo, Heinsbroek (Heinsbroek & Kamstra, 1990) reportaron las dificultades involucradas en la aplicación de este tipo de modelo para sistemas a gran escala. Las fluctuaciones en la utilización del alimento por los peces y por tanto la producción de residuos con el tiempo, el método de alimentación, la influencia de otras propiedades físico-químicas (i.e. pH y temperatura) en el proceso de nitrificación y la no linealidad de las series de datos son algunas de las principales razones causantes de su difícil aplicación. Una alternativa a este tipo de modelos es tratando de predecir los valores futuros de una variable (i.e. la

concentración de amoníaco) basándose en sus valores pasados. Suponiendo además, que las variables físico, químicas y biológicas que pueden afectar la concentración de amoníaco (i.e. la cantidad de especies, la densidad los tanques de cría, el periodo de alimentación, pH, temperatura, residuos, etc.) están contenidas en la variabilidad de los valores pasados de los valores de la concentración de amoníaco. De esta manera, la forma de los modelos de Box-Jenkins de series en el tiempo y regresión lineal han sido usados comúnmente en situaciones debido a que son relativamente de desarrollar e implementar (Stergiou, Christou, & Petrakis, 1997). (Park, 1998), (Becerra-Muñoz, Hayes, & Taylor, 1999).

Las técnicas convencionales de control son difíciles de implementar bajo sistemas de invernadero debido a que presentan múltiples variables y son de naturaleza no lineal, donde las relaciones entre las variables internas y externas son complejas (fenómenos físicos no lineales que implica la dinámica del sistema). Es así que se utilizan técnicas de control inteligente como una buena alternativa. De esta manera la lógica difusa como parte de la inteligencia artificial es una técnica apropiada y bien establecida en la aproximación de resolución de problemas de control (Lee, 1990). La lógica difusa provee una metodología para representar, manipular e implementar conocimiento de expertos heurísticos para controlar el sistema. Además, en un controlador difuso, es más robusto y con un bajo costo (Passino, 1998).

Los sistemas expertos aparecieron en los años 70's en el campo de la inteligencia artificial en software, que aprovecha el conocimiento capturado en programas de computadora para resolver problemas que requieran de la experiencia humana. Un buen diseño de un sistema experto imita el proceso de razonamiento humano de expertos para resolver problemas específicos y puedan ser usados por personas no expertas para mejorar sus capacidades en la solución de esos problemas. Sin embargo la utilización de reglas plantea graves problemas

con respecto a los conocimientos de representación y manejo de incertidumbre (Starek, Mukesh, Krishna, & Garcia, 2002).

Los sistemas expertos consisten en varios módulos interrelacionados. Esas relaciones junto con los datos proporcionados por el usuario permiten obtener una respuesta adecuada del sistema. De esta manera el sistema experto tiene una ó varias bases de datos ó bases de conocimientos, una máquina de inferencia, un subsistema de explicación (provee información acerca de la lógica de la máquina de inferencia), una máquina de proposición (ayuda al usuario a en el proceso de diagnostico), un subsistema de aprendizaje (incorpora el conocimiento al sistema) y una interfaz de usuario (Gutiérrez, Sanz, López, & Pulido, 2005).

## **Problema**

El problema principal es la falta de adaptabilidad de los sistemas de control existentes, ya que son sistemas muy específicos y su configuración es bastante restrictiva, evitando que puedan atender otros procesos similares dentro de la granja.

Cada uno de los estanques debe ser monitoreado de manera que la información se pueda consultar en todo momento para la toma de decisiones del mantenimiento básico de la especie y su óptimo desarrollo.

Los sistemas de adquisición y control alámbricos resultan poco prácticos debido a las distancias que hay que cubrir <cite>Blake2002</cite>, que por lo general suelen ser de hectáreas, y tienen un elevado costo.

## **Hipótesis**

Crear un sistema de monitoreo y control distribuido multiproceso, de arquitectura abierta, totalmente configurable por el usuario, adaptable a cualquier tipo de proceso. Teniendo una cobertura territorial amplia, utilizando tecnologías inalámbricas.

## **Objetivo**

Desarrollar un sistema de adquisición de datos y control de dispositivos de encendido/apagado aplicado a la acuicultura, que pueda ser supervisado y administrado de forma remota mediante técnicas de control difuso, y además sirva para su comercialización.

El sistema se desarrollará para satisfacer las necesidades de monitoreo y control en granjas acuícolas. Puede monitorear diferentes variables, configurables por el usuario. Además cada estación de campo es capaz de activar distintos actuadores, o recibir distintas señales discretas, ya que cuenta con entradas/salidas digitales, también configurables por el usuario desde el programa de la central de control. Se hizo de esta forma ya que según la especie a cultivar, son las variables a monitorear y controlar.

## **Metas**

1. Diseñar un protocolo de comunicación entre las estaciones de campo y la central de control.
2. Implementar un circuito impreso de adquisición y control inalámbrico con ocho canales de entrada y ocho de salida.
3. Implementar un circuito impreso para la etapa de potencia.
4. Implementar un circuito impreso para el acondicionamiento de señales y alimentación de sensores externos.
5. Diseñar y construir una fuente de alimentación externa de energía solar y una fuente de alimentación a 110v.
6. Diseñar el flujo de control del microcontrolador para la comunicación inalámbrica y control difuso.
7. Establecer el encapsulado de los circuitos para su protección del medio ambiente y definir la disposición física de cada uno de los componentes del sistema.
8. Registrar el sistema como un producto bajo derechos de autor.

## II. FUNDAMENTACIÓN

### Acuicultura

En la actualidad la FAO <sup>1</sup> define la acuicultura como la explotación de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. La explotación como tal implica la intervención en el proceso de cría con la finalidad de mejorar la producción, así como asegurar la propiedad de las existencias que están siendo cultivadas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2005).

La acuicultura implica la cría y el manejo de los recursos acuáticos vivientes en un medio restringido, en la cual existe la posesión de los medios de producción y los derechos de propiedad sobre la producción.

Los principales objetivos de la acuicultura son:

- La producción de alimentos da alto valor nutritivo para el consumo humano.
- La contribución al ingreso y a la creación de empleos rurales.
- La desalinización y otras formas de recuperación de suelos agrícolas.

En las últimas décadas, ante deterioro de las pesquerías a nivel mundial y el excesivo esfuerzo pesquero concentrado en algunas pocas especies, la acuicultura se ha ido convirtiendo de manera paulatina en una alternativa de producción, considerándose al mismo tiempo como un sector prioritario y estratégico para el suministro de alimentos, el abasto de insumos a la

---

<sup>1</sup> FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

agroindustria, la generación de recursos, empleos e ingresos, principalmente para los países en desarrollo.

La acuicultura consiste en la producción de plantas o animales acuáticos en sistemas controlados donde su crecimiento es manejado o mejorado por el hombre. Los principales organismos cultivados son peces, moluscos y crustáceos, pero otras especies también se cultivan en menores cantidades.

La acuicultura aporta la tercera parte de la producción pesquera mundial y es uno de los sectores de más rápido crecimiento desde finales de la década de 1980. En México, la acuicultura ha experimentado en la última década avances importantes, particularmente en la región noroeste, que es considerada la de mayor productividad biológica en el país. Aun cuando ésta dispone de una importante infraestructura in términos de plantas procesadoras, laboratorios de producción de postlarvas, institutos de investigación y universidades que forman recursos humanos calificados para el sector, las pequeñas y medianas empresas acuícolas de la región enfrentan un importante rezago tecnológico.

Para estudiar este problema, en marco del proyecto "PyMES: Redes de conocimiento y desarrollo local", financiado por el Consejo Nacional Ciencia y Tecnología (CONACYT), se ha constituido un grupo de investigación (Casas & Dettmer, 2007) dirigido por la Dra. Rosalba Casas Guerrero, del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, que estudia las capacidades de conocimiento y las dinámicas de aprendizaje tecnológico en las pequeñas y medianas empresas (PyMES) acuícolas de la región noroeste de México.

## **Situación de la pesca y la acuicultura en el mundo**

Desde finales de los años ochenta, las capturas han tendido a estancarse en todo el mundo. De acuerdo con estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 47% de los bancos marinos del planeta están ya sobreexplotados, es decir, están llegando casi a su límite máximo sostenible. Se prevé que la extracción se estancará entre 2015 y 2030, al tiempo que continuará creciendo la producción derivada de la acuicultura. Por otra parte, cerca del 25% de los recursos están explotados en forma insuficiente o moderada y esa es la única porción que puede ser fuente de expansión de las capturas (Guerra, 2005).

En el período 1996-2001, la actividad extractiva propiamente dicha, es decir, excluyendo la acuicultura, alcanzó en el mundo volúmenes cercanos a los 92 millones de toneladas, con una contracción importante en 1998 ocasionada por la sobreexplotación y los fenómenos climatológicos. En consecuencia, la expansión del sector pesquero mundial estuvo impulsada sobre todo por el rubro acuícola, que entre 1997 y 2001 creció a una tasa promedio de 7% al año. Este dinamismo obedeció en parte al aumento de la demanda, derivada del hecho que la población mundial creció en ese período a una tasa anual de 1.2% en comparación con un incremento de 0.8% de la oferta mundial de pescado. Otra de las razones es el cambio de hábitos alimenticios, pues hoy existe mayor inclinación a consumir carnes blancas, consideradas más sanas (Guerra, 2005).

En suma, en los últimos años la producción pesquera mundial se elevó gracias al rubro acuícola, que creció a un ritmo más rápido que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal. De esta forma, peces y mariscos están constituyendo una fuente vital de alimento para la población, particularmente en regiones donde las provisiones de carne son limitadas. De

acuerdo con Avilés y Vázquez (Avilés & Vázquez, 2006), "los mariscos aportan menos del 10% de la proteína consumida en Norteamérica y Europa, pero representan 17% en África y 26% en Asia. Mil millones de personas dependen de peces y mariscos como su principal fuente de proteína.

En lo que ha consumo se refiere, Estados Unidos es el mayor mercado mundial, importa anualmente más de 11 mil millones de dólares de productos marinos. El consumo de mariscos ha crecido de 40 millones de toneladas en 1970 a 86 millones en 1998, y se espera que alcance 110 millones de toneladas en 2010, siendo el incremento en la población mundial el principal responsable de esta demanda. De este volumen, 40 millones de toneladas provendrán de la acuicultura. En tanto fuente barata de proteína de buena calidad, la acuicultura se ha convertido en un factor importante para mejorar la seguridad alimentaria, elevar los estándares nutricionales, aliviar la pobreza y la economía de los países en desarrollo (Avilés & Vázquez, 2006).

Desde el punto de vista económico, las exportaciones de peces y mariscos representan alrededor de 17 mil millones de dólares por año, siendo Asia la región con mayor volumen de producción acuícola (39 millones de toneladas, \$44 mil millones de dólares), destacándose China como el principal productor, con 90% del total. Por otro lado, los principales productores de Sudamérica --Chile, Ecuador, Brasil y Colombia continúan realizando esfuerzos de diversificación de la industria acuícola, con el fin de evitar la dependencia de una sola especie (Avilés & Vázquez, 2006). En Chile, por ejemplo, el sector acuicultor constituido fundamentalmente por la cría de salmón y trucha, produjo 0.5 millones de toneladas en 2003, y las exportaciones correspondientes han ganado cada vez mayor participación, rebasando los \$1,440 millones dólares en ese país (Guerra, 2005).

## **La Acuicultura en México**

### **Breve historia**

La actividad acuícola en México es anterior a la Conquista. El señorío de Tenochtítlan descansó en la producción de peces en el lago de Texcoco; los estanques de Moctezuma fueron famosos y Netzahualcóyotl no sólo cantó a las aves y las plantas, sino también a los peces coloridos que marcaban, mes a mes, las ceremonias con sahumeros y atabales (Herrera, 1958). Durante la época virreinal el cultivo de peces se llevó a cabo en algunos conventos. Con todo, fue Esteban Cházari quien, en su libro "Piscicultura en Agua Dulce" concibió el gran proyecto de la acuicultura para beneficio de la población mexicana. Sus esfuerzos para promover el desarrollo de la piscicultura dieron como resultado la construcción de las primeras estaciones piscícolas a partir de 1884 en Ocoyoacac, Lerma, Estado de México y La Condesa, D.F. Asimismo aunque desde 1858 se expidieron varios ordenamientos jurídicos en materia de acuicultura, y en 1891 se creó la Oficina de Piscicultura dependiente de la Secretaria de Fomento, fue realmente a partir de 1950 cuando se inició el desarrollo formal de esta biotecnía.

### **Etapas de Desarrollo**

Aún cuando en México, la pesca y la acuicultura han sido actividades promovidas principalmente por el Estado, su desarrollo también ha estado determinado por diversos factores de carácter político, económico y social. En el período comprendido entre 1950 y finales de los 1970s, las acciones institucionales así como un gran número de iniciativas gubernamentales y los esfuerzos de técnicos nacionales mostraron el importante potencial de la acuicultura, orientándose ésta sobre todo a los cultivos extensivos o de carácter experimental.

En la segunda mitad de la década de 1960 y durante la década de 1970, México se incorporó a una actividad pesquera comercial de gran escala como resultado de un proceso de capitalización del sector, particularmente en fase de captura. También se dio impulso a la acuicultura con la creación de centros para abastecer de crías, semillas y postlarvas a las granjas productoras.

Asimismo se incrementó la capacidad para procesamiento de productos pesqueros aunque en menor escala al aumento de capturas. En la década de 1980 concluyó el período de acelerada expansión del sector, registrándose entonces un estancamiento productivo y decremento de los índices de captura. En parte, la desaceleración del sector estuvo determinada por la crisis económica nacional, la cual se tradujo en la disminución de inversiones, restricciones en el presupuesto gubernamental y procesos devaluatorios e inflacionarios.

Por esa época ocurrieron también dos embargos estadounidenses al atún mexicano, el primero de 1980 a 1986 y el segundo a partir de 1989, el cual fue particularmente perjudicial para el sector, pues derivó en un embargo secundario que cerró las puertas de los mercados internacionales al atún pescado por barcos de bandera mexicana.

La década de 1990 marcó una nueva etapa para el sector pesquero y acuícola nacional, ya que su desarrollo quedó inmerso dentro del proceso de apertura de la economía mexicana a los mercados internacionales. En ese contexto se dio un decremento de las capturas y una nueva conciencia ecológica que orienta la explotación de los recursos naturales basadas actitudes responsables y estratégicas con miras a la sustentabilidad y rentabilidad de la actividad de largo plazo. En 1992, como consecuencia de la publicación de una nueva Ley de Pesca, se abrió la posibilidad de una mayor participación del capital en la actividad pesquera y acuícola. De acuerdo con Guarneros y Pérez (Guarneros, 2006) "El nuevo ordenamiento pesquero promueve y da garantía a la

inversión nacional e internacional en el sector, por la seguridad que otorga a la captura, la acuicultura, la transformación y la comercialización de los productos de la pesca, ello a través del régimen de permisos y concesiones".

## **Etapas actuales**

En la actualidad, México es reconocido como un país con gran potencial de desarrollo acuícola debido al clima, recursos naturales y especies nativas con potencial de cultivo. De acuerdo con el Atlas Pesquero de México y la Carta Nacional Pesquera 2000, el país cuenta con 11,500 kilómetros de litoral, tres millones de kilómetros cuadrados de Zona Económica Exclusiva, más 2.9 millones de hectáreas de aguas interiores, 358 000 Km<sup>2</sup> de plataforma continental y un potencial máximo de captura de dos millones de toneladas anuales (Guarneros, 2006).

La acuicultura en México se ha desarrollado en todas las regiones del país, usando prácticas diversas, extensivas con sistemas abiertos y cerrados, así como intensivas y semintensivas, en jaulas, encierros, líneas suspendidas, estanques artesanales de tierra, canales de corriente rápida, estanques de concreto, cubiertas plásticas y otras tecnologías disponibles para criar especies acuáticas para el autoconsumo o comercio de productos. Esta actividad se basa particularmente en el cultivo de siete especies introducidas: carpas chinas, tilapia, bagre, trucha, langostinos, ostras japonesas, mejillones y cinco especies nativas: camarón blanco del Pacífico, ostra americana, abulón, almejas y langostinos. En la mayor parte de los casos la tecnología utilizada es importada y adaptada a las condiciones locales (SEMARNAT, 2005).

Como en otras partes del mundo, la acuicultura incluye actividades de repoblación en ambientes naturales y artificiales de crías y juveniles de peces producidos en centros piscícolas. La acuicultura extensiva de México se ha desarrollado exitosamente con impactos positivos sobre la captura pesquera en

aguas continentales, donde los embalses son compartidos con acuicultores que utilizan jaulas y encierros para la engorda de tilapias, bagres y otras especies de valor comercial (SEMARNAT, 2005).

Los recursos que pueden ser aprovechados mediante esta actividad económica en el país incluyen 64 especies: 26 especies de peces dulceacuícolas (9 nativas, 14 introducidas y 3 híbridas), 5 especies de peces marinos nativos, 14 de moluscos marinos y salobres (12 nativas y 2 introducidas), 6 de crustáceos dulceacuícolas (4 nativos y 2 introducidos), 7 de crustáceos marinos nativos y 6 especies de anfibios (5 nativas y una introducida) (DOF, 2004).

La acuicultura en México se han desarrollado fundamentalmente bajo el enfoque de la piscicultura de siembra y repoblación (en especial en el área dulceacuícola) y en menor escala en el cultivo de especies de aguas marinas y salobres. Aun cuando esta actividad ha crecido de manera importante y ha generado beneficios sociales y económicos significativos, sigue enfrentando una carencia de apoyo técnico y económico, lo que se refleja en cultivos que son de tipo extensivo de rendimiento bajo. Por esta razón, recientemente se ha puesto mayor atención al tema de la capacitación y asistencia técnica para aprovechar su potencial e incrementar su productividad sin deteriorar el ambiente (Sagarpa 2001) citado por (SEMARNAT, 2005).

Cabe destacar que México se encuentra entre los primeros países en producción acuícola de América. En 2002 (CONAPESCA, 2007), se obtuvieron más de \$3,309 millones de pesos por acuicultura, ya que se produjeron 45,853 toneladas de camarón blanco, 91,434 toneladas de peces de agua dulce (mojarra, bagre, carpa, trucha, lobina y charal) y 48,878 toneladas de ostión. Esto equivale a 0.2 % del PIB nacional, pero representa cerca del 1% PIB si se toma en cuenta la industrialización y comercialización de los productos y más de 200 mil personas están empleadas en el sector (Avilés & Vázquez, 2006).

En 2002 (CONAPESCA, 2007) se produjeron alrededor de 187 mil toneladas por acuicultura, aunque sólo se utiliza una pequeña porción (menos de 10%) de las áreas susceptibles para el desarrollo acuícola. Esto permite estimar un nivel de producción alcanzable de alrededor de 500 mil toneladas (Avilés & Vázquez, 2006).

Si se toma en cuenta la producción nacional por especie, el ostión y la mojarra son casi obtenidos en su totalidad por la acuicultura (96% y 92%, respectivamente), mientras que en el caso del camarón, la producción acuícola representa el 50% de la producción total. Existen otras especies para las cuales la actividad de acuicultura representa un alto porcentaje de su producción nacional, como en el caso de la carpa (79%), lobina (75%), bagre (64%) y la trucha (48%) (SEMARNAT, 2005)

El costo de el alimento es usualmente el mayor gasto de operación en la acuicultura, y en muchos casos es del 40% o más del costo total de operación. Se estima que el 60% del alimento introducido a un sistema acuícola termina como partículas. Si estos sólidos permanecen en el sistema su descomposición consumirá el oxígeno y producirá amonio, nitrógeno y otras sustancias tóxicas como el sulfato de (Chang, Fanga, Jaob, Shyuc, & Liaoc, 2005). La temperatura afecta las actividades de los peces en todos los procesos bio-químicos y fisiológicos a través de su vida, consecuentemente, la temperatura del agua es un aspecto vital en el hábitat de los peces, las altas temperaturas causan estrés en el pez (Widmer, Carveth, Ke\_er, & Bonar, 2006).

El seguimiento de la densidad del alimento vivo es importante en los tanques de la primera alimentación, así como en la producción de alimento vivo, debido a que la densidad de alimento tiene un efecto significativo en el crecimiento y supervivencia de las larvas de peces (Lubzens, Tandler, & Minkoff, 1989).

## **Adquisición Analógica**

### **Filtros activos**

Un filtro es un sistema diseñado para lograr una característica de transferencia deseada. Los filtros lineales pasivos se consideran normalmente como parte de un estudio de circuitos, redes o sistemas lineales. Se componen de combinaciones de resistores, inductores y capacitores. Si bien es posible alcanzar una gran variedad de características de transferencia empleando sólo estos elementos, se requiere a menudo un gran número de componentes, estos conducen a explorar las alternativas para filtros pasivos.

Los filtros activos contienen amplificadores, mismos que permiten el diseño de una amplia gama de funciones de transferencia, dentro de algunas extensas restricciones relacionadas con las propiedades de la función de transferencia.

### **Microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de una computadora. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Entre los más populares están los de Microchip los cuales tienen varias ventajas:

- Costo - Es comparativamente inferior al de otros Microcontroladores.
- Sencillez de manejo - Tiene un juego reducido de instrucciones.

- Gran variedad de modelos - Permite elegir el que mejor responde a los requerimientos de la aplicación.
- Herramientas de dominio público. Software se puede descargar libremente en Internet desde Microchip ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)).
- Información - Está disponible en la página oficial y foros de electrónica con aplicaciones.
- Buena Funcionalidad - Velocidad, consumo, tamaño, alimentación, código
- Compacto, etc.

## **Procesador Digital de Señales**

El procesador digital de señales o DSP por sus siglas en inglés es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Es especialmente útil para el procesamiento y representación de señales analógicas en tiempo real en el que por ejemplo se procesa la información de un ADC<sup>2</sup> ( Microchip Technology Inc., 2009).

---

<sup>2</sup> ADC – Convertidor Analógico Digital

## Sistemas de comunicación

Los sistemas electrónicos de comunicaciones tienen tres componentes básicos que son el transmisor, un medio o canal de comunicación y un receptor. La comunicación se realiza cuando se genera algún tipo de mensaje, datos o señal que pueda ser recibida. Al mensaje o señal se le denomina información. El mensaje en forma de señal electrónica es llevado al transmisor, el cual lo transmite por un medio de comunicación y es recuperado por el receptor. En este proceso se capta interferencia en el canal de comunicación al cual se le denomina generalmente ruido (Frenzel, 2003).

## Redes Broadcast

En las redes broadcast el medio de transmisión es compartido por todos los ordenadores interconectados. Normalmente cada mensaje transmitido es para un único destinatario, cuya dirección aparece en el mensaje, pero para saberlo cada máquina de la red ha de recibir o 'escuchar' cada mensaje, analizar la dirección de destino y averiguar si va o no dirigido a ella; las normas de buena educación 'telemática' establecen que un ordenador debe descartar sin más análisis todo mensaje que no vaya dirigido a él; sin embargo, algunos programas llamados 'sniffers'<sup>3</sup> se dedican a 'cotillear' todo lo que pasa por el cable, independientemente de quien sea su destinatario; con un sniffer es muy fácil capturar cualquier cosa, por ejemplo los caracteres que viajan por la red en un proceso de conexión averiguando así de manera rápida el *user id* y la *password* de un usuario cualquiera (por ejemplo 'root'). La única protección efectiva en las redes broadcast es el encriptado de la información.

