



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE PARÁMETROS AMBIENTALES CRÍTICOS DE LA PLANTA PILOTO DE ACUICULTURA DE LA PUCP

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el alumno:

Luis Sergio Dulanto Ramos

ASESOR: José Dávalos P.

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo diseñar un sistema electrónico capaz de leer los parámetros críticos (temperatura, pH y nivel de agua en el tanque) que influyen en la crianza de peces Tilapia en la Planta piloto de recirculación instalada en la PUCP. Una vez leídos, estos pasan a ser procesados y transmitidos en paquetes de datos hacia una red de área local (LAN). El sistema de monitoreo hará la función de un servidor Web, encargado de atender las solicitudes de los usuarios en la red y proporcionarles la información que requieran sobre la Planta por medio de paginas Web.

El trabajo de tesis consiste en el estudio sobre sistemas integrados de monitoreo aplicados en la acuicultura, el diseño de los módulos encargados de la adquisición y acondicionamiento de las señales correspondientes a los parámetros críticos de la Planta. También se seleccionó el Módulo integrado encargado de procesar las señales adquiridas y enviarlas a dispositivos que se encuentran en red.

Finalmente se implemento el sistema completo en la Planta, y se probó su funcionalidad con la visualización de los parámetros en una computadora personal instalada en el pabellón de la especialidad.

INDICE

INTRODUCCION	1
<u>CAPITULO 1: LA PLANTA PILOTO DE ACUICULTURA POR RECIRCULACIÓN DE AGUA</u>	
1.1 Planta Piloto de crianza intensiva de Tilapias en la PUCP	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Metodología	3
<u>CAPÍTULO 2: EL SISTEMA DE MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO</u>	
2.1 Tecnología Ethernet integrada	5
2.2 Ethernet Industrial	5
2.3 Tecnología de conmutación	6
2.4 Sistemas de monitoreo remoto	7
2.5 Servidores Web integrados	8
<u>CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CIRCUITO DE ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES</u>	
3.1 Módulo para medición de PH	11
3.1.1 Transductor de Ph	11
3.1.2 Circuito de acondicionamiento de pH	12
3.1.2.1 Etapa de amplificación a la entrada	14
3.1.2.2 Etapa de substracción	19
3.1.2.3 Etapa de filtrado	22
3.1.3 Simulación	24
3.1.3.1 Simulación de la Etapa de substracción	24
3.1.3.2 Simulación de la Etapa de filtro	27
3.1.3.3 Simulación conjunta de ambas etapas	27
3.1.4 Tratamiento de la señal de pH	30
3.1.5 Pruebas	33
3.2 Módulo de medición de temperatura	34
3.2.1 Sensor de temperatura	34
3.2.2 Etapa de acondicionamiento	36
3.2.3 Tratamiento de la señal de temperatura	38
3.2.4 Pruebas	40
3.3 Módulo de medición de nivel de agua	41
3.3.1 Sensor capacitivo de nivel	41
3.3.2 Circuito oscilador	44
3.3.3 Simulación del circuito oscilador	46
3.3.4 Tratamiento proveniente de los sensores de nivel	47

CAPITULO 4: SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA INTERFASE

4.1	Especificaciones de diseño del Sistema de comunicación	49
4.2	Solución al procesamiento y conexión de módulo del Sistema de comunicación	51
4.3	Esquema de programación	57
4.4	Conexión del módulo de procesamiento y comunicación a la red de datos	58
4.5	Arquitectura del servidor Web integrado	61
4.6	Estructura de proceso del servidor Web	63
4.7	Diseño de la página Web	65
4.8	Pruebas del sistemas	68
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	74
	BIBLIOGRAFIA	75
	Anexo A. Características eléctricas del amplificador de instrumentación INA116	80
	Anexo B. Tabla de valores para el diseño de filtros activos Butterworth	81
	Anexo C. Termistor G14 Bowthorpe Thermistors	82
	Anexo D. Código HTML de la página Web de prueba	83