---

<sup>3</sup> Packet Sniffer - Es un programa de captura de las tramas de red.

A veces en una red broadcast lo que se quiere es precisamente enviar un mensaje a todas las máquinas conectadas. Esto se llama un envío broadcast. Asimismo es posible enviar un mensaje dirigido a un subconjunto de todas las máquinas de la red (subconjunto que ha de estar definido previamente); esto se conoce como envío multicast (y el subconjunto se denomina grupo multicast). En algunos contextos cuando se habla de broadcast o multicast el caso en el que el mensaje va dirigido a una máquina concreta se denomina envío unicast.

Como ejemplos de redes broadcast podemos citar casi todas las tecnologías de red local: Ethernet (en sus diversos tipos), Token Ring, FDDI, etc. También son redes broadcast las basadas en transmisión vía satélite. En una red broadcast la capacidad o velocidad de transmisión indica la capacidad agregada de todas las máquinas conectadas a la red; por ejemplo, la red conocida como Ethernet tiene una velocidad de 10 Mb/s, lo cual significa que la cantidad máxima de tráfico agregado de todos los equipos conectados no puede superar este valor.

Conviene mencionar en este punto que en Telemática siempre que se especifican capacidades de transmisión de la información, a menudo referidas erróneamente como velocidades de transmisión o anchos de banda, los prefijos Kilo, Mega, etc., se utilizan con su significado métrico (10<sup>3</sup>, 10<sup>6</sup>, etc.), no con el significado informático (2<sup>10</sup>, 2<sup>20</sup>, etc.). Así 1 Kb/s corresponde a 1.000 bits/s, no 1.024 bits/s; análogamente 1 Mb/s significa 1.000.000 bits/s, no 1.048.576 bits/s.

Sin embargo cuando no se trata de cantidad de información (sin dividir por el tiempo) el significado sigue siendo el habitual, así por ejemplo si decimos que un determinado protocolo utiliza un tamaño máximo de paquete de 64 Kbytes queremos decir que el paquete puede contener hasta 65535 Bytes; si decimos que hemos transmitido un fichero de 1 MByte, queremos decir que el fichero contiene 1.048.576 Bytes. Normalmente las velocidades o, más correctamente, las capacidades de transmisión se miden en bits/segundo (que abreviaremos como

bps), mientras que el tamaño de una trama, de un paquete o de un fichero se expresa en Bytes (Andrew, 1997).

## **Noción de control automático**

De una manera intuitiva se concibe el control automático, como la rama de la técnica que tiene por objeto concebir ingenios que funcionen autónomamente, es decir, y hablando llanamente, que funcionen solos. Esta noción intuitiva requiere unas ciertas matizaciones, pero es válida como punto de partida.

Bajo cierto punto de vista se puede considerar que en todo proceso industrial intervienen por una parte la información (órdenes) y por otra la potencia. Bajo este mismo punto de vista cabe considerar el funcionamiento de un proceso como la adopción de las acciones necesarias frente al mismo (señales de mando o control) para la conveniente dosificación de la energía en los distintos puntos del proceso para que el funcionamiento del conjunto sea el conveniente.

En todo proceso, sea la fabricación de un producto, un avión en vuelo, una máquina funcionando, etc., se realizan una serie de acciones que presuponen la dosificación de la aplicación de energía en determinados puntos, bien bajo la acción de unas órdenes que se suministran al mismo, bien de una manera aleatoria por parte del medio en el que se halla inmerso (Universidad de Sevilla, 2006).

## ***Lógica difusa***

La lógica borrosa o difusa se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1

metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidal, lineal y la curva.

Este control se basa en reglas heurísticas de la forma si (antecedente) entonces (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica (nótese la importancia de las palabras "muchísimo", "drásticamente", "un poco" y "levemente" para la lógica difusa):

- SI hace muchísimo calor ENTONCES disminuyo drásticamente la temperatura.
- SI voy a llegar un poco tarde ENTONCES aumento levemente la velocidad.

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser simples, veloces y eficaces. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia). Para escoger una salida concreta a partir de tanta premisa difusa, el método más usado es el del centroide, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones.

En inteligencia artificial, la lógica difusa, o lógica borrosa se utiliza para la resolución de una variedad de problemas, principalmente los relacionados con

control de procesos industriales complejos y sistemas de decisión en general, la resolución la comprensión de datos. Los sistemas de lógica difusa están también muy extendidos en la tecnología cotidiana, por ejemplo en cámaras digitales, sistemas de aire acondicionado, lavarropas, etc. Los sistemas basados en lógica difusa imitan la forma en que toman decisiones los humanos, con la ventaja de ser mucho más rápidos. Estos sistemas son generalmente robustos y tolerantes a imprecisiones y ruidos en los datos de entrada.

La aplicación de la lógica difusa tiene la intención de imitar el razonamiento humano en la programación de computadoras. Con la lógica convencional, las computadoras pueden manipular valores estrictamente duales, como verdadero, falso, sí, no ó ligado, desligado. En la lógica difusa, se usan modelos matemáticos para representar nociones subjetivas, como caliente, tibio, frío, para valores concretos que puedan ser manipuladas por los ordenadores (Kovacic & Bogdan, 2006).

## **Sistemas expertos**

Un sistema experto (SE) es un concepto más particular que la inteligencia artificial, se puede entender como una rama de esta ciencia, y es aquel que imita las actividades de un humano para resolver problemas de distinta índole (no necesariamente tiene que ser de Inteligencia Artificial). También se dice que un SE se basa en el conocimiento declarativo (hechos sobre objetos, situaciones) y el conocimiento de control (información sobre el seguimiento de una acción).

Para que un sistema experto sea herramienta efectiva, los usuarios deben interactuar de una forma fácil, reuniendo dos capacidades para poder cumplirlo.

1. Explicar sus razonamientos o base del conocimiento: los sistemas expertos se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez se basan en hechos.
2. Adquisición de nuevos conocimientos o integrador del sistema: son mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores. Sobre la base de lo anterior se puede decir que los sistemas expertos son el producto de investigaciones en el campo de la inteligencia artificial ya que esta no intenta sustituir a los expertos humanos, sino que se desea ayudarlos a realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas que realiza con menor dificultad.

Debido a esto en la actualidad se están mezclando diferentes técnicas o aplicaciones aprovechando las ventajas que cada una de estas ofrece para poder tener empresas más seguras. Un ejemplo de estas técnicas sería los agentes que tienen la capacidad de negociar y navegar a través de recursos en línea; y es por

eso que en la actualidad juega un papel preponderante en los sistemas expertos (Starek, Mukesh, Krishna, & Garcia, 2002).

## **Funciones de un Sistema experto**

### ***Monitorización***

La monitorización es un caso particular de la interpretación, y consiste en la comparación continua de los valores de las señales o datos de entrada y unos valores que actúan como criterios de normalidad o estándares. En el campo del mantenimiento predictivo los Sistemas Expertos se utilizan fundamentalmente como herramientas de diagnóstico. Se trata de que el programa pueda determinar en cada momento el estado de funcionamiento de sistemas complejos, anticipándose a los posibles incidentes que pudieran acontecer. Así, usando un modelo computacional del razonamiento de un experto humano, proporciona los mismos resultados que alcanzaría dicho experto.

### ***Diseño***

Diseño es el proceso de especificar una descripción de un artefacto que satisface varias características desde un número de fuentes de conocimiento.

El diseño se concibe de distintas formas:

- El diseño en ingeniería es el uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, máquina o sistema que ejecute funciones específicas con el máximo de economía y eficiencia.
- El diseño industrial busca rectificar las omisiones de la ingeniería, es un intento consciente de traer forma y orden visual a la ingeniería de hardware donde la tecnología no provee estas características.

Los SE en diseño ven este proceso como un problema de búsqueda de una solución óptima o adecuada. Las soluciones alternas pueden ser conocidas de antemano o se pueden generar automáticamente probándose distintos diseños para verificar cuáles de ellos cumplen los requerimientos solicitados por el usuario, ésta técnica es llamada "generación y prueba", por lo tanto estos SE son llamados de selección. En áreas de aplicación, la prueba se termina cuando se encuentra la primera solución; sin embargo, existen problemas más complejos en los que el objetivo es encontrar la solución más óptima.

### ***Planificación***

La planificación es la realización de planes o secuencias de acciones y es un caso particular de la simulación. Está compuesto por un simulador y un sistema de control. El efecto final es la ordenación de un conjunto de acciones con el fin de conseguir un objetivo global.

- Los problemas que presentan la planificación mediante SE son los siguientes:
- Existen consecuencias no previsibles, de forma que hay que explorar y explicar varios planes.
- Existen muchas consideraciones que deben ser valoradas o incluirles un factor de peso.
- Suelen existir interacciones entre planes de subobjetivos diversos, por lo que deben elegirse soluciones de compromiso.
- Trabajo frecuente con incertidumbre, pues la mayoría de los datos con los que se trabaja son más o menos probables pero no seguros.

- Es necesario hacer uso de fuentes diversas tales como bases de datos.

### ***Control***

Un sistema de control participa en la realización de las tareas de interpretación, diagnóstico y reparación de forma secuencial. Con ello se consigue conducir o guiar un proceso o sistema. Los sistemas de control son complejos debido al número de funciones que deben manejar y el gran número de factores que deben considerar; esta complejidad creciente es otra de las razones que apuntan al uso del conocimiento, y por tanto de los SE.

Cabe aclarar que los sistemas de control pueden ser en lazo abierto, si en el mismo la realimentación o el paso de un proceso a otro lo realiza el operador, o en lazo cerrado si no tiene que intervenir el operador en ninguna parte del mismo. Reparación, correcta o terapia.

La reparación, corrección, terapia o tratamiento consiste en la proposición de las acciones correctoras necesarias para la resolución de un problema. Los SE en reparación tienen que cumplir diversos objetivos, como son: Reparación lo más rápida y económicamente posible. Orden de las reparaciones cuando hay que realizar varias. Evitar los efectos secundarios de la reparación, es decir la aparición de nuevas averías por la reparación.

### ***Simulación***

La simulación es una técnica consistente en crear modelos basados en hechos, observaciones e interpretaciones, sobre la computadora, a fin de estudiar el comportamiento de los mismos mediante la observación de las salidas para un conjunto de entradas. Las técnicas tradicionales de simulación requieren modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento del sistema bajo estudio.

- El empleo de los SE para la simulación viene motivado por la principal característica de los SE, que es su capacidad para la simulación del comportamiento de un experto humano, que es un proceso complejo.
- En la aplicación de los SE para simulación hay que diferenciar cinco configuraciones posibles:
- Un SE puede disponer de un simulador con el fin de comprobar las soluciones y en su caso rectificar el proceso que sigue.
- Un sistema de simulación puede contener como parte del mismo a un SE y por lo tanto el SE no tiene que ser necesariamente de simulación.
- Un SE puede controlar un proceso de simulación, es decir que el modelo está en la base de conocimiento del SE y su evolución es función de la base de hechos, la base de conocimientos y el motor de inferencia, y no de un conjunto de ecuaciones aritmético -- lógicas.
- Un SE puede utilizarse como consejero del usuario y del sistema de simulación.
- Un SE puede utilizarse como máscara o sistema frontal de un simulador con el fin de que el usuario reciba explicación y justificación de los procesos.

### ***Instrucción***

Un sistema de instrucción realizara un seguimiento del proceso de aprendizaje. El sistema detecta errores ya sea de una persona con conocimientos e identifica el remedio adecuado, es decir, desarrolla un plan de enseñanza que

facilita el proceso de aprendizaje y la corrección de errores. Recuperación de información.

Los Sistemas Expertos, con su capacidad para combinar información y reglas de actuación, han sido vistos como una de las posibles soluciones al tratamiento y recuperación de información, no sólo documental. La década de 1980 fue prolija en investigación y publicaciones sobre experimentos de este orden, interés que continua en la actualidad.

Lo que diferencia a estos sistemas de un sistema tradicional de recuperación de información es que éstos últimos sólo son capaces de recuperar lo que existe explícitamente, mientras que un Sistema Experto debe ser capaz de generar información no explícita, razonando con los elementos que se le dan. Pero la capacidad de los SE en el ámbito de la recuperación de la información no se limita a la recuperación. Pueden utilizarse para ayudar al usuario, en selección de recursos de información, en filtrado de respuestas, etc. Un SE puede actuar como un intermediario inteligente que guía y apoya el trabajo del usuario final (Starek, Mukesh, Krishna, & Garcia, 2002).

## **Encapsulado**

El encapsulado del microcontrolador y los sensores pueden construirse de PVC hidráulico. Para uso normal, la cubierta solo necesita ser resistente a la humedad. Las porciones de la cubierta pueden ser ensambladas en el lugar de instalación y selladas con cinta de aislar eléctrica. Esta construcción es suficientemente resistente por un periodo prolongado de tiempo bajo condiciones normales (Milla & Kish, 2006).

### III Implementación y Desarrollo

El sistema que se desarrollo está enfocado a la medición de diferentes señales analógicas, las cuales representan variables atmosféricas ó físicas del medio, como son la temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, nivel, etc.

El sistema experto consta de una Estación de Control que se comunica vía inalámbrica con una ó varias Estaciones de Campo formando una red de comunicación (Figura 1).

Las Estaciones de Campo están compuestas por diferentes módulos, cada uno con una tarea específica de manera que pueden configurarse a las necesidades requeridas.

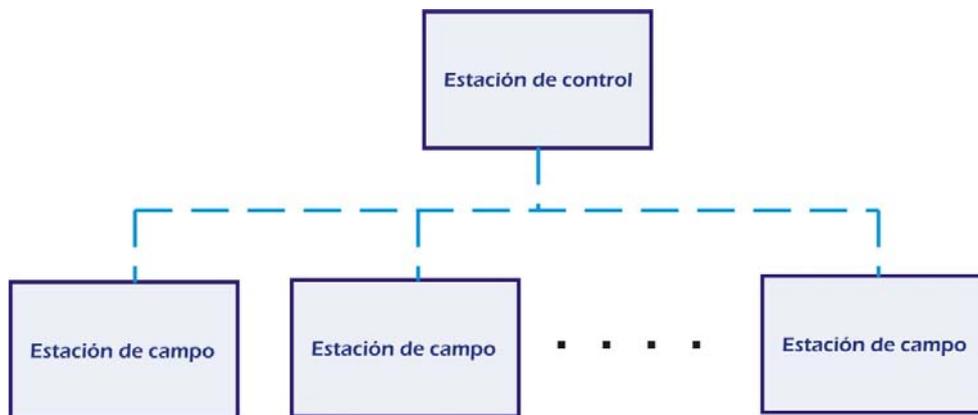


Figura 1. Red de comunicación del sistema experto.

La Estación de Control consiste en un sistema de computo, un módulo de comunicación USB, un módulo de comunicación inalámbrico y una fuente de poder, la Estación de Campo contiene un módulo gestor, un módulo de

acondicionamiento, un módulo de activación, un módulo inalámbrico, una fuente de poder solar ó una fuente a 110v, y de manera opcional un módulo de potencia.

## **Consideraciones de diseño electrónico**

La finalidad de tener consideraciones de diseño es tener uniformidad en todos los diseños de circuitos impresos.

Como principio se busca obtener un diseño optimizando el área del circuito, ya que el costo del proceso de fabricación se basa principalmente en el área, además de que resulta más práctico colocar la mayor cantidad de placas de circuito impreso en un gabinete que ocupe un menor espacio.

Para poder definir las características es necesario presentar algunas definiciones:

- Mil (mili pulgada) – es la abreviatura para la unidad de medida más utilizada en circuitos impresos y es equivalente a la milésima parte de una pulgada.
- Hole (agujero) – es una perforación que atraviesa toda la placa y todas las capas que contenga.
- Pad (rodete) – es la huella del espacio conductor que rodea a un agujero y sirve para realizar la soldadura de los componentes además de que conecta las capas entre sí.
- Clearance (holgura) – es el espacio entre pista y pista incluyendo los pad, se da en unidades mil.

- Route (pista) – Son las conexiones grabadas en la placa de cobre.

Los circuitos presentaran como mínimo una holgura de 10mil, y agujeros de mínimo 30mil, ya que es lo mínimo que se puede maquinar comercialmente a un precio accesible. Las pistas de igual forma serán con un mínimo de 10mil y en toda ocasión se buscará sobredimensionar las pistas para lograr una conducción eléctrica más eficiente. A manera de observación en los diagramas de circuito impreso que se vayan presentando, los componentes se colocan en la cara superior y se muestran en color amarillo, las pistas en la cara inferior en color azul y las pistas en la cara superior en color rojo y el contorno morado delimita el circuito impreso.

## **Estación de control**

La Estación de Control depende de un módulo de comunicación USB, una computadora personal, una fuente de poder y un módulo inalámbrico (Figura 2).

La Estación de Control tiene como propósito ser el dispositivo concentrador para llevar a cabo la comunicación entre la interfaz de usuario (PC) y las estaciones de campo formando una red de datos. Dicha red tiene la topología tipo estrella ya que en esta topología los datos fluyen desde los emisores hasta el concentrador (maestro) y este realiza las funciones de la red, la cual tiene la característica de que el servidor actúa como administrador de la información ya que la red se une en un único punto.

El módulo de comunicación USB se encuentra separado del módulo inalámbrico para poder localizar a la antena de transmisión y recepción en una mejor ubicación, como es en un lugar más alto fuera del cuarto de control. Para poder llegar a cubrir la distancia entre los módulos fue necesario colocar un canal de comunicación RS-232 ya que la distancia contemplada es de 10m, con lo que se considera suficiente para ubicar el transceptor fuera del cuarto de control a una altura de 2.5 metros.

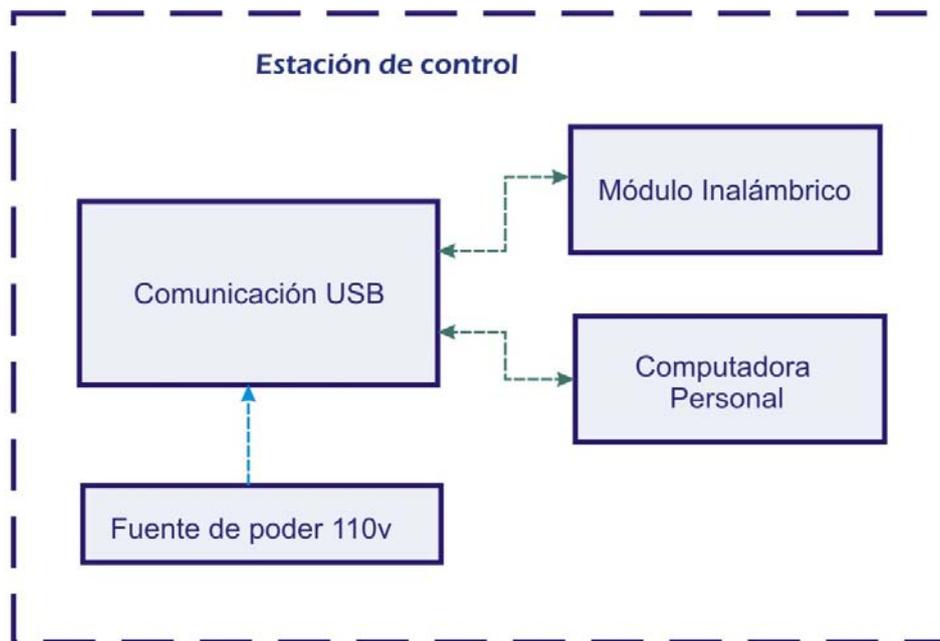


Figura 2. Diagrama de la Estación de Control.

El control centralizado actúa como un concentrador de cableado, donde los bloques de información son dirigidos a través del control central hacia sus destinos. de esta manera se evita colisiones y las conexiones interrumpidas no afectan el resto de la red.

La comunicación de la Estación de Control a las Estaciones de Campo se realiza en una transmisión tipo broadcast<sup>4</sup> inalámbrica, permitiendo al software manejar las estaciones de campo que sean necesarias hasta un límite práctico de 50 unidades terminales remotas, esto debido al tiempo de respuesta propio de cada estación de aproximadamente de 20ms y se espera tener una muestra de todas las variables de todas las Estaciones de Campo en un segundo, de manera que puedan ser actualizadas y mostradas en la pantalla de la interfaz de usuario.

<sup>4</sup> Broadcast - Transmisión de un paquete que será recibido por todos los dispositivos en una red.

## Sistema de cómputo y fuente de poder

El sistema de cómputo (Figura 3) consta de una tarjeta madre, disco duro de 20GB, pantalla LCD de 15", teclado, mouse y un puerto libre USB, se utilizó el sistema operativo Linux con la distribución de Ubuntu<sup>5</sup> 8.4.



Figura 3. Foto del sistema de cómputo.

El sistema se colocó en un gabinete metálico de 90x60x30 cm de la marca ABB<sup>6</sup> con un nivel de protección IP65<sup>7</sup> que brinda protección contra polvo fino y chorros de agua disparados en cualquier dirección, sin embargo al agregar el monitor, este solo presenta un nivel de protección IP40, el cual no brinda protección ninguna contra agua condensada y solo impide la intrusión de la mayoría de la tornillería y cables, así se recomienda su instalación en interiores.

La fuente de poder tiene una alimentación de 110v y puede ser un eliminador comercial de 8 a 12volts ó tomar 12v de la fuente de poder de la

---

<sup>5</sup> Ubuntu Linux, es una distribución GNU/Linux basada en Debian GNU/Linux, cuyo nombre proviene de la ideología sudafricana Ubuntu ("humanidad hacia otros").

<sup>6</sup> ABB - Power and automation technologies

<sup>7</sup> Índice de protección según la norma CEI 60529

computadora, en este caso se utilizó un eliminador comercial de 8volts.

## **Módulo inalámbrico**

Los módulos inalámbricos consisten en un transceptor de radiofrecuencia unido a un puerto serial asíncrono. Por medio de este puerto serial, el módulo puede comunicarse con cualquier lógica y voltaje compatible tipo UART<sup>8</sup> ó mediante un convertidor de nivel a cualquier dispositivo serial.

Los dispositivos que tiene una interfaz serial pueden comunicarse directamente con los módulos de radiofrecuencia. El módulo UART realiza tareas tales como checar paridad y tiempo, que son necesarios para las comunicaciones de datos. Las comunicaciones seriales dependen de dos unidades UART que deben ser configurados con características compatibles (paridad, baudios, bits de arranque, bits de parada, bits de datos).

## **Funcionamiento transparente**

De manera predeterminada los módulos de radiofrecuencia funcionan en el modo transparente. Cuando operan en este modo los módulos actúan como una línea de reemplazo serial, todos los datos recibidos en el UART a través del pin DI esperando para la transmisión, una vez que los datos de radiofrecuencia son recibidos, los datos son enviados por el pin DO (Data Out).

Los datos son almacenados en el buffer DI (Data Input) hasta que una de las siguientes causas ocurra y los datos sean empaquetados y transmitidos:

1. No hay caracteres seriales recibidos por una cantidad de tiempo determinado por el parámetro RO (Packetization Timeout).

---

<sup>8</sup> UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - Transmisor-Receptor Asíncrono Universal

2. El número máximo de caracteres que puede ser enviado en un paquete RF es recibido.
3. La secuencia del modo de comando (GT+CC+GT) es recibida. Cualquier carácter almacenado en el buffer DI antes de la secuencia es transmitido.

Si el módulo no puede transmitir inmediatamente los datos son almacenados en el buffer DI. Si el buffer DI comienza a llenarse, debe aplicarse un control por hardware o software debe aplicarse para evitar el sobre flujo.

## Funcionamiento API

El funcionamiento API<sup>9</sup> es la forma en que normalmente se recibe un mensaje y esta consta varios parámetros (incluidos en los anexos), la configuración de los módulos se logra accediendo a los comandos AT y configurando el comando AP, estos son los parámetros establecidos:

CH = 10
ID = DDC
MY = XXXX
DL = XXXX
AP = 1

Tabla 1. Configuración de la API

De esta manera, los módulos de zigbee pueden cambiar de dirección destino fácilmente y AP=1 indica que está activado el funcionamiento API.

---

<sup>9</sup> API (Application Programming Interface) - Interfaz de programación de aplicaciones.

## Implementación del Prototipo

El prototipo se implemento siguiendo las especificaciones anteriores en una placa de circuito impreso, de manera que el tamaño se ajuste a 55 x 40 mm en una caja plástica impermeable (Figura 4).



Figura 4. Caja envolvente del Módulo Inalámbrico

El diagrama eléctrico (Figura 5) consiste en un regulador a 5 volts que alimenta un circuito MAX232 para ajustar los niveles de voltaje y un regulador a 3.3 volts que alimenta el transceptor inalámbrico. Se utilizo un conector hembra tipo DB9 por ser un equipo de comunicación de datos DCE<sup>10</sup> según el estándar EIA<sup>11</sup> RS-232-C.

El circuito impreso se realizó en una cara las pistas con de 24mil en la vista inferior (Figura 6) y dado que se utilizó una sola capa de cobre para éste diseño las pistas en la cara superior se reemplazaron por cables de cobre supliendo estas pistas.

---

<sup>10</sup> DCE - Data Communications Equipment, Equipo de comunicación de datos

<sup>11</sup> EIA. Electronics Industries Association

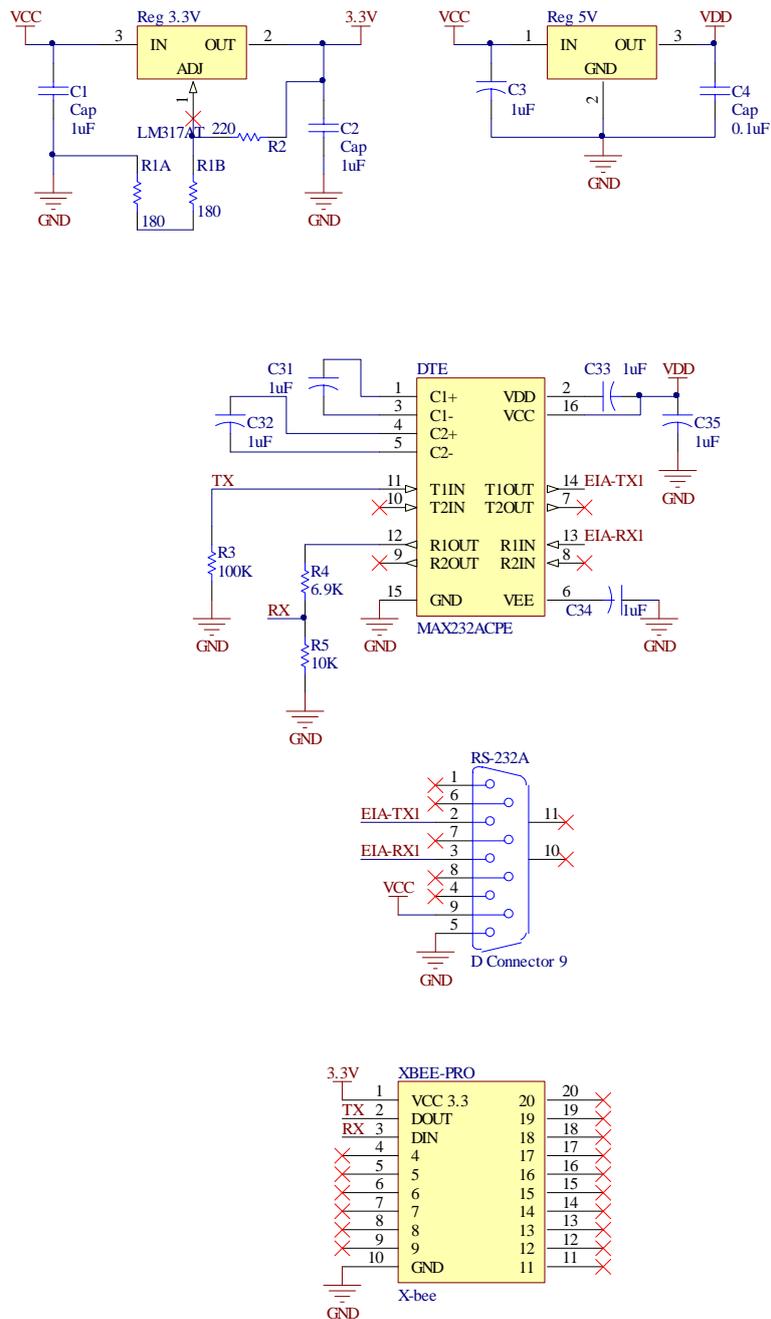


Figura 5. Diagrama esquemático del Módulo Inalámbrico.

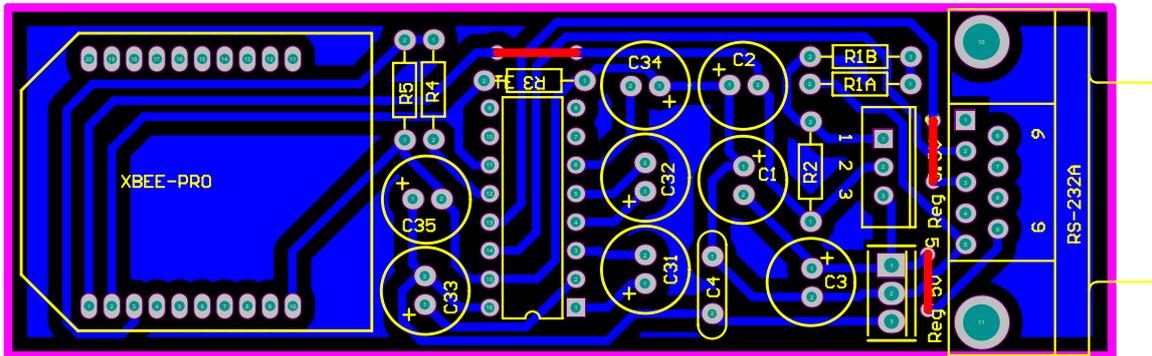


Figura 6. Circuito impreso del Módulo Inalámbrico

## Fuente de poder 110v

Para la Estación de Control hay dos formas de obtener la alimentación de la circuitería de manera sencilla, una es conectando a la fuente de poder de la computadora y la otra con un eliminador comercial de 8 a 12volts.

## Módulo de comunicación USB

Es la tarjeta donde se encuentra un microcontrolador que se encarga de gestionar la comunicación USB con la computadora y RS-232 con el transceptor.

El microcontrolador que se utilizó fue el PIC18F4550 de la empresa MICROCHIP ya que tiene una buena velocidad de procesamiento con su reloj de hasta 48MHZ y su interfaz USB, además de su bajo costo 5.20 dólares americanos (Newark, 2009).

La tarjeta de comunicación requiere del acondicionamiento de los niveles de voltaje, para esto se utilizó un LM7805<sup>12</sup> para el funcionamiento del

<sup>12</sup> LM7805 – Regulador de voltaje a 5 volts.

microcontrolador y un MAX232<sup>13</sup> para la comunicación serial. La alimentación de voltaje no se tomó del conector USB para no tener problemas de ruido en la lógica del microcontrolador, ya que al hacerlo se llegó a observar la caída del sistema.

Para solucionar esto se colocaron las fuentes de alimentación de manera externa y además se colocó un filtro pasa bajas para eliminar posibles altas frecuencias y pequeños picos de voltaje, simplemente colocando un capacitor de 10nf en paralelo a la alimentación del conector USB adicional a los ya recomendados de los fabricantes.

## Programación

El módulo de conversión analógico digital tiene varias opciones de configuración, las opciones para las funciones y directivas varían dependiendo del microcontrolador que se esté usando y son descritas en el archivo de cabecera de cada microcontrolador.

Se utilizó el compilador PCWH Compiler (Custom Computer Services Incorporated, 2008). Para la configuración primero hay que indicar en el archivo de cabecera el tamaño de la lectura del ADC en este caso 12bits, declarado en el preprocesador: `#DEVICE ADC = 12`.

La habilitación del módulo y su configuración se da mediante la instrucción `setup_adc(mode)`, en donde se especifica utilizar el reloj interno para la conversión. El voltaje de referencia para realizar la conversión está como predeterminado a  $V_{SS}$  y  $V_{DD}$  ó también puede ser cambiado a  $-V_{ref}$  y  $+V_{ref}$ , aprovechando que este microcontrolador tiene dos patillas dedicadas a  $Av_{SS}$  y  $Av_{DD}$  como voltaje de referencia, en el software simplemente se deja el predeterminado (Custom Computer Services Incorporated, 2008).

---

<sup>13</sup> MAX232 – Multiplicador de voltaje para comunicaciones RS-232

Se configuro el hardware del microcontrolador para trabajar a 48MHZ mediante un pre escalador, la velocidad de comunicación serial es de 57600bps sin paridad ni bit de parada, además sin perro guardián.

Para el manejo del puerto USB y serial se tienen dos bancos de almacenamiento de 64 bytes respectivamente, así cuando se recibe una trama a través del puerto serial es almacenada para ser evaluada y tomar la decisión si activar una alarma para indicar una condición anormal en el sistema o para ser retransmitida a través del puerto USB, cuando se quiere retransmitir la trama el banco de de la comunicación serial es copiado sin la cabecera del código API a el banco de transmisión USB del cual mediante una instrucción se envía la trama a la computadora, cuando una trama es recibida por el puerto USB esta se analiza para transformar y adecuar la dirección destino y el canal de la Estación de Campo destino a la cual va dirigida dicha trama en el banco de transmisión serial, enseguida se transmiten la trama al transceptor.

Las tramas de datos vía puerto serial son verificadas de distintas formas, se tiene un carácter de inicio y uno de final así como un código de redundancia cíclica CRC<sup>14</sup>, además para comprobar que sea una sola trama de datos se realiza una comprobación mediante temporizadores, esto es, cuando se recibe un carácter un temporizador se inicializa y cada que se recibe otro carácter se reinicia en caso de que no se detecte actividad alguna en el tiempo que se espera recibir 3 caracteres mas, en este caso la trama completa se descarta y el temporizador se reinicia. Una vez que el índice del contador de datos llega a 64 datos la trama es aceptada para su procesamiento.

---

<sup>14</sup> CRC – Código de Redundancia Cíclica.

## **Circuito Impreso**

El diagrama del circuito, también llamado esquemático, incluye el microcontrolador y su circuitería básica de funcionamiento, un MAX232 para la comunicación serial al módulo inalámbrico, reguladores de voltaje con un puente de diodos en caso de invertir la polaridad del circuito de alimentación, finalmente tenemos un conector en una tira de pines doble para conectar las ocho salidas digitales, otro para ocho entradas digitales y uno más para seis entradas analógicas.

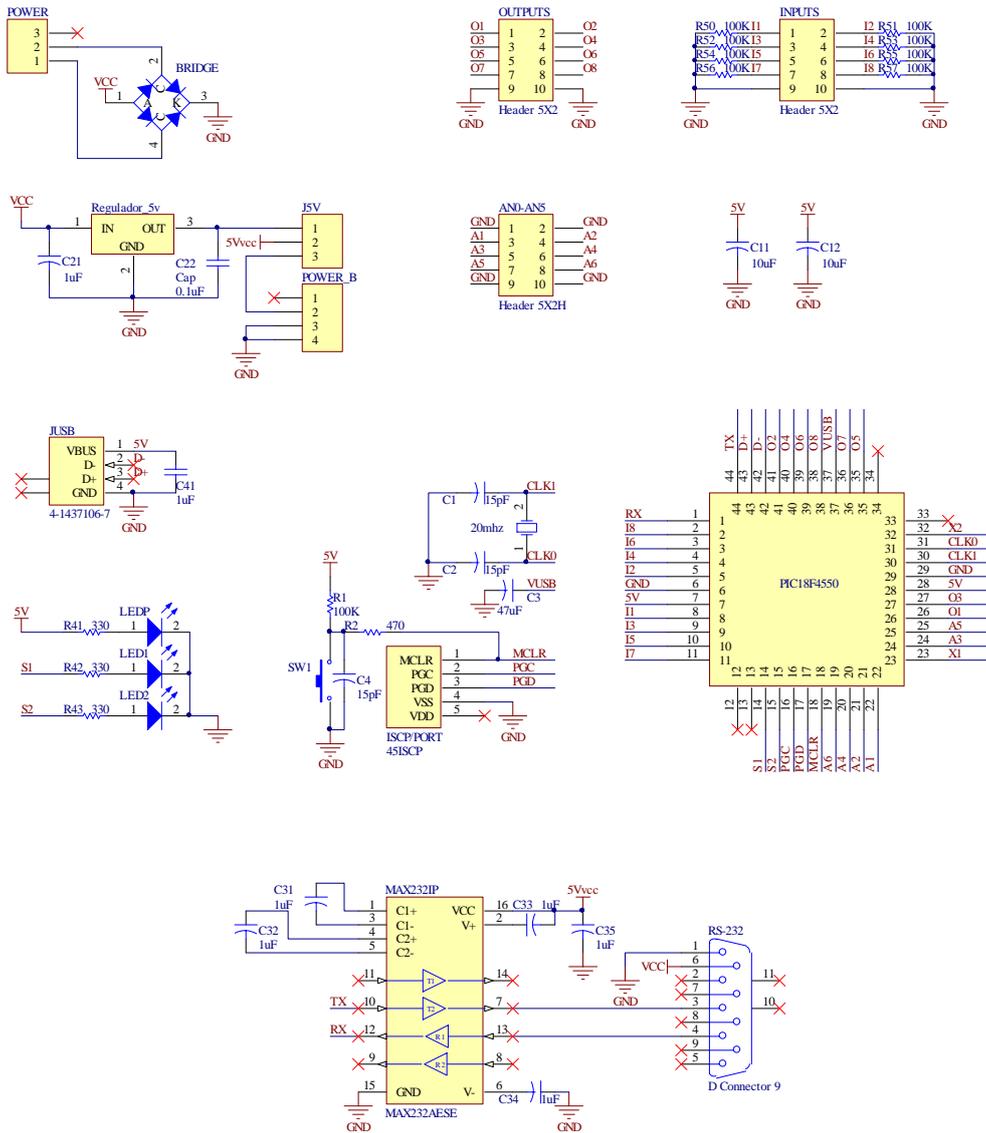


Figura 7 Diagrama esquemático de la tarjeta de comunicación USB

Los periféricos de entrada y salida son compatibles con las tarjetas de la Estación de campo. El diseño del circuito impreso se realizó en una placa de cobre de una sola cara de 100x75 mm como se muestra en la Figura 8.

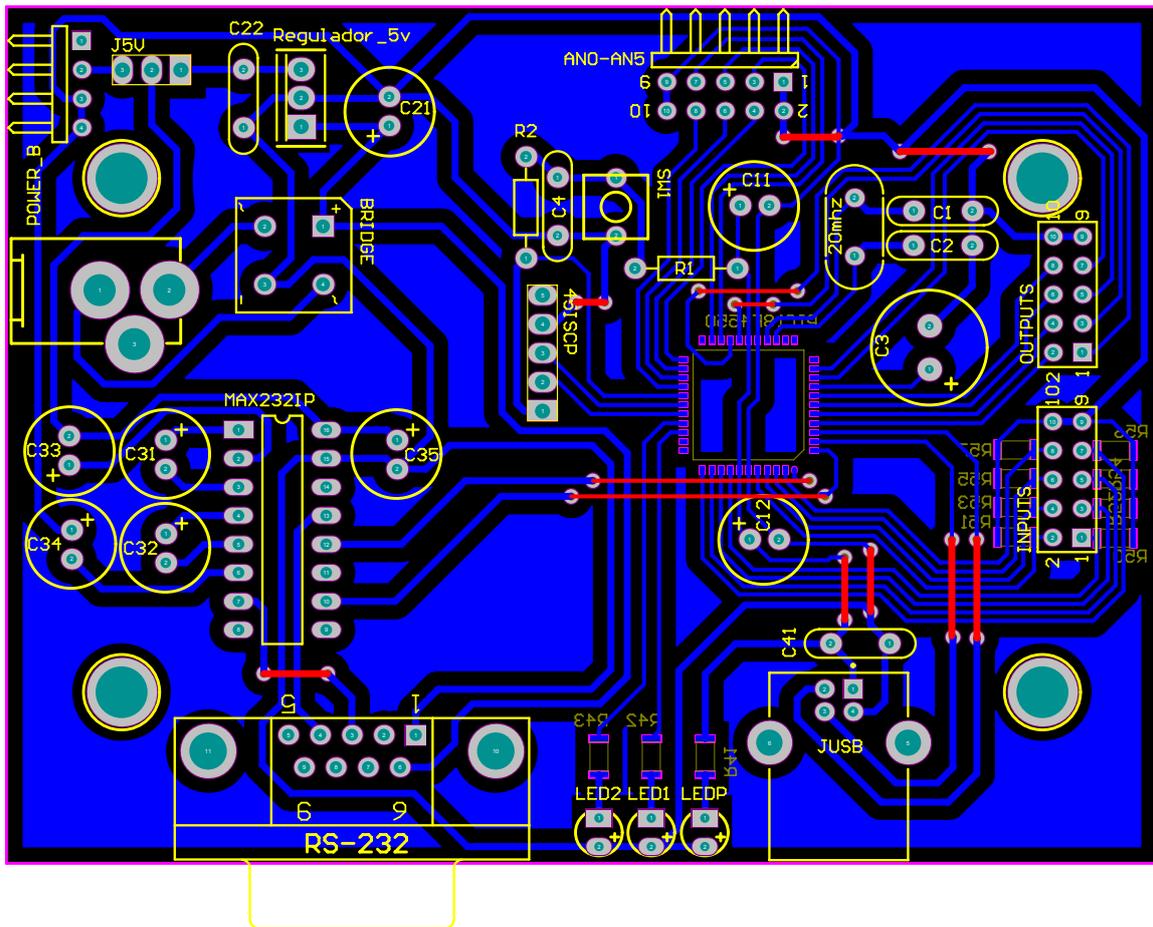


Figura 8 Circuito impreso de la tarjeta de comunicación USB.

## **Estación de Campo**

La estación de campo tiene la función de adquirir continuamente los valores de voltaje de los canales analógicos y las entradas digitales, para tomar una decisión en base al control difuso que se le ha asignado previamente. Estos valores de voltaje corresponden al valor real de la variable que se quiere medir, aplicando un algoritmo en base a un polinomio es posible encontrar la ecuación correcta para la conversión a las unidades de la variable en cuestión.

La estación de Campo también se encarga de la comunicación con el transceptor, y el control de encendido apagado de las salidas digitales, también cuenta con un puerto serie extra para aplicaciones donde se tenga algún dispositivo que se pueda manejar con este protocolo.

La Estación de Campo está compuesta por un módulo inalámbrico, los elementos de medición, un módulo de potencia una fuente de alimentación ya sea de corriente alterna o solar y un módulo de campo, el cual a su vez alberga la circuitería de control y adquisición (Figura 9).

La ubicación de los componentes se señala en diferentes recuadros lo que indica que físicamente están en distintos lugares debido a la naturaleza de sus propiedades. Así el modulo inalámbrico debe ubicarse en un lugar por encima de los 2 metros de altura para facilitar la transmisión y evitar obstáculos. Los elementos de medición como sensores de temperatura, detectores de nivel, medidores de oxígeno, etc., se encuentran en contacto con el agua de los estanques, tuberías y al aire libre por lo que se encuentran fuera del módulo de campo.

El módulo inalámbrico de la Estación de Campo es el mismo que se utiliza en la Estación de Control, de esta manera son totalmente compatibles y se pueden remplazar uno por otro entre las Estaciones de Campo y la Estación de Control.