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1:	Foto de la Planta Piloto de acuicultura en la PUCP	3
Figura 3.1:	Sonda pH estándar de electrodo combinado	12
Figura 3.2:	Diagrama de bloques de circuito de acondicionamiento Y adquisición de pH	12
Figura 3.3:	Amplificador de instrumentación	14
Figura 3.4:	Fuente de señal conectada a circuito de medición	18
Figura 3.5:	Etapa de substracción	20
Figura 3.6:	Filtro Sallen-key de tercer orden	23
Figura 3.7a:	Simulación del circuito de substracción	25
Figura 3.7b:	Voltímetros virtuales superior (nodo 22) e inferior (nodo5)	25
Tabla 3.1:	Valores de salida para la simulación del circuito de substracción	26
Figura 3.8:	Diagrama de Bode de la etapa de filtro	27
Figura 3.9a:	Circuito de substracción y filtro del módulo de acondicionamiento de pH	28
Figura 3.9b:	Simulación del circuito de substracción y filtro del módulo De acondicionamiento de pH	29
Figura 3.10:	Circuito de acondicionamiento de pH(derecha) y sonda pH (izquierda)	33
Tabla 3.2:	Valores pH de las muestras	34
Figura 3.11:	Amplificador inversor	37
Figura 3.12:	Grafica resistencia-temperatura	39
Tabla 3.3:	Valores de temperatura de las muestras	41
Figura 3.13:	Sensor de nivel capacitivo	42
Figura 3.14:	Circuito oscilador con compuertas CMOS	44
Figura 3.15:	Circuito oscilador	47
Figura 4.1:	Sistema de monitoreo y comunicación de la Planta	50
Figura 4.2:	Sistema de comunicación dentro de la red PUCP	51
Figura 4.3:	Sub-módulos del módulo de procesamiento	52
Figura 4.4a:	Resultados para el test de velocidad en la plataforma MOD5282	56
Figura 4.4b:	Resultados para el test de velocidad en la plataforma BL2600	56
Figura 4.5:	Diagrama de flujo de la programación	58
Figura 4.6:	Ventana grafica del programa Ipsetup	59
Figura 4.7:	Solicitud HTTP	60
Figura 4.8:	Arquitectura del servidor WEB	61
Figura 4.9:	Proceso del documento Web hasta su visualización	62
Figura 4.10:	Diagrama de de estados de la máquina de estados finita	64
Figura 4.11:	Entorno grafico de la pagina Web inicial	67
Figura 4.12:	Diagrama de conexiones del sensor de temperatura	68
Figura 4.13:	Módulo de procesamiento con los circuitos de adquisición	69
Figura 4.14:	IP que identifica al servidor integrado en la red PUCP	70

Figura 4.15: Pagina Web con los parámetros de la Plana mostrada en una de las computadoras de la SEE	70
Figura 4.16: Valores de los parámetros de la Planta al hacer la prueba	71
Figura 4.17: Panel de Válvulas	72



AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a mis padres Luis Enrique Dulanto y Nerida del Pilar Ramos, al profesor guía José Dávalos por acoger este Trabajo de tesis, como también el facilitarme la bibliografía y los materiales necesarios para la investigación y el diseño.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la acuicultura ha experimentado un significativo progreso en los últimos años, incrementado tanto en la producción total de pescado (Tilapia) como en la producción de alimento a nivel mundial [1].

Sistemas de monitoreo y control computarizado son regularmente usados en los más avanzados sistemas de criaderos, para el tratamiento del agua y control de parámetros ambientales que influyen en la crianza de los peces.

Por ello el objetivo de este tema de tesis es el de diseñar un sistema de monitoreo, que de a conocer el estado de estos parámetros ambientales en tiempo real y a la vez servir estos datos a otros sistemas encargados de monitoreo y control. Para ello la tesis se dividió en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se realizara una breve explicación de la situación de la Planta piloto instalada en la PUCP, el planteamiento de los objetivos de la tesis y la metodología a seguir para llevar a cabo el proyecto.