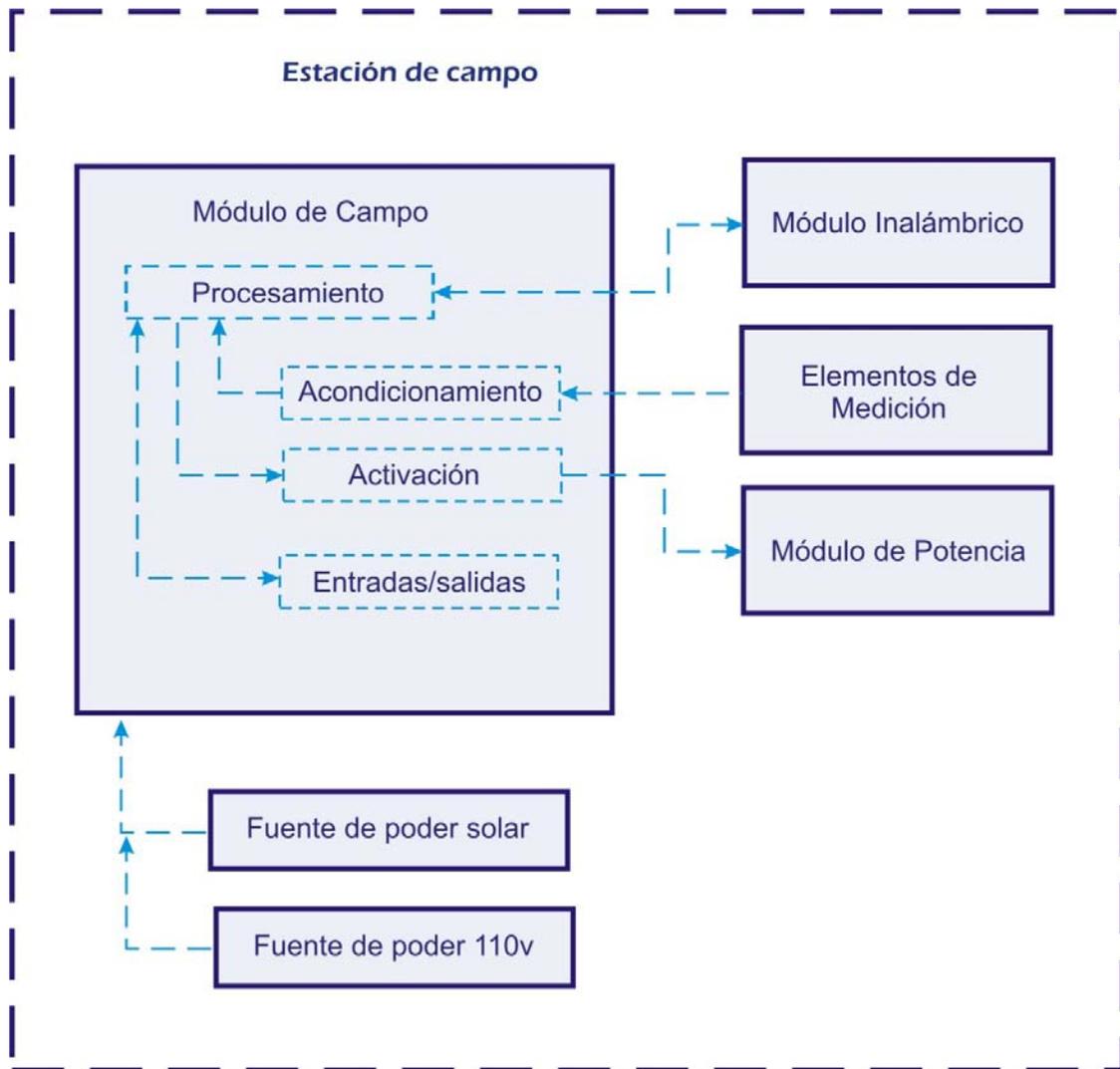


Figura 9 Diagrama de la Estación de Campo

La fuente de energía para el funcionamiento del Módulo de Campo proviene de una Fuente de poder solar o de corriente alterna, esto depende si la instalación eléctrica lo permite y es conveniente por la ubicación dentro de la granja acuícola.

La Estación de Campo puede tener o no los elementos de medición y funcionar solo como un mando a distancia para la activación de actuadores como pueden ser válvulas, motores, bombas, ventiladores, elevadores para cortinas, ventanas, etc. Asimismo la Estación de Campo puede funcionar solo para la adquisición de datos. El funcionamiento final depende de los requisitos a los cuales se aplique la Estación de Campo, como pueden ser la proximidad con los estanques la ubicación de las tuberías, bombas, ventanas y demás infraestructura propia de cada granja acuícola.

### **Módulo de campo**

El Módulo de Campo a su vez está compuesto por una tarjeta de procesamiento, una de entradas/salidas, una de acondicionamiento y otra de activación Figura 9, en caso de que la fuente de alimentación sea de corriente alterna está se encuentra dentro de este módulo ya que ocupa poco espacio y no es necesario un gabinete extra para alojarla.

Los componentes del Módulo de Campo se colocaron dentro de un gabinete de policarbonato de la marca ABB con grado de protección IP65 el cual está protegido contra partículas de polvo y de chorros de agua en cualquier dirección, sus dimensiones son de 27x22x14cm como se muestra en la Figura 10.



Figura 10 Gabinete del Módulo de Campo

## Tarjeta de procesamiento

La tarjeta de procesamiento posee un microcontrolador que ejecuta un programa que se encarga de gestionar la comunicación inalámbrica, la adquisición de datos, el control difuso, la activación de las salidas digitales, y funcionalidades extra a la medida.

El microcontrolador usado es el DSPIC30F5011 de la empresa MICROCHIP el cual fue elegido debido a sus excelentes prestaciones las que destacan son:

- Conjunto de instrucciones reducido (RISC) de alto rendimiento.
- Arquitectura Harvard modificada.
- Compilador C para la arquitectura del conjunto de instrucciones.
- Modos flexibles de direccionamiento.
- 84 instrucciones base.
- Instrucciones de 24-bit, 16-bit en datos.
- 66 Kbytes de memoria flash de espacio de programa.
- 1 Kbyte en memoria no volátil EEPROM.
- Registro de trabajo de 16 x 16 bit.
- Opera hasta 30 millones de instrucciones por segundo (MIPS).
- Operando con reloj externo a 40MHZ
- Utilizando un oscilador entre 4MHZ y 10MHZ con divisor de frecuencia activado (PLL = 4x, 8x, 16x).
- Hasta 41 fuentes de interrupción.
- 8 niveles de prioridades seleccionables por el usuario.
- 5 fuentes de interrupción externa.
- 4 trampas de procesador.

Cualidades de la familia DSP de Microchip:

- Lectura de instrucciones doble.
- Dos acumuladores de 40-bit con lógica opcional de saturación.
- Hardware Fraccional/ multiplicador entero de un ciclo de 17bit x 17bit.
- Todas las instrucciones se realizan en un ciclo de instrucción.

Características de los periféricos:

- Alta corriente de drenado/fuente en puertos de entrada/salida: 25mA/25mA.
- Cinco temporizadores/contadores de 16bit, opcionalmente un par de temporizadores de 16bit pueden formar uno de 32bit.
- Captura de 16 bits de entrada de funciones.
- Funciones de salida de comparación/PWM de 16bit.
- Interfaz de conversión de datos (DCI) soporta protocolos de codecs de audio, incluyendo I<sup>2</sup>C y AC '97.
- SPI de 3 hilos (soporta 4 modos de comunicación).
- El módulo I<sup>2</sup>C soporta modos Multimaestro/esclavo y direccionamiento de 7 a 10 bit.
- Dos módulos UART direccionales con buffers FIFO.
- Dos módulos de buses tipo CAN de acuerdo al estándar CAN 2.0B.

### ***Programación***

Se utilizó la misma metodología que en la estación de control, siguiendo los requisitos que se plantearon en la descripción, también se utilizó el compilador PCWH Compiler (Custom Computer Services Incorporated, 2008).

### ***Control Difuso***

Se selecciono el control difuso como una alternativa de control para el controlador PID, debido a que en este tipo de control se puede incluir de manera explícita el conocimiento del experto, como son los productores tradicionales, los Biólogos y Veterinarios que se encargan de dar el manejo y las dietas de cada especie que se quiera cultivar.

El controlador propuesto posee dos entradas para las funciones de membrecía, las cuales se dan como el error y la diferencia del error ya que el objetivo es llevar la variable de control a un punto deseado, es así que se forman cinco conjuntos para las variables lingüísticas en base a la gran cantidad de rangos que se pueden abarcar con estos cinco conjuntos, se muestran en la Figura 11 y en la Figura 12.

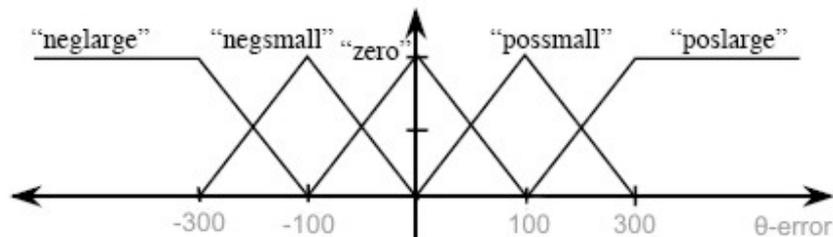


Figura 11. Función de membrecía para el error

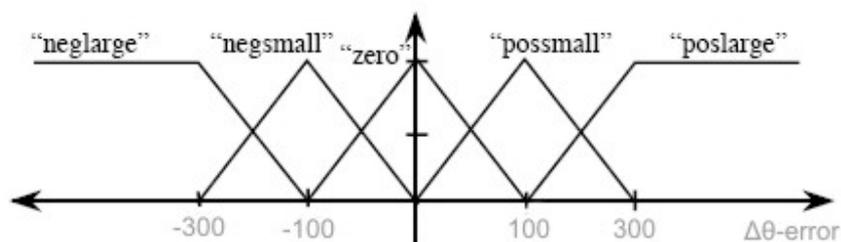


Figura 12. Función de membrecía para la diferencia del error.

En la codificación en el programa se tiene la siguiente asignación representativa para las variables lingüísticas:

Valor n	Variable Lingüística	Representación Numérica
$n < \text{Lim. Inferior}$	Muy Negativo	1
$\text{Lim. Inferior} < n < \text{Lim. Menor}$	Negativo	2
$\text{Lim. Menor} < n < \text{Lim. Mayor}$	Centro	3
$\text{Lim. Mayor} < n < \text{Lim. Superior}$	Positivo	4
$\text{Lim. Superior} < n$	Muy Positivo	5

Tabla 2. Asignación de variables lingüísticas.

Para la defusificación se utiliza el siguiente conjunto:

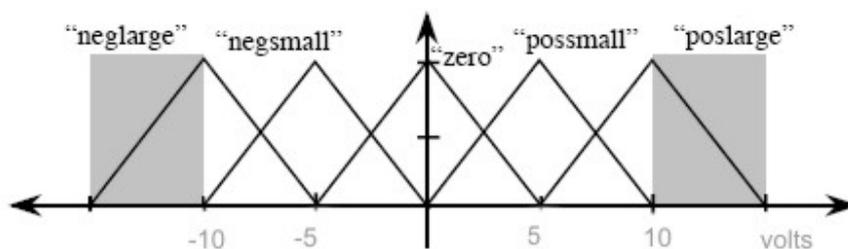


Figura 13. Función de membresía de salida.

Variable Lingüística	Representación Numérica	Valor en bits
Muy Negativo	1	0
Negativo	2	1024
Centro	3	2048
Positivo	4	3072
Muy Positivo	5	4096

Tabla 3. Asignación numérica de las variables de salida.

Las variables de salida tienen una representación numérica utilizada para la programación de los índices que representan el valor de las variables lingüísticas (Tabla 3), a su vez en la defusificación los valores de voltaje asignados a la variable de salida se delimitan en un rango de 0 a 4095, de esta manera el tiempo de procesamiento ya que se requiere menos conversiones de unidades. El código completo se anexa al final del manual.

### ***Circuito Impreso de la tarjeta de procesamiento***

Para llegar a esta versión se realizaron cinco prototipos diferentes al que finalmente se obtuvo este y por razones de espacio solo se incluirá la última.

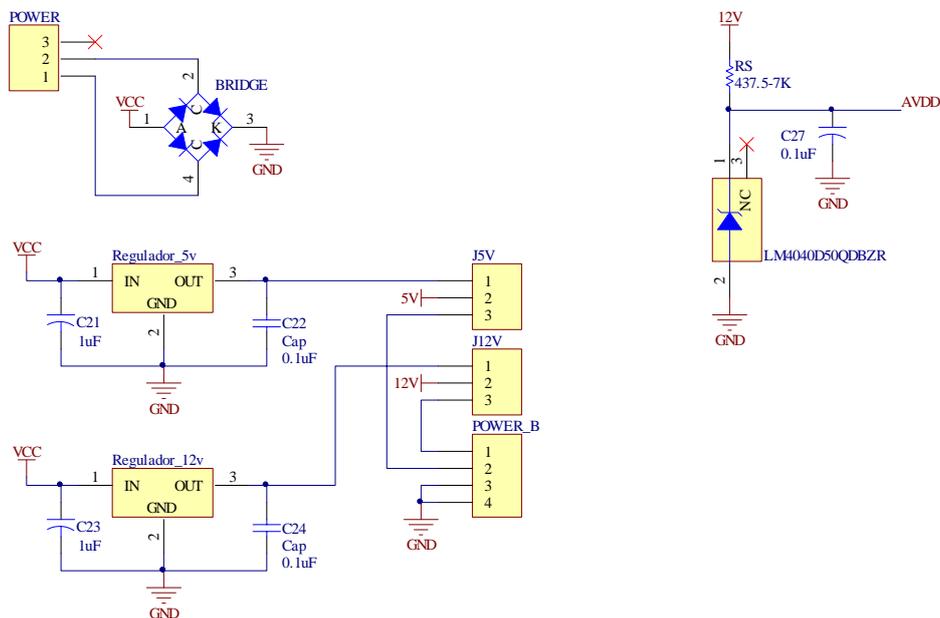
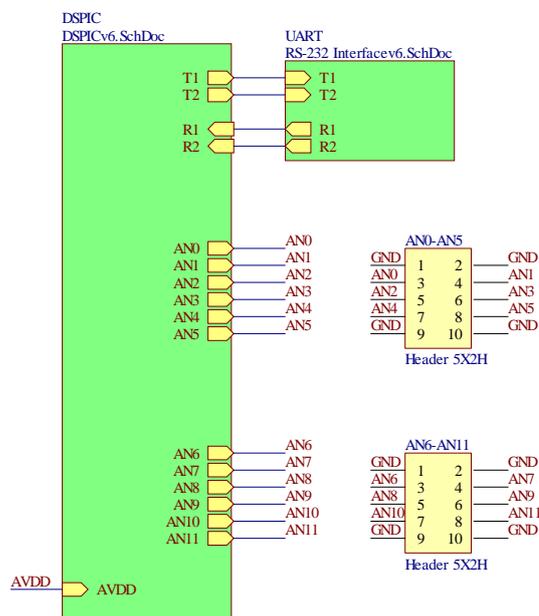


Figura 14. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 1 de 3.

Esta versión (Figura 14) cuenta con dos puertos RS-232, dos tomas alimentación de 8 a 24volts con protección de polaridad ó directamente a 5v, a manera de conectores se dispone de dos puertos de 6 canales analógicos cada uno, un puerto de 8 entradas digitales y otro de 8 salidas, además de dos puertos

de comunicación SPI, así como 5 leds indicadores, botón de reset y puerto de programación ICSP<sup>15</sup>.

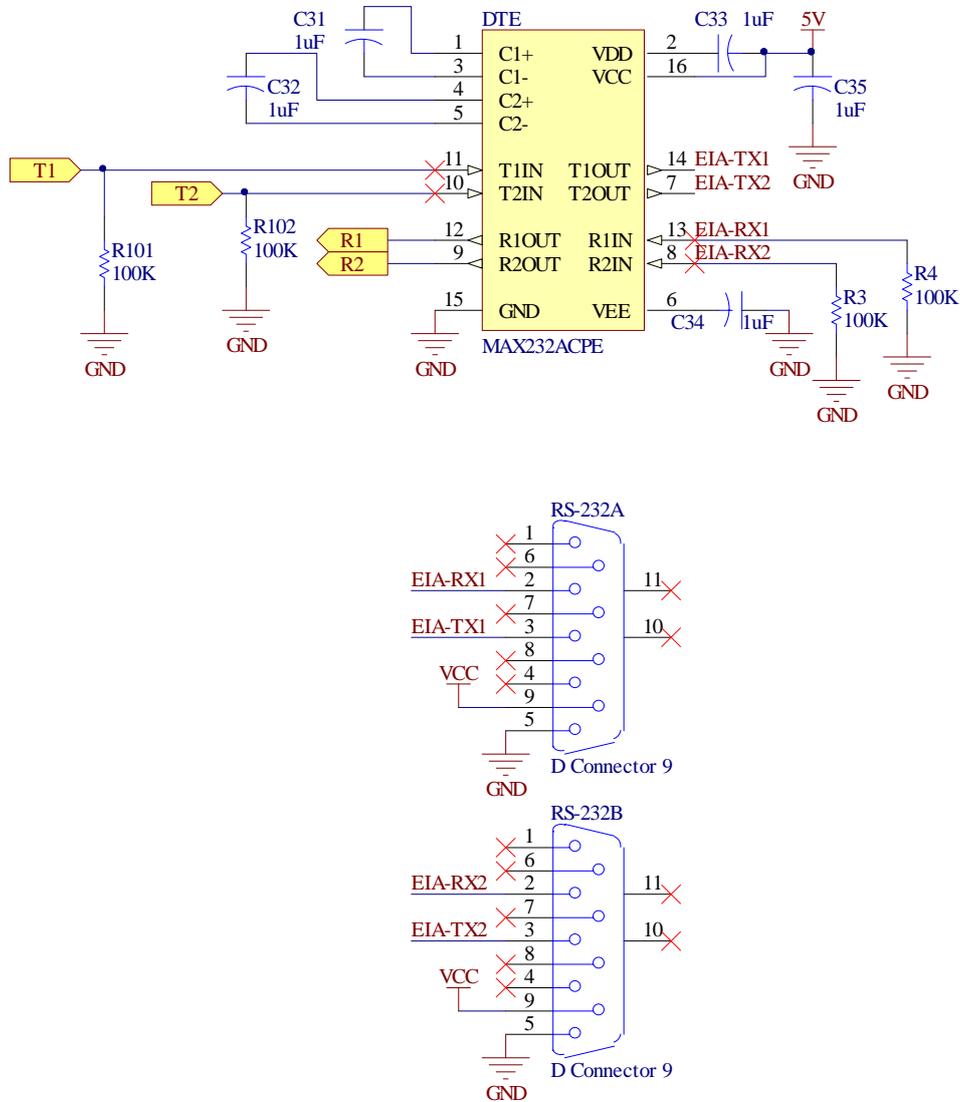


Figura 15. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 2 de 3.  
 El DSPIC30F5011 tiene 64 patillas en un encapsulado de montaje superficial, de igual manera las resistencias empleadas como pull-up y pull-down son de montaje superficial para optimizar espacio en el diseño.

<sup>15</sup> ICSP – In Circuit Serial Programmer

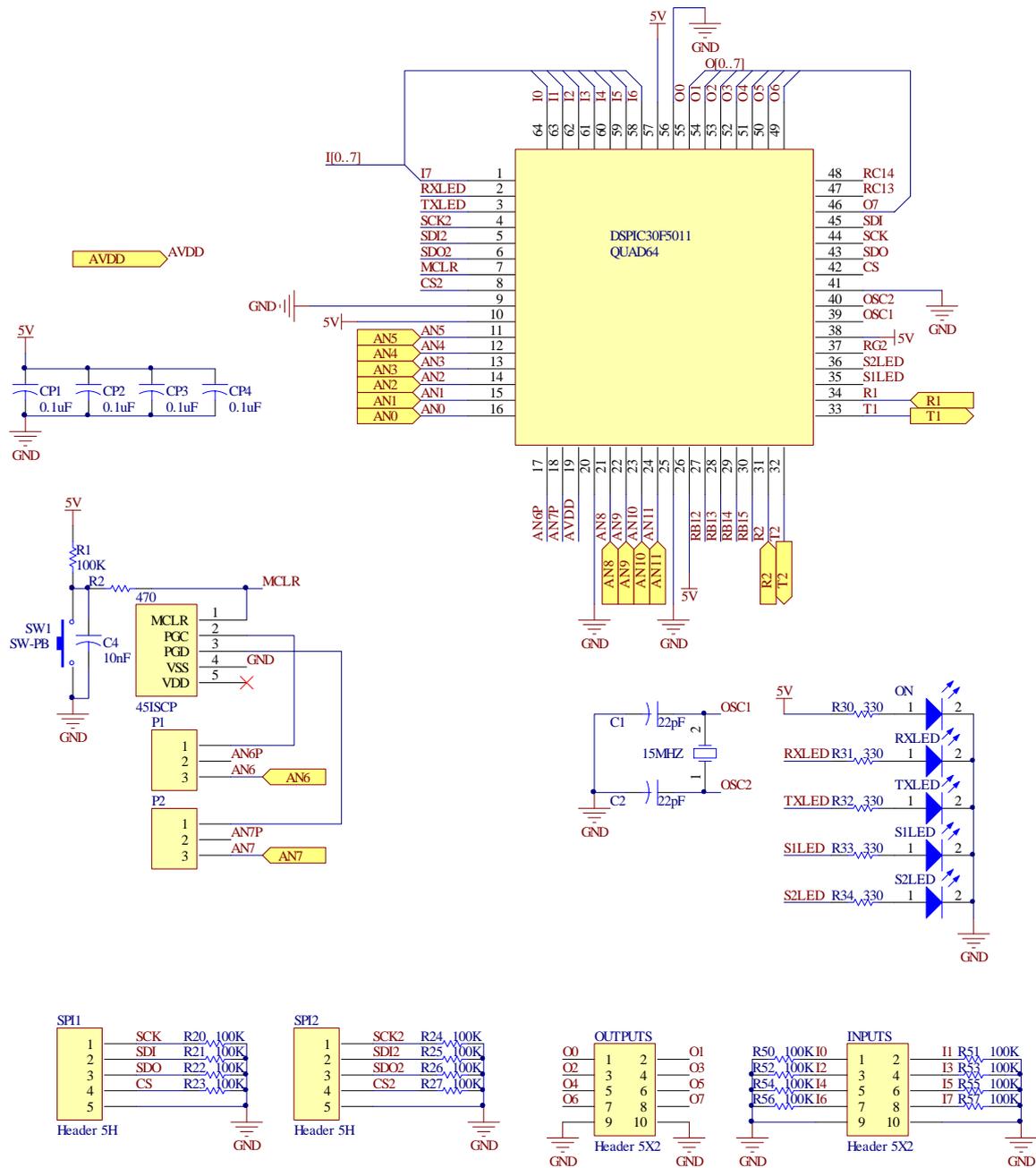


Figura 16. Diagrama de la tarjeta de procesamiento parte 3 de 3.

Las dimensiones del circuito impreso son de 75x100mm con cuatro orificios colocados de manera uniforme para su montaje (Figura 17).

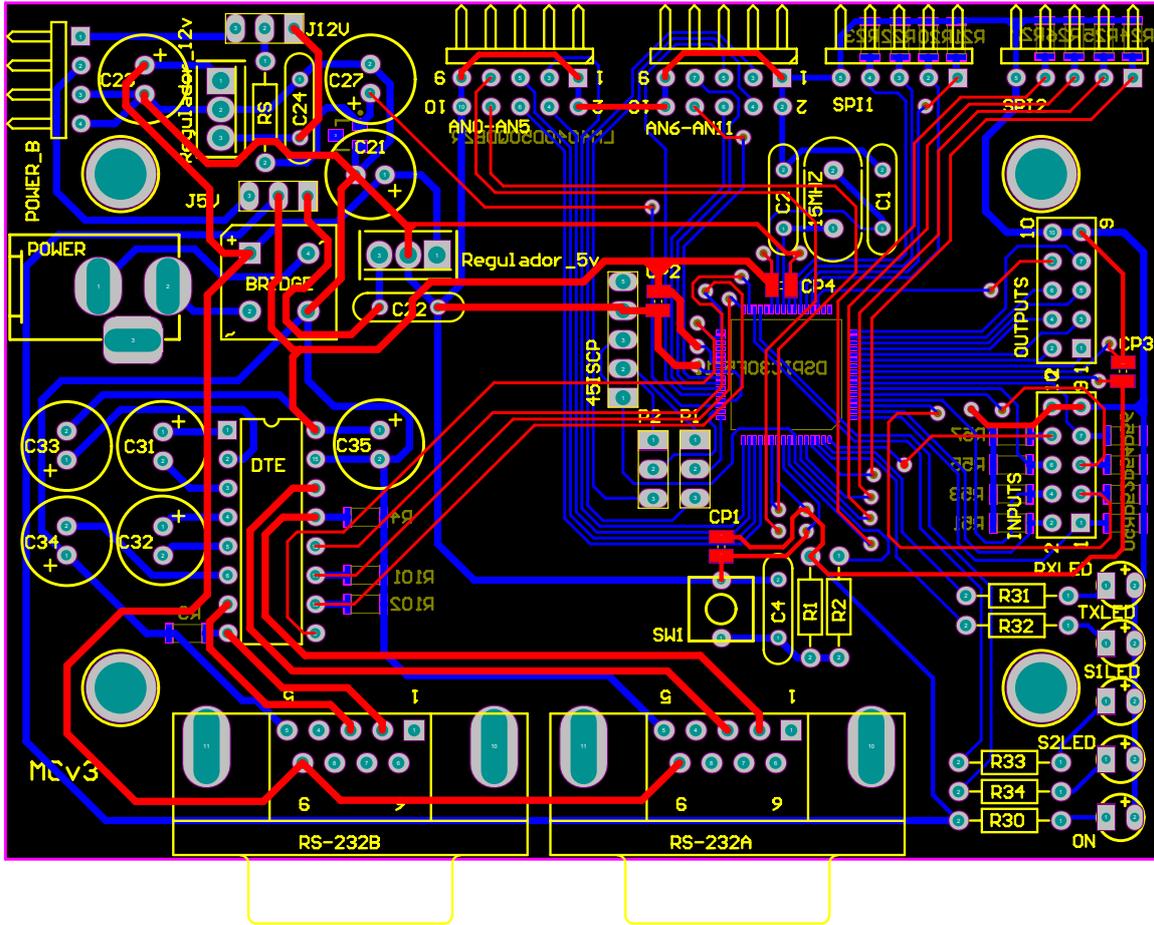


Figura 17. Circuito impreso de la tarjeta de procesamiento

## **Tarjeta de acondicionamiento**

Para el acondicionamiento de señal se propusieron dos tipos: uno es un filtro pasivo y otro activo, ambos son filtros paso bajas, esto quiere decir que va a atenuar las componentes de alta frecuencia para nuestro sistema, que suelen ser responsables de lecturas no deseadas.

Se realizaron dos prototipos compatibles entre sí para la tarjeta de acondicionamiento la primera incluye 10 entradas analógicas con filtro pasivo y 4 entradas con el filtro activo además que se incluyó en ese diseño la tarjeta de procesamiento como se muestra en las figuras de la página 66, 67 y 68.

El segundo prototipo final se implementó utilizando 6 filtros activos con componentes del mercado local, además se adecuó la tarjeta a las mismas dimensiones de la tarjeta de procesamiento para que puedan ser fácilmente ensamblarse en una unidad dentro del gabinete del Módulo de Campo.

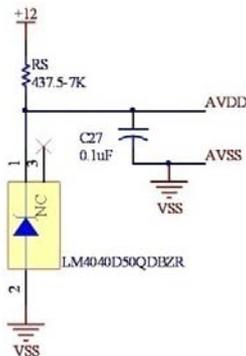
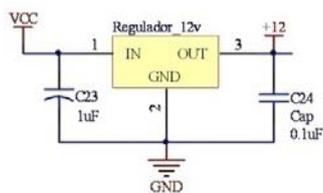
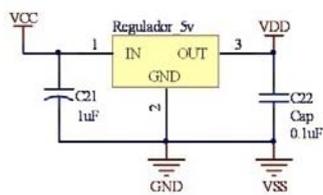
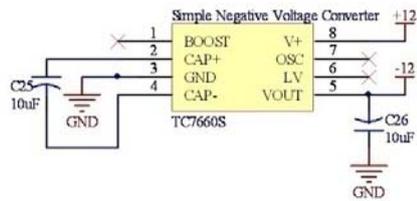
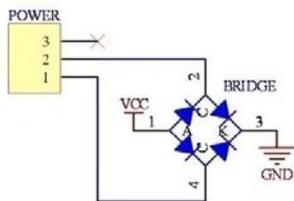
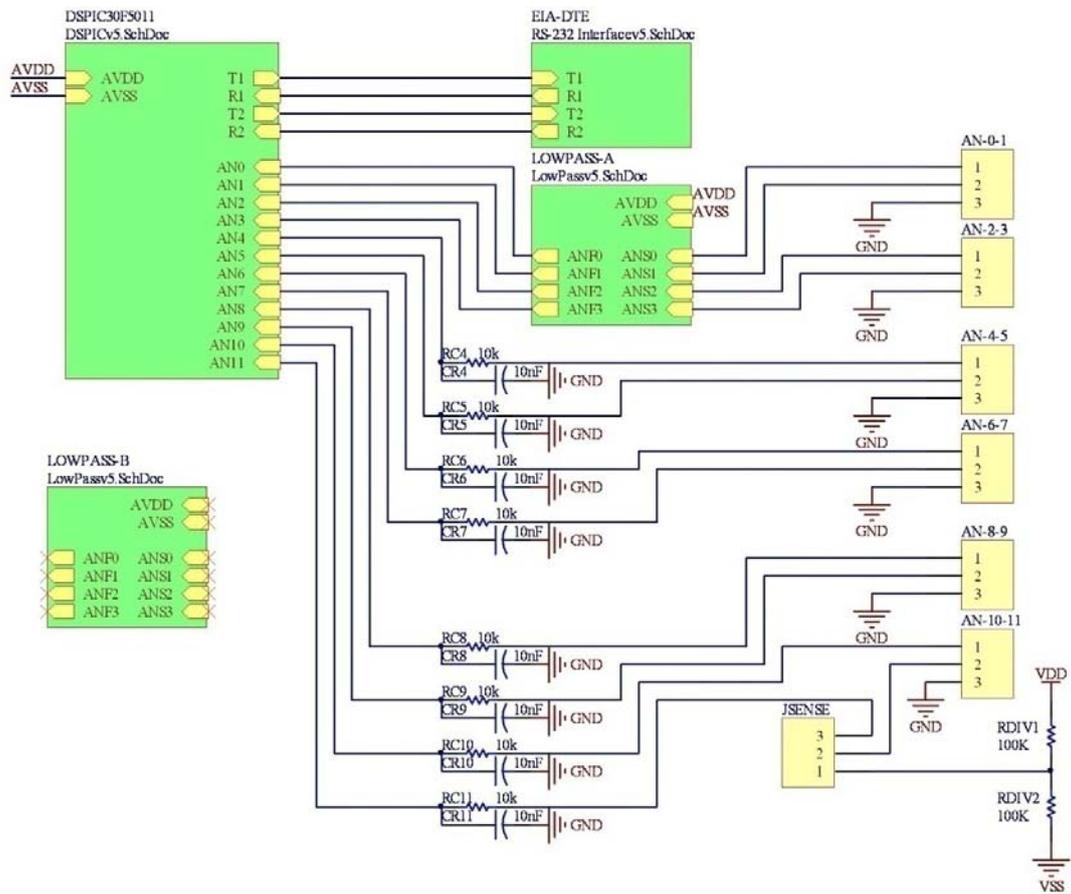


Figura 18. Tarjeta de acondicionamiento y procesamiento parte 1 de 3.



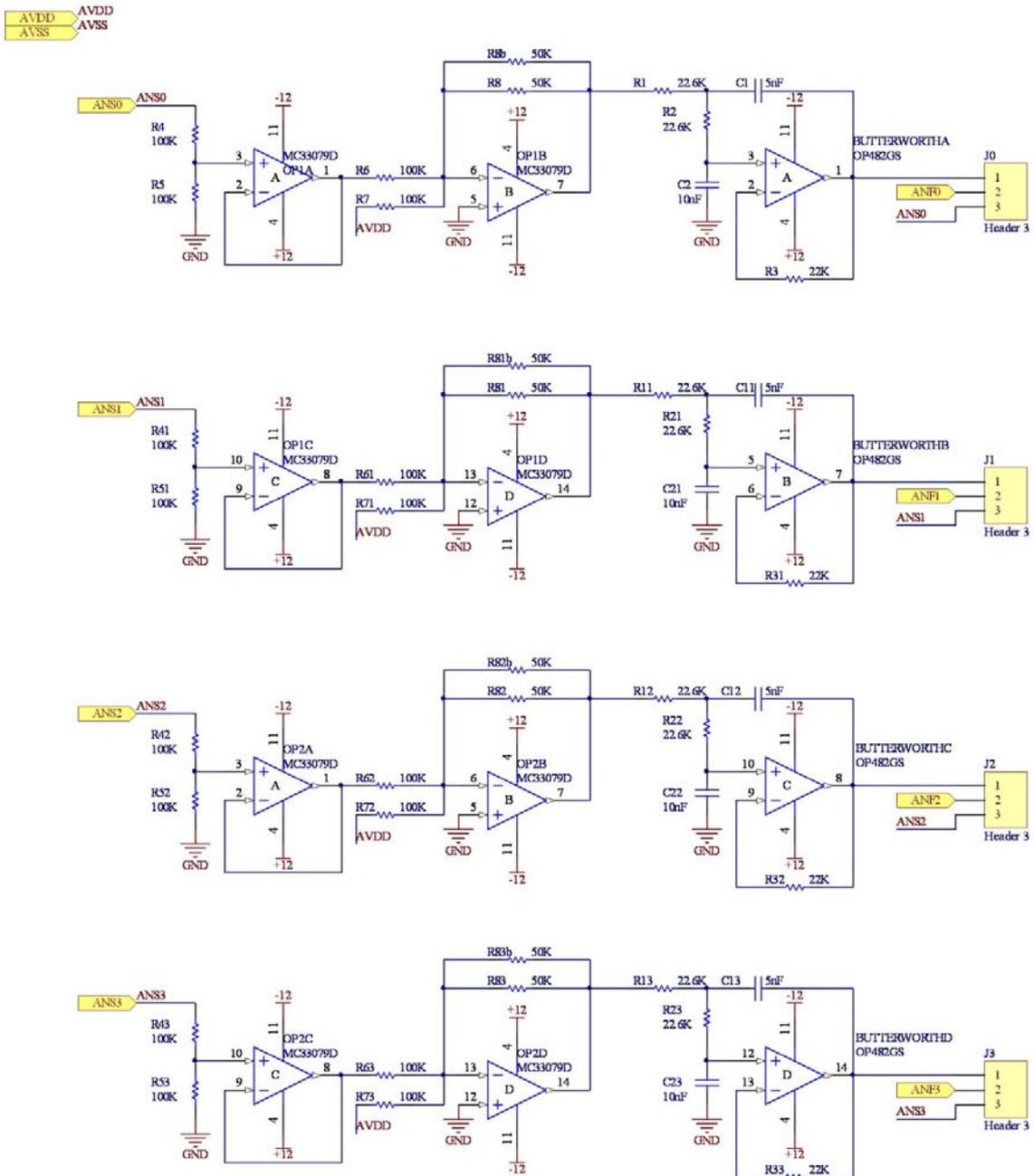


Figura 20. Tarjeta de acondicionamiento y procesamiento parte 3 de 3.

El circuito impreso se realizó en una placa de doble cara de 120x140mm como se muestra en la Figura 21.

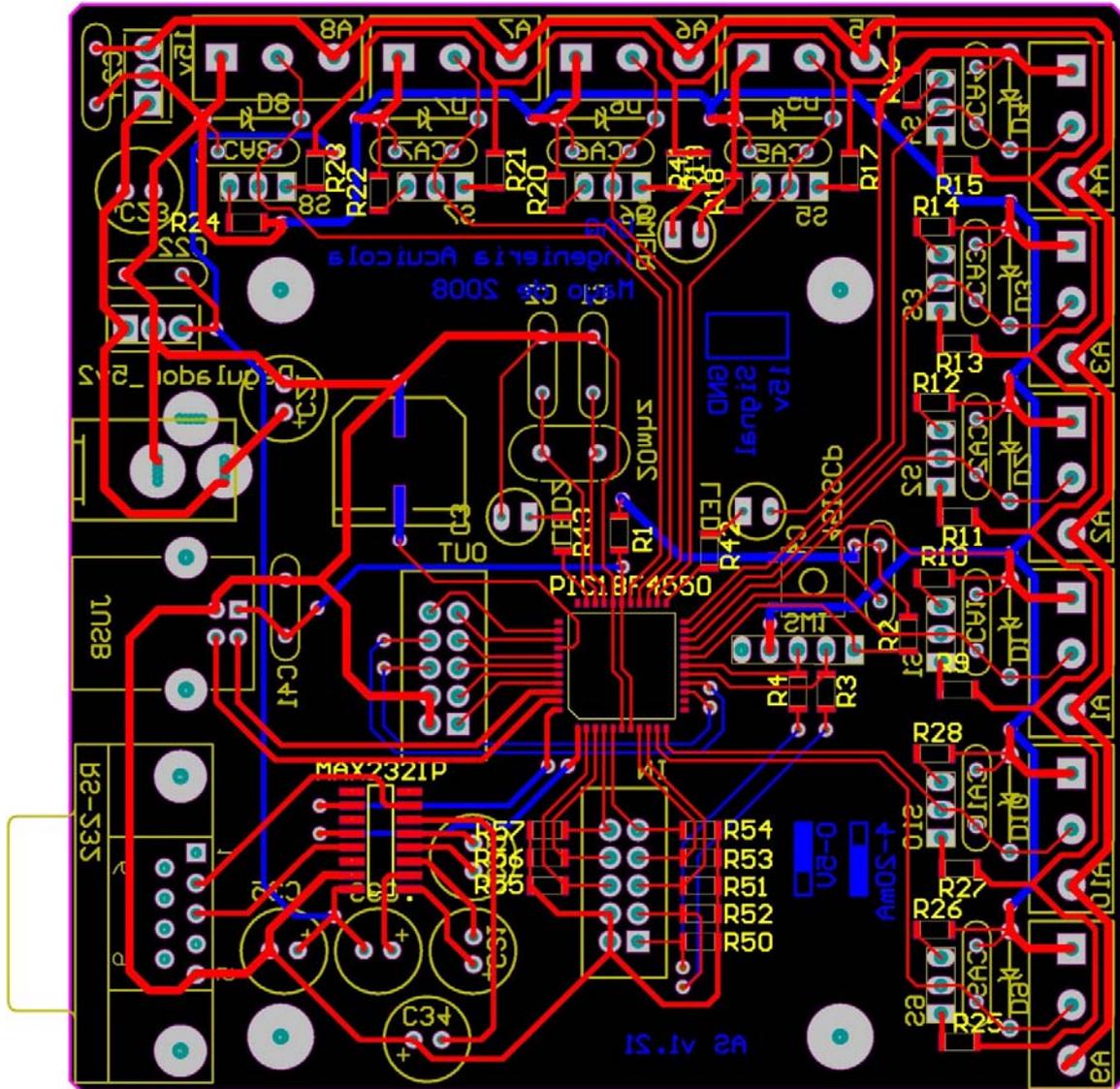


Figura 21. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento y procesamiento.

La tarjeta de solo acondicionamiento (Figura 22) posee 6 filtros activos que pueden ser configurados cambiando los valores de las resistencias y/o capacitores, a cada tarjeta de procesamiento se le puede conectar dos tarjetas de acondicionamiento, con sus puertos de 10 patillas.

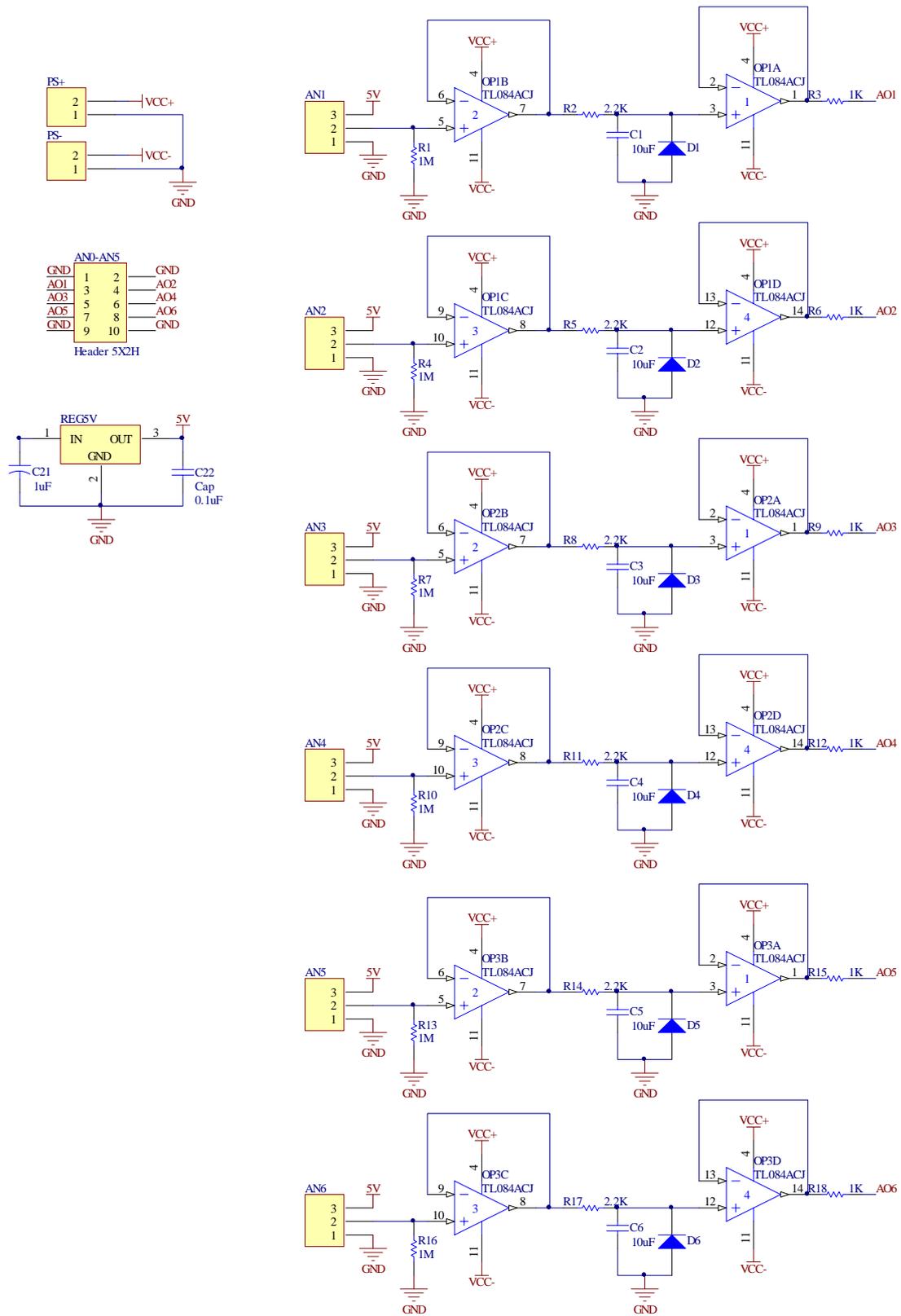


Figura 22. Diagrama de la tarjeta de acondicionamiento.

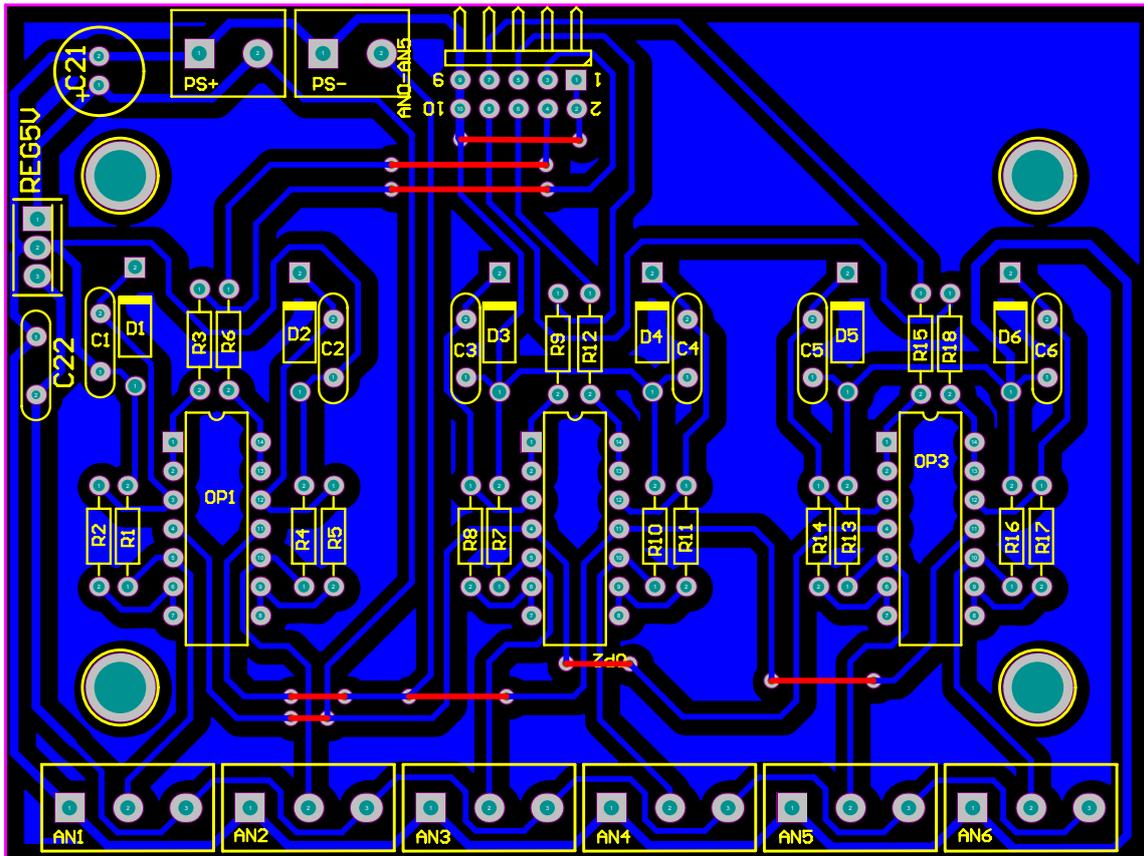


Figura 23. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento.

## Tarjeta de entradas/salidas

Esta tarjeta a través de sus dos puertos, uno de entradas y uno de salidas, puede manejar distintos valores de voltaje.

Las ocho entradas digitales están opto acopladas mediante el circuito PS2501 el cual tiene una frecuencia de conmutación de 80KHz y un aislamiento de 600v, y además no es sensible a la energía estática como otros optoacopladores comunes. El valor de la resistencia de entrada al colector se puede ajustar para tener un amplio rango de operación siempre y cuando la corriente no supere los 25mA ni los 50v de colector a emisor.

Las ocho salidas se componen de un relevador que puede manejar hasta 5 ampere ó 110 volts.

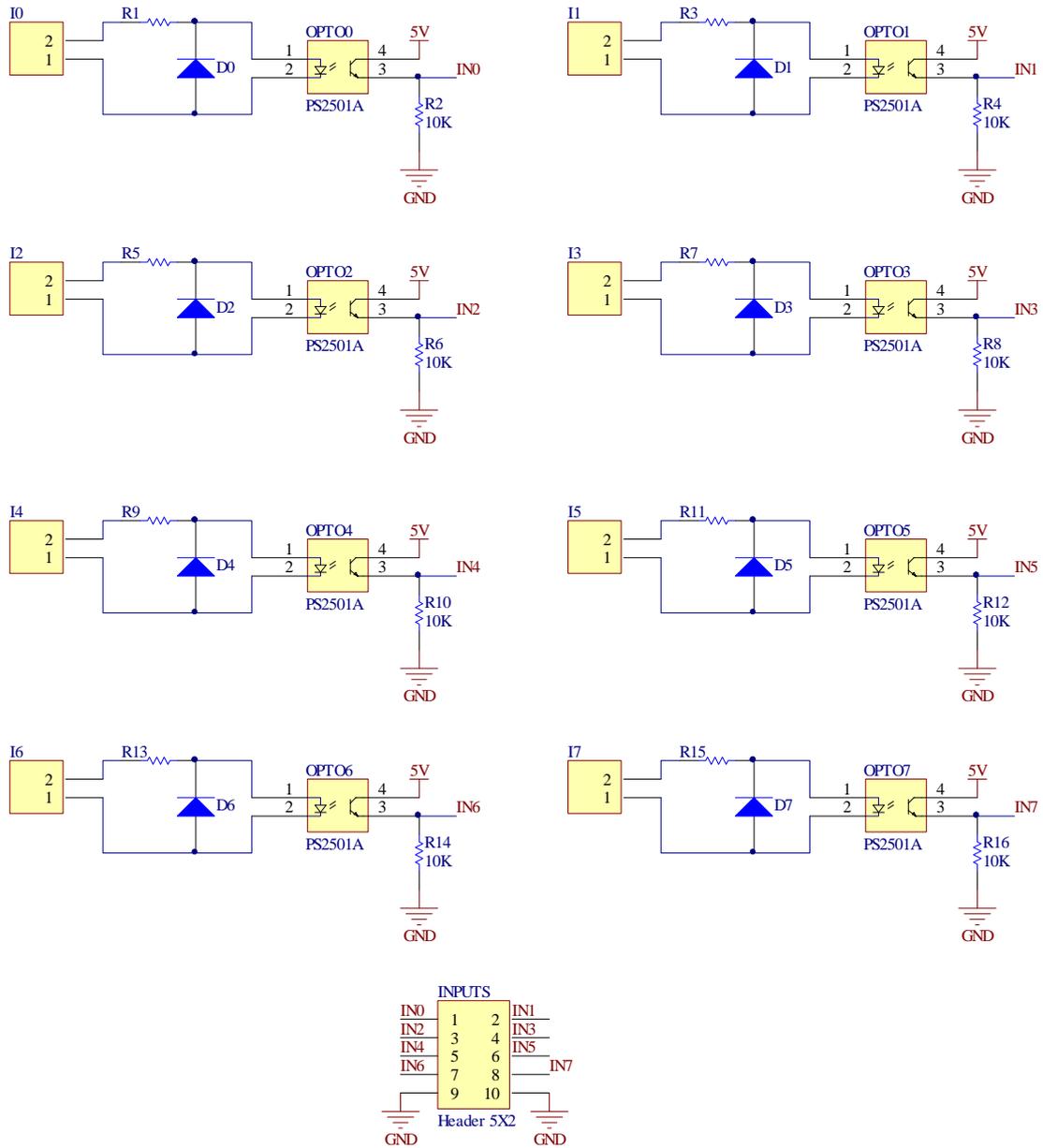


Figura 24. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 1 de 3.

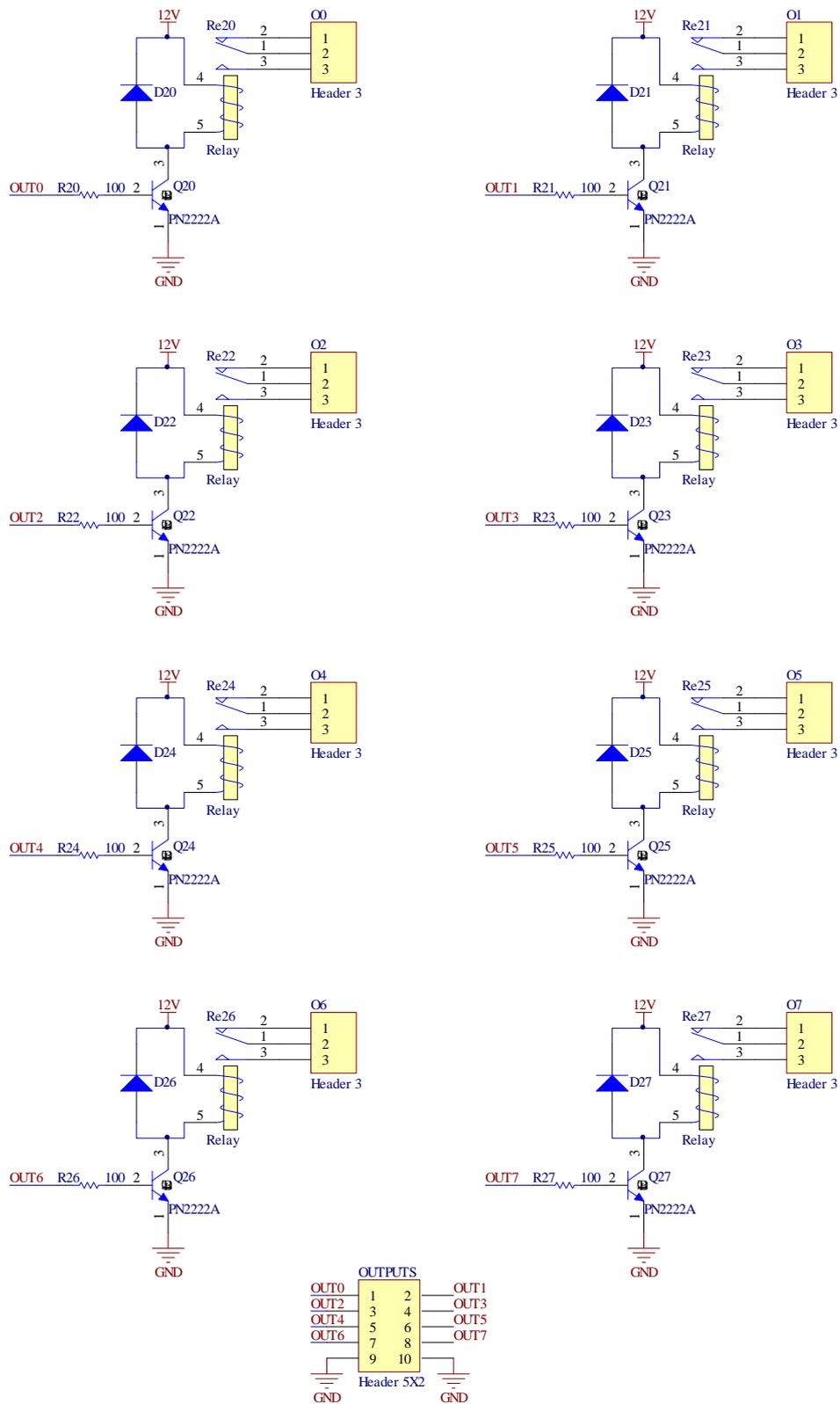


Figura 25. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 2 de 3.

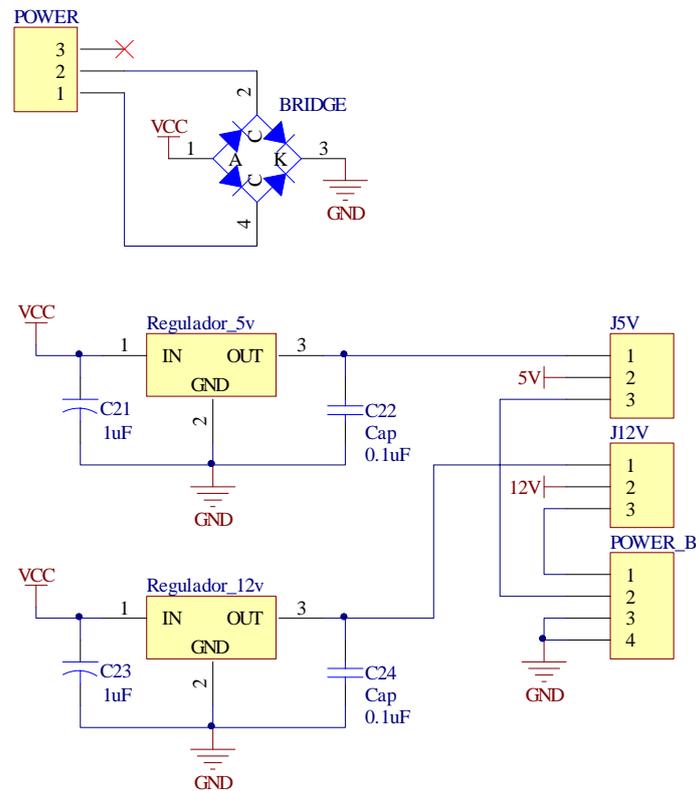


Figura 26. Diagrama de la tarjeta de entradas/salidas parte 3 de 3.

El circuito impreso tiene las dimensiones de 135x120mm, y la disposición de los orificios para el montaje coinciden con los de la tarjeta de procesamiento y tarjeta de acondicionamiento.

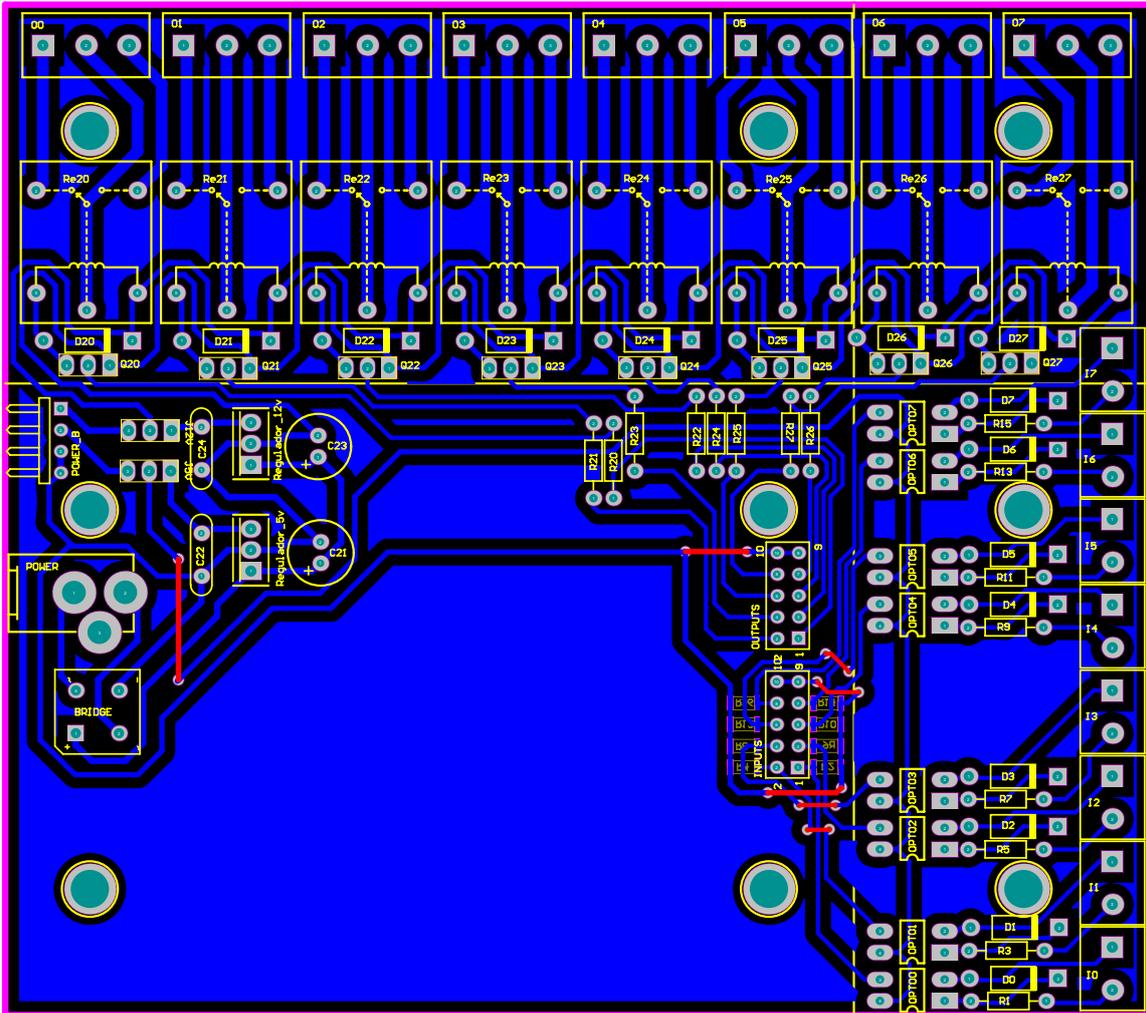


Figura 27. Circuito impreso de la tarjeta de entradas/salidas.

### Fuente de poder solar

La energía solar es la alternativa cuando no se posee de una red eléctrica cercana, para su realización se conectaron dos baterías de 12v de acido-plomo de 4A/h, en un arreglo en paralelo para así tener 12 volts positivos y 12 negativos de igual manera se tienen dos paneles solares (solo encaso de utilizar dos módulos de campo).

Los paneles solares suministran la energía aproximadamente de 250mA y hasta 21volts, normalmente entregan una potencia de 5Watt de esta manera es posible recargar las baterías.

Se utilizo una fuente conmutada (Figura 28) para regular la carga de las baterías, se utilizó el circuito LM2575T que posee la mayor parte de la circuitería necesaria y solo se apoya del filtro LC y un par de diodos de protección.

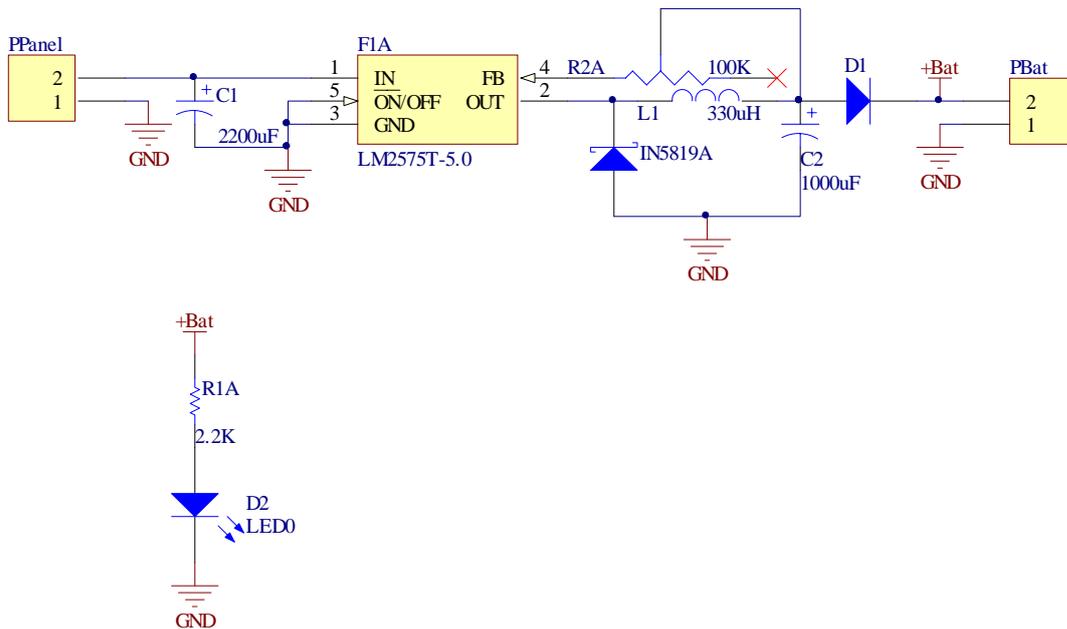


Figura 28. Diagrama de la fuente conmutada.

Una fuente conmutada de este tipo tiene una eficiencia del 70% contra el 50% de los reguladores convencionales que drenan el exceso de voltaje disipando gran cantidad de calor. El valor de carga de la batería se puede ajustar con la resistencia variable en un rango de 30volts a solo 5volts, dependiendo de la batería a utilizar.

El circuito impreso (Figura 29) tiene un tamaño reducido de 40x55mm para su fácil instalación en pequeños gabinetes.

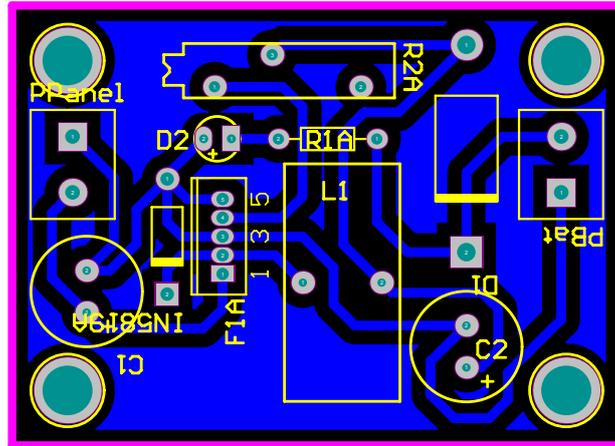


Figura 29. Circuito impreso de la fuente conmutada

## IV Resultados

La implementación del prototipo se realizó en diferentes etapas, a continuación se muestra la tarjeta de comunicación USB en la que se pueden observar los distintos periféricos, esta tarjeta se maquino en la Universidad Autónoma de Querétaro.

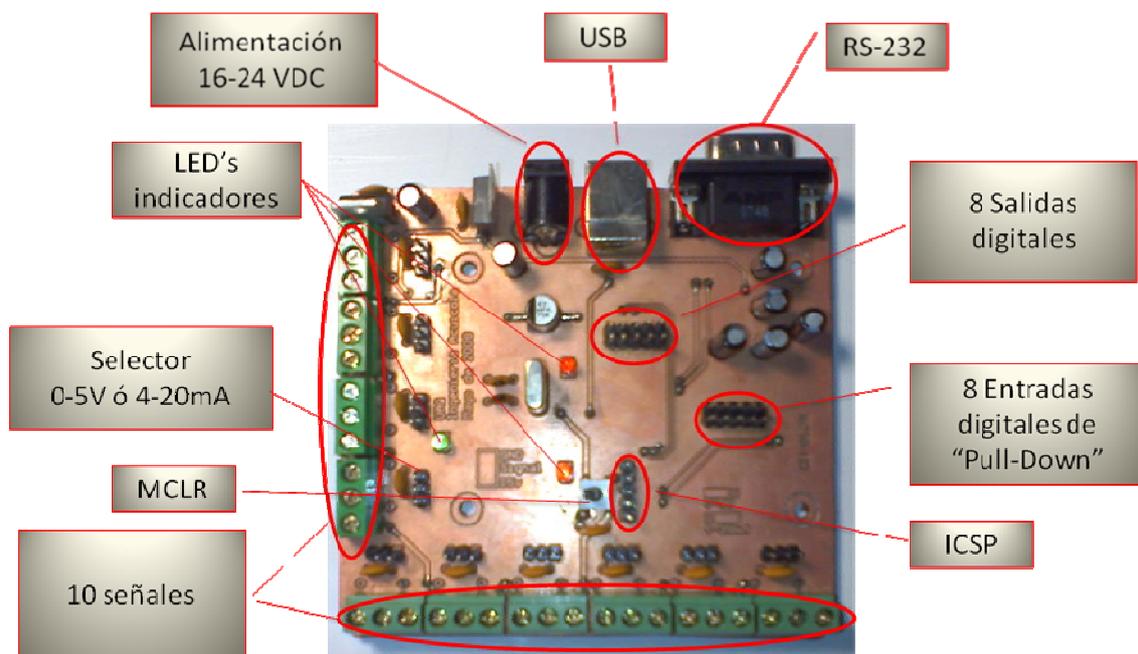


Figura 30. Descripción de la tarjeta de comunicación USB.

La operación normal de la tarjeta se ve como en la Figura 31 en la que el led en color azul significa que el módulo ha sido enumerado correctamente por la computadora, el led en color rojo indica que el microcontrolador esta en funcionamiento.

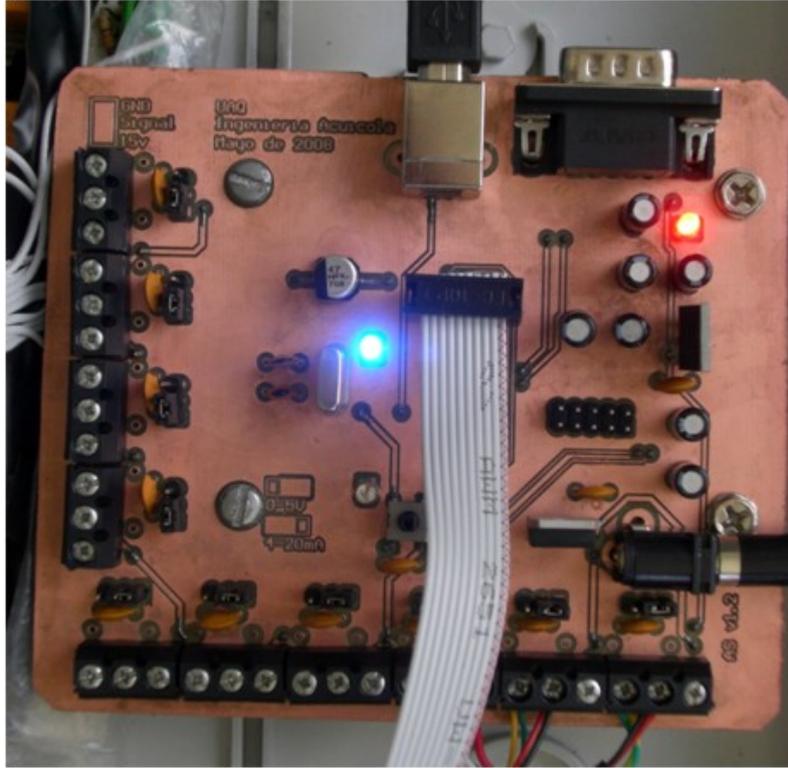


Figura 31. Tarjeta de comunicación USB en funcionamiento.

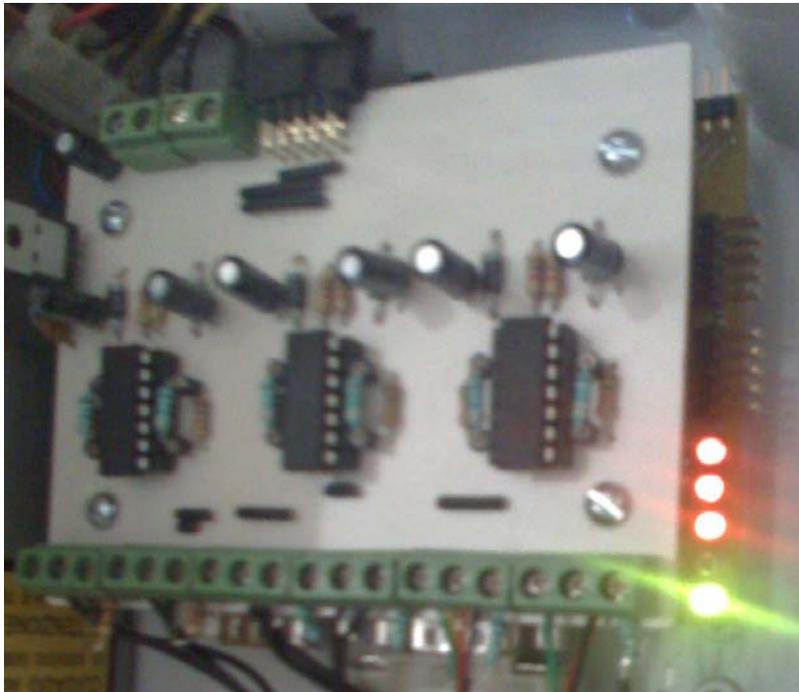


Figura 32. Tarjeta de procesamiento y acondicionamiento operando.

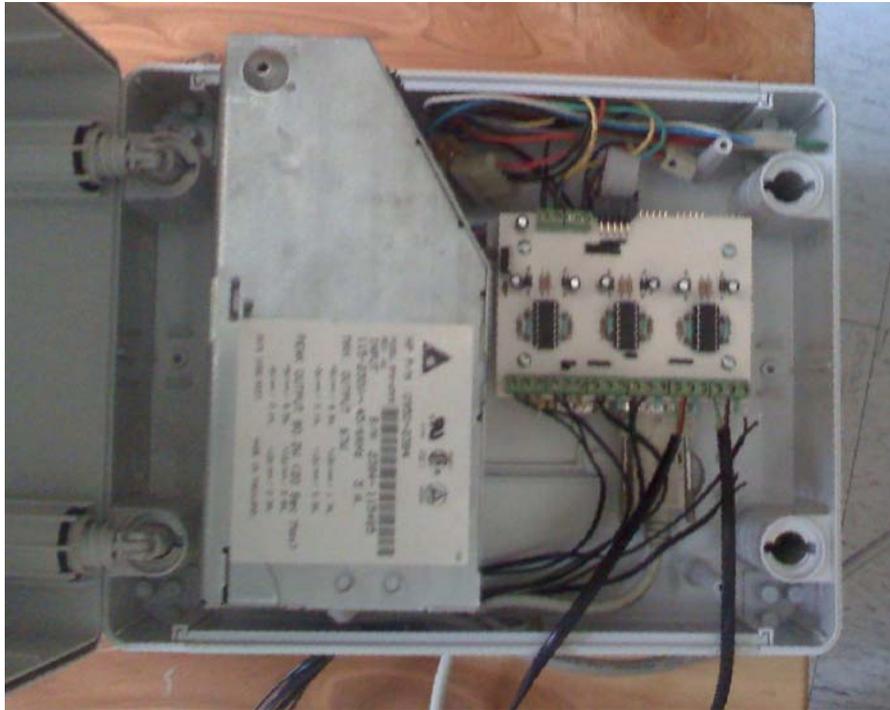


Figura 33. Módulo de Campo.

La tarjeta de procesamiento y la tarjeta de acondicionamiento se ensamblan como se ve en la Figura 32, la Figura 33 muestra además la fuente de alimentación dentro del gabinete, ahí se colocaron a sensores de temperatura, dos tipo RTD y dos tipo termopar.

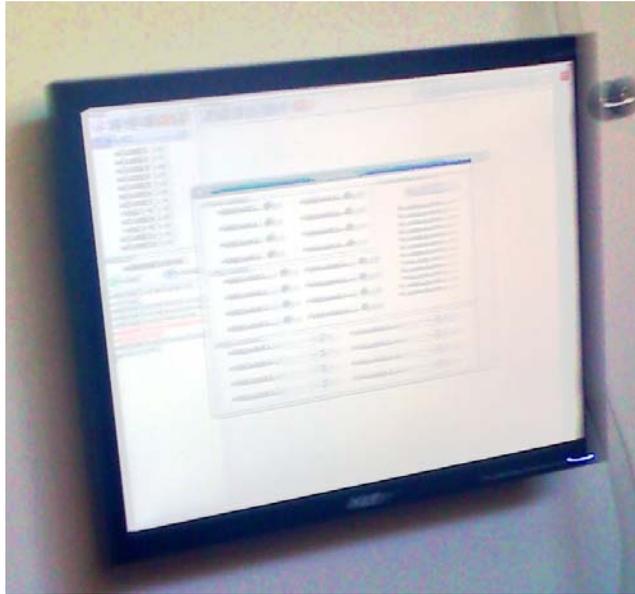


Figura 34. Interfaz de usuario.

La interfaz de usuario se muestra en la Figura 34 en un monitor de pantalla plana de 15", el CPU de la computadora y la tarjeta de comunicación USB se alojan dentro de un gabinete metálico de la marca ABB con dimensiones de 90x50x30cm.

Se realizaron pruebas de comunicación de los módulos inalámbricos y el mejor tiempo de respuesta sin presentar errores es de 70ms, como se muestra en la Figura 35 y en la Figura 36.

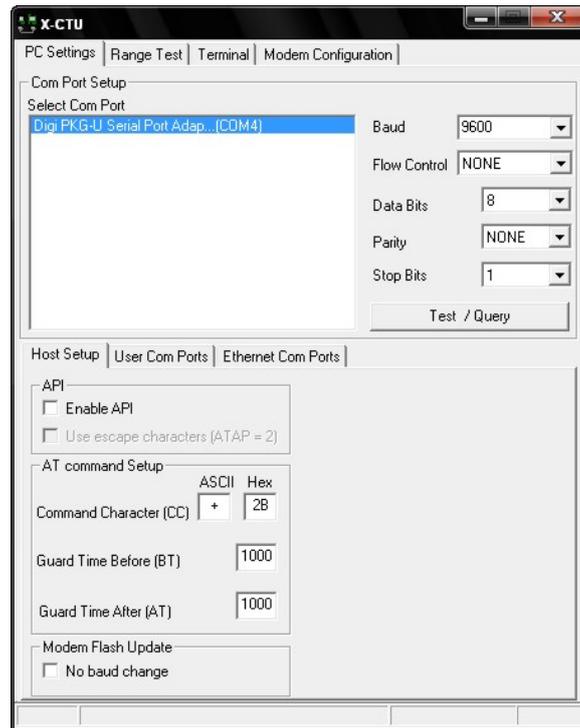


Figura 35. Configuración del transceptor inalámbrico.

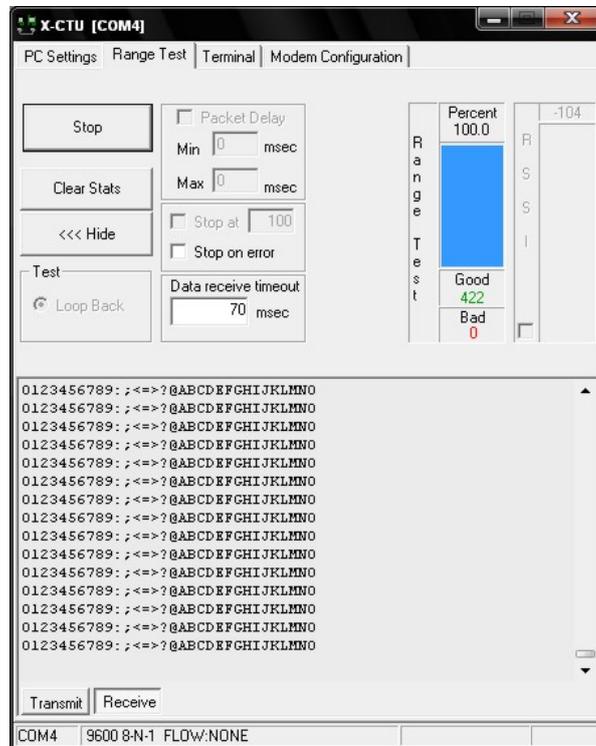


Figura 36. Prueba de comunicación del transceptor.

### **Filtro RC**

Es un filtro sencillo que utiliza una resistencia en serie y un capacitor en paralelo a tierra Figura 37, la atenuación en -3db nos da la frecuencia de corte para nuestro filtro, así tenemos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Tomando en cuenta consideraciones prácticas en el que el muestreo de la estación de campo no supera 1000 muestras por segundo y considerando componentes comerciales disponibles se propuso:

$$R = 1K\Omega$$

$$C = 10nf$$

Con lo que se obtiene una frecuencia de corte de aproximadamente 1500HZ lo cual cumple con lo especificado para el filtro.

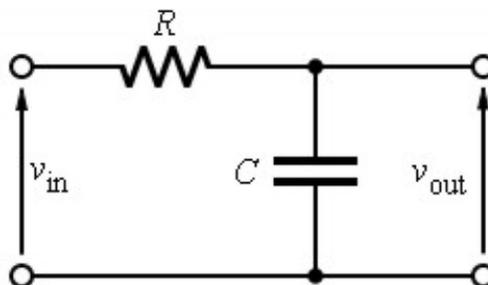


Figura 37. Filtro RC

### **Filtro Butterworth**

Este filtro presenta un mayor rechazo al ruido y una mayor atenuación de frecuencias altas, este filtro es de segundo orden utilizando la topología Sallen-Key (Figura 38) la cual tiene una función de transferencia:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + C_2(R_1 + R_2)s + C_1C_2R_1R_2s^2}$$

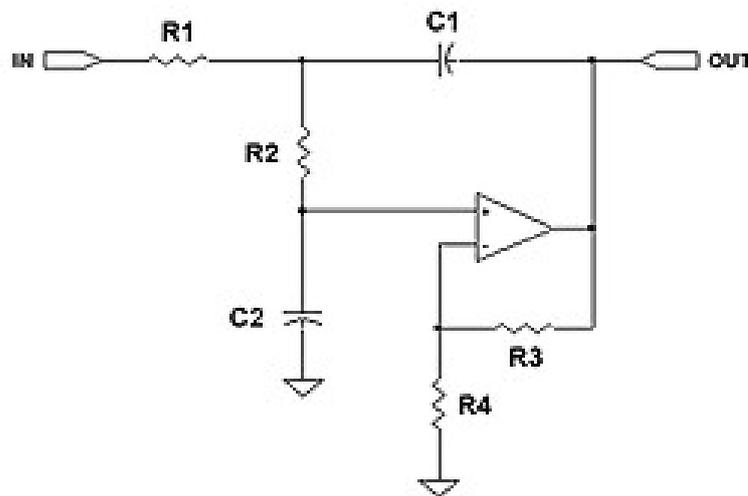


Figura 38. Filtro Butterworth con topología Sallen-Key

Haciendo varios cálculos y pruebas de circuitos comerciales y utilizando herramientas de diseño de filtros activos de la empresa Analog Devices<sup>16</sup> se obtuvieron los valores para las resistencias y capacitores:

R1	22.51KΩ
R2	22.51KΩ
R3	22KΩ
C1	10nF
C2	5nF

Tabla 4. Componentes del filtro Butterworth

Con estos valores se obtiene la respuesta deseada en magnitud y fase (Figura 39 y Figura 40).

<sup>16</sup> [http://www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/products/dt-adisim-design-sim-tool/Filter\\_Wizard/resources/fca.html](http://www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/products/dt-adisim-design-sim-tool/Filter_Wizard/resources/fca.html)

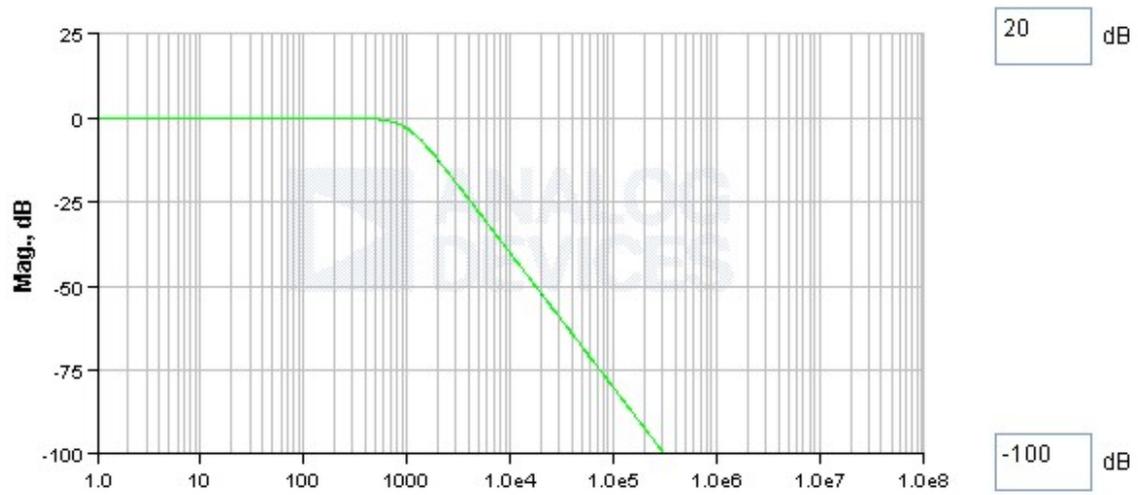


Figura 39. Respuesta en magnitud del filtro Butterworth.

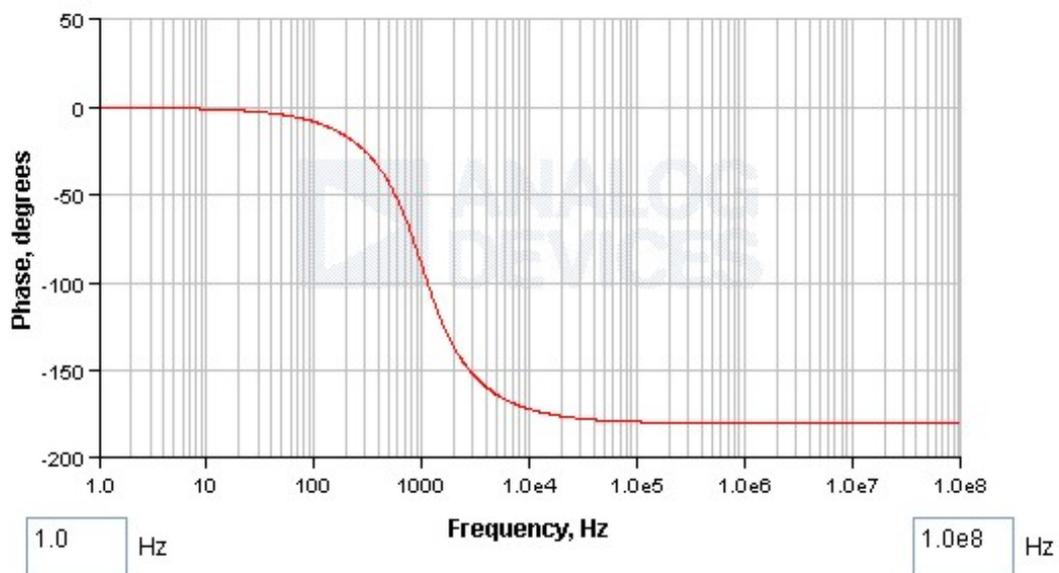


Figura 40. Respuesta en fase del filtro Butterworth.

## Prueba piloto de temperatura

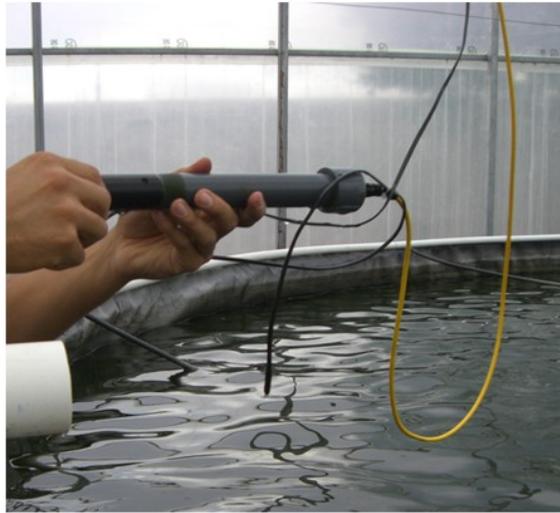


Figura 41. Instalación de sensores.

Se realizó la prueba en un estanque bajo invernadero la cual consistió en mantener estable la temperatura mediante el control difuso entre 31°C y 32°C, se utilizaron 4 resistencias eléctricas de 200w para calentar el agua del estanque y se hicieron mediciones con los sensores de temperatura RTD y termopar.



Figura 42. Estación de Campo.

### ***Calibración del RTD y termistor***

Para calibrar las ecuaciones de conversión de los sensores primero se colocaron en un recipiente con hielo junto como un termómetro de mercurio el cual fue tomado como referencia para las mediciones.

Lentamente se fue subiendo la temperatura con un plato caliente hasta llegar a los 70°C que está dentro del rango de operación normal del termopar. Se obtuvieron los resultados en una tabla donde la respuesta de los sensores se mide en bits para no perder decimales en la conversión a voltaje, ya que la relación se puede hacer directamente a unidades de temperatura.

<b>Temperatura °C</b>	<b>Termistor (bits)</b>	<b>RTD (bits)</b>
0	3388	3524
1	3375	3523
2	3273	3384
3	3253	3366
4	3233	3348
5	3213	3331
6	3187	3293
7	3161	3255
8	3136	3248
9	3109	3241
10	2999	3105
11	2947	3042
12	2918	3017
13	2892	2993
14	2818	2911
15	2793	2867
16	2713	2809
17	2703	2777
18	2667	2707
19	2598	2645
20	2553	2605
21	2479	2532
22	2455	2489
23	2424	2451
24	2356	2404
25	2343	2337
26	2273	2274
27	2227	2239
28	2190	2204
29	2147	2163
30	2122	2122
31	2058	2053
32	2015	2011

Temperatura °C	Termistor (bits)	RTD (bits)
33	1971	1951
34	1943	1890
35	1917	1869
36	1857	1805
37	1807	1748
38	1777	1706
39	1740	1665
40	1712	1641
41	1656	1605
42	1640	1571
43	1600	1510
44	1569	1489
45	1534	1453
46	1504	1402
47	1462	1369
48	1423	1329
49	1393	1292
50	1353	1256
51	1334	1228
52	1298	1187
53	1270	1159
54	1238	1131
55	1217	1114
56	1184	1066
57	1148	1030
58	1121	1006
59	1087	968
60	1073	943
61	1053	916
62	1022	894
63	1002	876
64	967	854
65	952	832
66	933	804
67	898	771
68	880	750
69	859	735
70	840	716
71	821	688

Tabla 5 Respuesta en bits de un RTD y un Termistor.

Una vez obtenidos los datos se pueden graficar y comparar así como obtener un polinomio que se ajuste mejor a la curva.

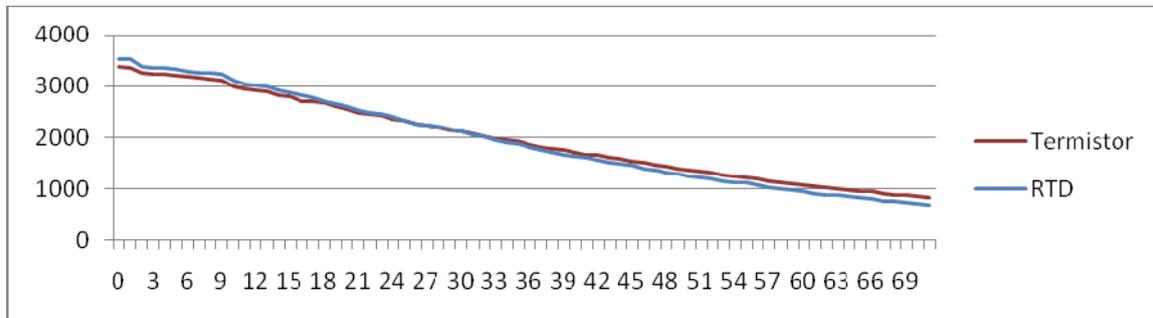


Figura 43. Gráfica de la respuesta de un RTD y un Termistor.

La ecuación para el termistor que se obtuvo resulta:

$$\text{Temp.} = 117.8 - 0.07227 \text{ Termistor} + 0.000020 \text{ Termistor}^2$$

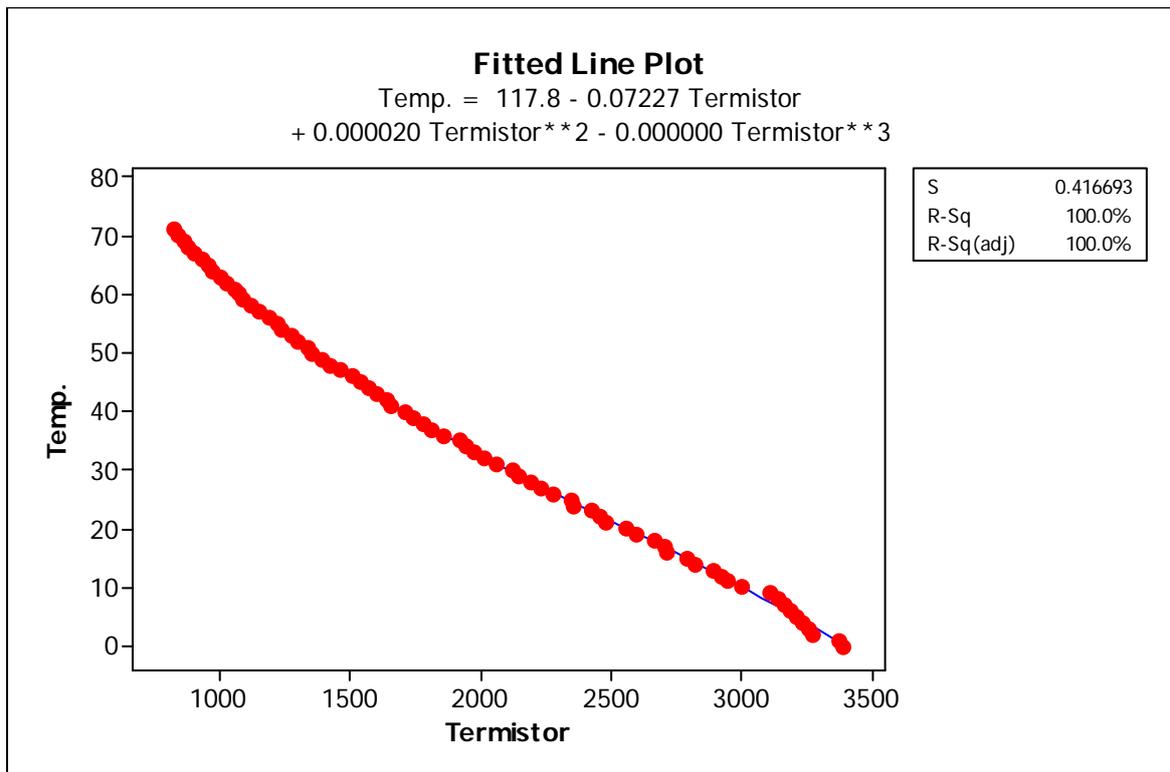


Figura 44. Gráfica de la respuesta del termistor contra temperatura en Minitab.

La ecuación para el RTD que se obtuvo resulta:

$$\text{Temp.} = 107.1 - 0.06458 \text{ RTD} + 0.000018 \text{ RTD}^2$$

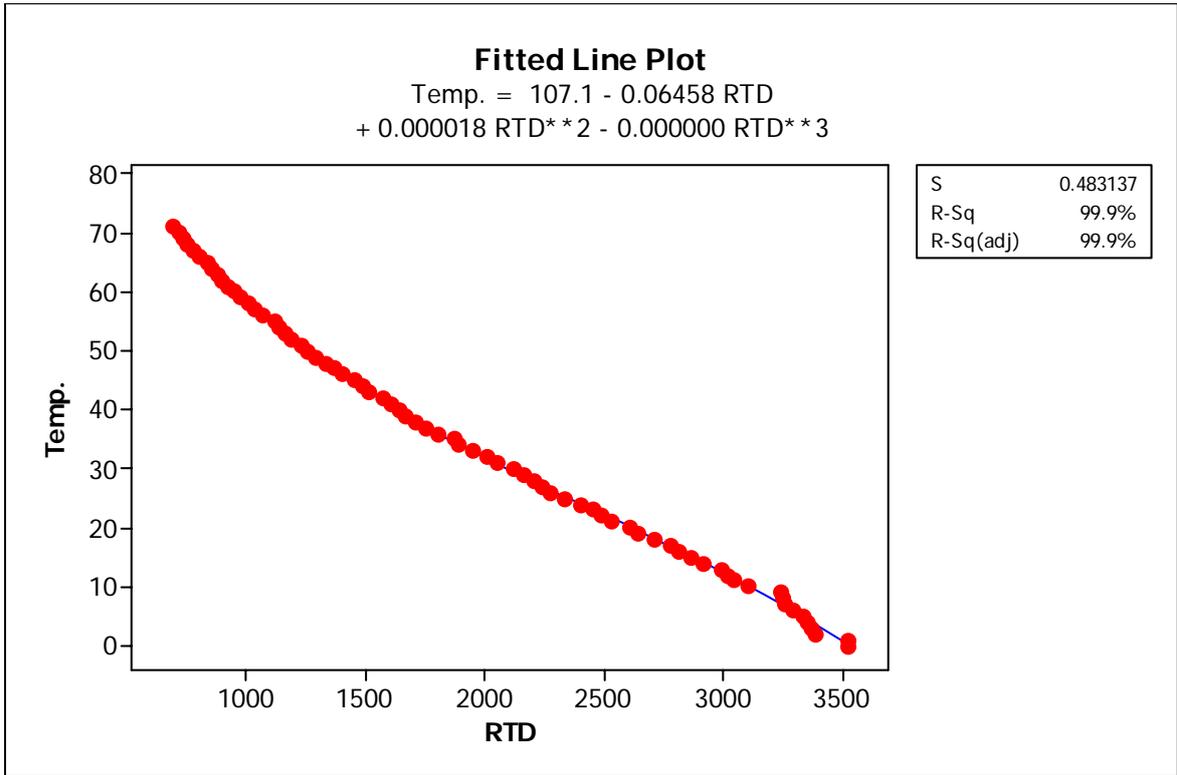


Figura 45. Gráfica de la respuesta del RTD contra temperatura en Minitab.

Se tomo como referencia la temperatura de un día cualquiera los resultados fueron que la variación es de 5.1°C.

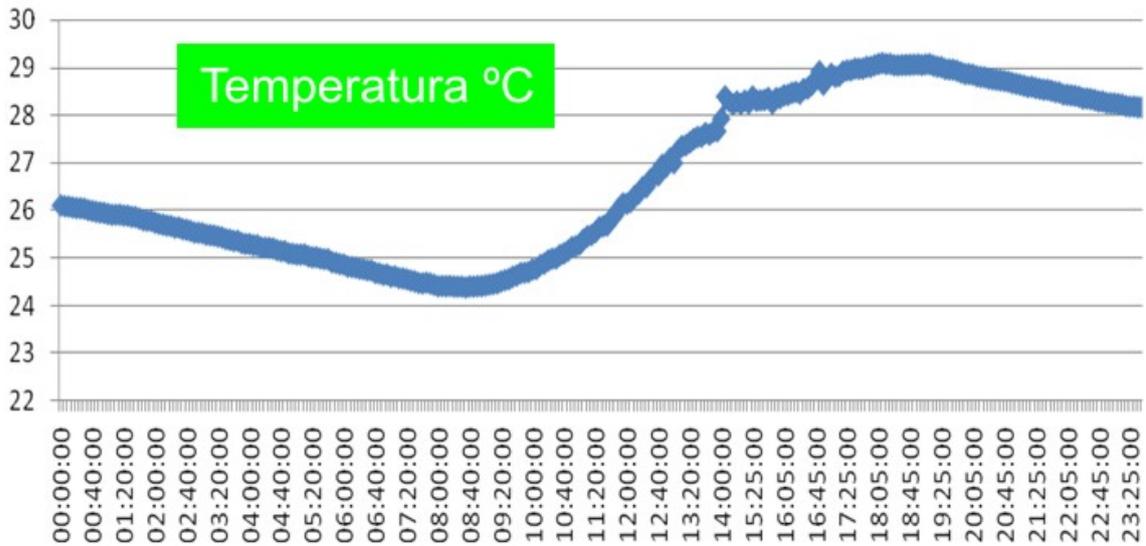


Figura 46. Gráfica de la temperatura del 5/05/2008 sin control.

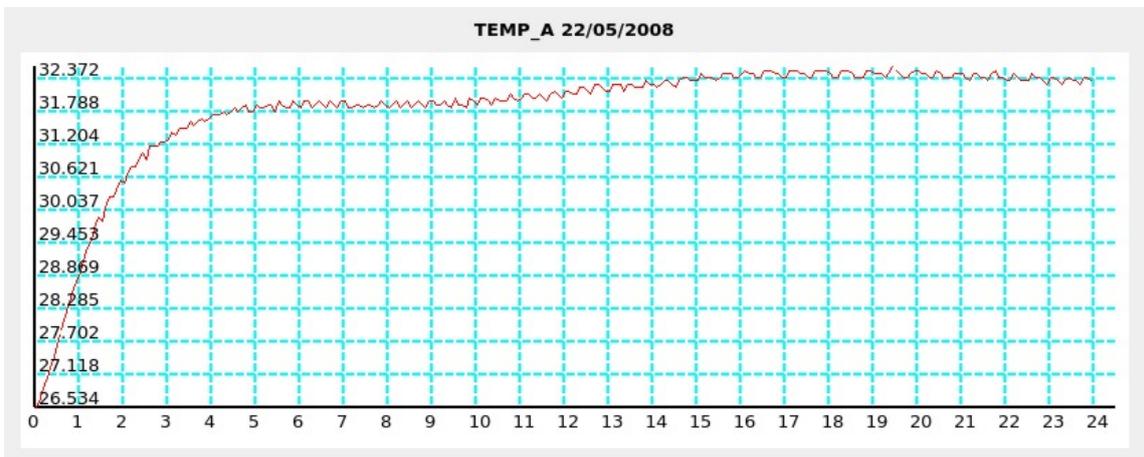


Figura 47. Gráfica de la temperatura del 22/05/2008 con control difuso.

La respuesta obtenida por el control presenta variaciones de solo  $0.7^{\circ}\text{C}$ , por un volumen de agua de aproximado de  $75\text{m}^3$ .

## V Conclusiones

Las mediciones realizadas con el sistema muestran que se tiene una buena calidad de señal con una transferencia exitosa de tramas del 97% entre la Estación de Control y las Estaciones de Campo, las perturbaciones que se llegaron a producir fueron cuando las condiciones climáticas presentaban mucha humedad sobre todo bajo la lluvia la cantidad de tramas erróneas era de hasta el 43%. Sin embargo la gran cantidad de información que se muestrea al transmitir cada segundo nos permite realizar el monitoreo y el control sin dificultades.

La fuente de energía solar funciono para una operación continua sin iluminación solar de 7 horas esto represento un problema al tomar mediciones por la madrugada en que las baterías se encuentran descargadas ya que el consumo total del sistema es de 165mA y aunque la batería es de 4 A/h la recarga durante el día no es suficiente.

Para solucionar este problema se plantea colocar los paneles solares fuera del invernadero donde los rayos solares no se vean disminuidos por la membrana plástica. También es posible colocar otro panel solar en paralelo para incrementar la corriente de carga de las baterías, para esto hay que colocar un sencillo circuito de protección en caso de que el potencial en los paneles sea distinto, esto caso se presenta cuando uno de los paneles esta bajo la sombra o mal orientado.

El circuito del filtro activo presento una excelente respuesta al rechazar todas las frecuencias por encima de 1KHz, tal como se mostro en la simulación.

La tarjeta de entradas y salidas no represento problema alguno, ya que todas las entradas están opto acopladas y las salidas eran activadas por relevador.

Al momento de realizar una comparación entre las mediciones de temperatura del sistema y el termómetro de mercurio se observaron diferencias de  $1.1^{\circ}\text{C}$  para corregir este error es necesario utilizar un patrón de medición de por lo menos 10 veces más preciso es decir de una variación de  $0.1^{\circ}\text{C}$  además que debe de estar sincronizado con las mediciones obtenidas por la Estación de Control. Esto con el fin de obtener un polinomio más aproximado al comportamiento real de la variable.

Los resultados muestran que es posible implementar un control difuso para una variable de temperatura con buenos resultados al observar una pequeña variación (0.7v) con respecto al valor deseado.

El proyecto en su totalidad cumplió con las metadas planteadas al principio, se afirma esto basándose en los resultados como en fiabilidad de las lecturas que en campo se obtuvieron, y en el tiempo de respuesta satisfactorio que el sistema ha demostrado.

El proyecto está enfocado a la producción de especies de cultivo acuícola en el país, especialmente en la región del bajo, implementando tecnología nacional de uso sencillo, fiable, y de un precio accesible para la mayoría de los productores acuícolas.

## **Bibliografía**

- Abeysinghe, D., Shanableh, A., & Rigden, B. (1996). Biofilters for water reuse in aquaculture. *Water Sci. Technol.* 34 , 253-260.
- Alcaraz, G., & Espina, S. (1995). Acute toxicity of nitrate in juvenile grass carp modified by weight and temperature. *Environ. Contam. Toxicol.* 55 , 473-478.
- Andrew, T. (1997). *Redes de Computadoras* , 9-70.
- Avilés, S., & Vázquez, M. (2006). Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. *Patricia Guzmán Amaya y Dilio, Fuentes Castellanos , Pesca, acuicultura e investigación en México* (págs. 69-86). México: Cámara de Diputados, Comisión de Pesca, CEDRSSA.
- Avnimelech, Y., Kochba, M., & Diab, S. (1994). Development of controlled intensive aquaculture system with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *Isr. J. Aquacult.* 46 , 119-131.
- Becerra-Muñoz, S., Hayes, D., & Taylor, W. (1999). Stationarity and rate of dampening of modeled indices of fish abundance in relation to their exploitation status in the Northwest Atlantic Ocean. *Ecol. model.* 117 , 225-238.
- Blake, R. (2002). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. THOMSON, 2da. Edición.
- Camilli, A., Cugnasca, C., Saravia, A., Hirakawa, A., & Correa, P. (2007). From Wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precisión agricultura. *Computers and Electronics in Agriculture* 58 , 25-36.
- Casas, R., & Dettmer, J. (2007). El Sector acuícola en el noroeste de México: importancia del conocimiento y la innovación.Ideas. *CONCYTEC, Año 2, Núm. 19* .
- Chang, C., Fanga, W., Jaob, R., Shyuc, C., & Liaoc, I. (2005). Módulo de adquisición de datos y comunicación Wise Box (WiseTech). *Aquacultural Engineering.* 32 , 343-353.
- CONAPESCA. (16 de Octubre de 2007). *Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca*. Obtenido de [www.conapesca.sagarpa.gob.mx](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx)

Cota, D., & Hernández, S. (2006). *Desarrollo sustentable de la pesca en México. Orientaciones estratégicas*. México: CIB/Senado de la República.

Custom Computer Services Incorporated. (2008). *PCD Help File v.4*.

DOF. (2004). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Frenzel. (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Alfaomega.

Gonda, L., & Cugnasca, C. E. (2006). A Proposal of Greenhouse Control Using Wireless Sensor Networks, Computers in Agriculture and Natural Resources. *4th World Congress Conference*. Orlando, Florida USA.

Guarneros, R. (2006). Análisis económico de la actividad pesquera y acuícola. *Pesca, acuicultura e investigación en México* (págs. 145-156). México, Cámara de Diputados: Comisión de Pesca, CEDRSSA.

Guerra, M. (2005). *Aglomeraciones pesqueras en América Latina. Ventajas asociadas al enfoque de cluster*. Bogotá: CEPAL/Alfaomega.

Gujer, W., & Boller, M. (1996). Design of nitrifying tertiary trickling filter based on theoretical concepts. *Water Resour.* 20 , 1353-1362.

Gutiérrez, J., Sanz, E. D., López, L. R., & Pulido, C. I. (2005). SEDPA, in expert system for disease diagnosis in eel rearing systems. *Aquacultural Engineering* 33 , 100-125.

Heinsbroek, L., & Kamstra, A. (1990). Design and performance of water recirculation systems for eel culture. *Aquacultural Engineering* 9 , 187-207.

Herrera, P. J. (1958). *La acuicultura en México (Historia y legislación)*. México: Departamento de Pesca.

Kamstra, A., Van der Heul, J., & Nijhof, M. (1998). Performance and optimisation of trickling filters on eel farms. *Aquacultural Engineering* 17 , 175-192.

Kochba, M., Diab, S., & Avnimelech, Y. (1994). Modeling of nitrogen transformation in intensive aerated fish ponds. *Aquacultural Engineering* 12 , 95-104.

Kovacic, Z., & Bogdan, S. (2006). *Fuzzy controller design*. Boca de Ratón , FL: CRC.

Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. En *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* (págs. 20, 404--432).

Lin., S., & Wu, C. (1996). Electromechanical removal of nitrate and ammonia for aquaculture. *Water Resour.* 30 , 715-721.

Lubzens, E., Tandler, A., & Minkoff, G. (1989). Rotifers as food in aquaculture. *Hydrobiologia* 186/187 , 387-400.

Milla, K., & Kish, S. (2006). A low-cost microprocessor and infrared sensor system for automating water infiltration measurements. *Computers and Electronics in Agriculture* 53 , 122-129.

Newark. (23 de 9 de 2009). *Electronic components distributor Newark*. Obtenido de <http://mexico.newark.com>

Nijhof, M. (1994). Bacterial stratification and hydraulic loading effects in plug-flow model for nitrifying trickling filters applied in recirculating fish culture system. *Aquaculture* 134 , 49-64.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2005). Los pequeños estanques: Grandes integradores de la producción agropecuaria y la cría de peces. En *FAO Servicio de Gestión Agraria y Economía de la Producción, FAO Servicio de Recursos de Aguas Continentales y Acuicultura* (págs. 1-10, 12-15). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Roma.

Palackova, J., Gajdusek, S., Jirasek, J., & Fasaic, K. (1990). Effect of sublethal concentration of ammonia in water on changes in and correlations of some biochemical indices in carp fry (*Cyprinus carpio* L.). *Ichthyol* 22 , 57-67.

Park, H. (1998). Analysis and prediction of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) landings in Korea by time series analysis. *Fish. Res.* 38 , 1-7.

Passino, M. (1998). *Fuzzy Control*. California, USA: Department of Electrical Engineering. Addison-Wesley, Longman Inc.

Rodríguez, A. M. (2001). Desarrollo de sistemas de medida y regulación. España: Thomson Learning, 1ra. edición.

SEMARNAT. (2005). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. México.

Starek, M., Mukesh, T., Krishna, B., & Garcia, M. (2002). An Expert System For Mineral Identification. *Journal of Computing Sciences in Colleges, Volume 17, Issue 5* , 193 - 197.

Stergiou, K., Christou, E., & Petrakis, G. (1997). Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression. *Fish. Res. 20* , 55-95.

Universidad de Sevilla. (2006). Apuntes de control distribuido. *Depto. Ingeniería de sistemas y automática* , 2-15.

Widmer, A. M., Carveth, C. J., Ke\_er, J. W., & Bonar, S. A. (2006). Design of a computerized, temperature-controlled, recirculating aquaria system. *Aquacultural Engineering 35* , 152-160.

## **Anexos**

### **Estándares en Telemática**

Muchos países tienen organizaciones nacionales de estándares donde expertos de la industria y las universidades desarrollan estándares de todo tipo. Entre ellas se encuentran por ejemplo:

- ANSI - American National Standards Institute Estados Unidos
- DIN - Deutsches Institut fuer Normung Alemania
- BSI - British Standards Institution Reino Unido
- AFNOR - Association Francaise de Normalisation Francia
- UNI - Ente Nazionale Italiano de Unificazione Italia
- NNI - Nederlands Normalisatie-Instituut Países Bajos
- SAA - Standards Australia Australia
- SANZ -Standards Association of New Zealand Nueva Zelanda
- NSF - Norges Standardiseringsforbund Noruega
- DS - Dansk Standard Dinamarca
- AENOR -Asociación Española de Normalización España.

### **La ISO**

La ISO (International Organization for Standardization) es una organización voluntaria (es decir, no es fruto de tratados internacionales) creada en 1946 con sede en Ginebra, Suiza. Sus miembros son las organizaciones nacionales de estándares de los 89 países miembros. A menudo un estándar de uno de sus miembros es adoptado por ISO como estándar internacional; esto ocurre especialmente con las más importantes, ANSI, DIN, BSI y AFNOR.

ISO ha generado multitud de estándares en telemática, y en tecnologías de la información en general, siendo OSI su ejemplo más significativo. Además, ha adoptado estándares producidos por sus organizaciones miembros y por otras organizaciones relacionadas.

### ***La ITU-T***

La ITU (International Telecommunication Union) fue creada en 1934, y con la creación de la ONU se vinculó a ésta en 1947. La ITU tiene tres sectores de los cuales solo nos interesa el que se dedica a la estandarización de las telecomunicaciones, que se conoce como ITU-T. Desde 1956 a 1993 la ITU-T se conoció con el nombre CCITT, acrónimo del nombre francés Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique. En 1993 la CCITT fue reorganizada y se le cambió el nombre a ITU-T; estrictamente hablando el cambio de nombre tiene efectos retroactivos, es decir, los documentos vigentes, aun cuando fueran producidos antes de 1993, son hoy documentos de la ITU-T y no de la CCITT.

La ITU-T denomina a sus estándares 'recomendaciones'; con esto se quiere indicar que los países tienen libertad de seguirlas o ignorarlas; aunque ignorarlas puede suponer quedar aislado del resto del mundo, por lo que en la práctica a menudo las recomendaciones se traducen en obligaciones.

### ***La Internet Society***

En 1991 se creó la Internet Society (ISOC), una asociación internacional para la promoción de la tecnología Internet y sus servicios. Cualquier persona física u organización que lo desee puede ser miembro de la ISOC sin más que pagar su cuota anual. La ISOC está gobernada por un consejo de administración (Board of Trustees) cuyos miembros son elegidos por votación de los miembros de la ISOC entre una serie de candidatos propuestos. La ISOC absorbió en su seno

el IAB con sus dos subcomités, pero cambió radicalmente el mecanismo de elección; estos son ahora nombrados por el consejo de administración de la ISOC.

### ***Otras organizaciones***

El IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) es una asociación profesional de ámbito internacional. Aparte de otras muchas tareas el IEEE (también llamado IE cubo) tiene un grupo sobre estandarización que desarrolla estándares en el área de ingeniería eléctrica e informática. Entre estos se encuentran los estándares 802 que cubren prácticamente todos los aspectos relacionados con la mayoría de los sistemas habituales de red local. Los estándares 802 han sido adoptados por ISO con el número 8802.

El ANSI es como ya hemos dicho la organización de estándares de los Estados Unidos. La única razón de mencionarlo aquí es porque a menudo sus estándares son adoptados por ISO como estándares internacionales.

El NIST (National Institute of Standards and Technology) es una agencia del Departamento de Comercio de los Estados Unidos., antes conocido como el NBS (National Bureau of Standards). Define estándares para la administración de los Estados Unidos.

El ETSI (European Telecommunications Standards Institute) es una organización internacional dedicada principalmente a la estandarización de las telecomunicaciones europeas. Es miembro de la ITU-T. Entre sus misiones está elaborar especificaciones detalladas de los estándares internacionales adaptadas a la situación de Europa en los aspectos históricos, técnicos y regulatorios.

La EIA (Electrical Industries Association) es una organización internacional que agrupa a la industria informática y que también participa en aspectos de la elaboración de estándares.

La ECMA (European Computer Manufacturers Association), creada en 1961, es un foro de ámbito europeo donde expertos en proceso de datos se ponen de acuerdo y elevan propuestas para estandarización a ISO, ITU-T y otras organizaciones.

La CEPT (Conference European of Post and Telecommunications) es una organización de las PTTs europeas que participa en la implantación de estándares de tel

ecomunicaciones en Europa. Sus documentos se denominan Norme Europeene de Telecommunication (NET). La CEPT está avalada por la Comunidad Europea (Andrew, 1997).

## Código de cabecera de la tarjeta de comunicación USB

```
#include <18F4550.h>
#fuses HSPLL, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, NODEBUG, USBDIV, PLL5,
CPUDIV1, VREGEN

#use delay(clock=48000000)
#use rs232(baud=57600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

/* CONFIGURACION DEL USB */
#define USB_HID_DEVICE FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_TX_SIZE 64
#define USB_EP1_RX_SIZE 64

#include <pic18_usb.h>
#include "usb_desc_scope.h"
#include <usb.c>
#include <string.h>

#define enumLed pin_A4
#define txLed pin_C0
#define rxLed pin_C1
#define alarm pin_B7
#define on output_high
#define off output_low
```

## Código de cabecera de la tarjeta de procesamiento

```
#include <30F5011.h>
#device *=16
#device adc=12
#FUSES NOWDT, XT_PLL4, PR, NOCKSFSM, WPSB16, WPSA512, PUT64,
NOBROWNOUT, BORV47, LPOL_HIGH, HPOL_HIGH, NOPWMPIN, MCLR,
NOPROTECT, NOWRT, NODEBUG, NOCOE, ICS0

#use delay(clock=60000000)
#use rs232(UART1,baud=57600,parity=N,bits=8,stream=U1)
//#use rs232(UART2,baud=9600,parity=N,bits=8,stream=U2)

#define programLed pin_F6
#define txLed pin_C2
#define rxLed pin_C1
#define on output_high
#define off output_low
```