En el capítulo 2 se verá el estado del arte sobre los diversos sistemas de monitoreo en la acuicultura.

En el capítulo 3 se realizará el diseño de los módulos de adquisición y acondicionamiento para los parámetros críticos de: Temperatura, pH y nivel de agua en el estanque de la Planta. Y además para estos módulos se realizaran las respectivas simulaciones.

En el capítulo 4 se seleccionará, de una serie de productos ofrecidos en el mercado tecnológico, el módulo encargado de realizar el procesamiento de datos y la conexión a la red.

Posteriormente se realizara la programación de dicho módulo y el diseño del sistema de comunicación para su conexión a la red de trabajo de área local de la PUCP.

CAPÍTULO 1:

La Planta Piloto de Acuicultura por Recirculación de agua

1.1 Planta Piloto de crianza intensiva de Tilapias en la PUCP

En la Pontificia Universidad Católica del Perú, se ha instalado una Planta piloto (figura 1.1) orientada a la crianza intensiva de tilapias, con el fin de realizar investigaciones y desarrollar tecnología para control y monitoreo de los parámetros que influyen en crianza de peces.

Esta Planta piloto se basa en un sistema de recirculación, la cual proporciona un medio de cultivo constante y regulable.

Actualmente la Planta forma parte de un proyecto de desarrollo de tecnologías automatización el cual se encuentra actualmente en ejecución, para el cual se están realizando la compra de los equipos para su posterior aplicación.

En la planta piloto, el proceso de monitoreo de los parámetros críticos (pH, temperatura, nitrógeno, oxígeno, nitratos, etc.) es de forma manual, usando un equipo de medición basado en toma de muestras del agua de los estanques y obteniendo un resultado a partir de reacciones químicas que se visualizan como coloraciones de la muestra de análisis. El valor de estos resultados no es preciso. El equipo de medición solo tiene 5 niveles de coloración para medir el pH, entre 7 y 9, espaciadas 0.5 unidades.

Los valores de estos parámetros son anotados y registrados en un cuaderno el cual se encuentra ubicado en la misma Planta.

Ante esta realidad se hace necesario diseñar un sistema automatizado que permita medir y monitorear las variables importantes (temperatura, pH, etc) para la crianza de tilapias, con la finalidad de mejorar la crianza.



Fuente: elaboración propia

Figura 1.1 Foto de la Planta Piloto de acuicultura en la PUCP

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos para la planta piloto de acuicultura de la PUCP.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar los circuitos de adquisición y acondicionamiento para los parámetros de: Temperatura, pH; y nivel de agua en el estanque.
- Seleccionar y programar el módulo encargado del procesamiento de los parámetros adquiridos y la conexión de estos a la red de trabajo.
- Diseñar el sistema de comunicación del módulo de procesamiento con la red de trabajo de la PUCP.

1.3 Metodología

Para el desarrollo de este trabajo de tesis se realizará una investigación bibliográfica sobre los diversos sistemas integrados y tecnologías aplicadas

para el monitoreo de variables de una planta. Así como también, estudiar las diversas técnicas para la adquisición y acondicionamiento de señales físicas hacia una interfaz digital.

Para los módulos de adquisición y acondicionamiento se realizara lectura sobre el diseño de filtros, configuración de amplificadores operacionales, características de diversos transductores y calibración de sensores. Posteriormente se realizara las simulaciones de estos módulos, en programas de simulación como B2spice [2].

Luego se seleccionará el módulo de procesamiento y conexión a la red, y su programación. Finalmente se realizara la prueba del funcionamiento del sistema.



CAPÍTULO 2:

El sistema de monitoreo de las variables del proceso

2.1 Tecnología Ethernet integrada

La tecnología Ethernet integrada es la tendencia actual para la manufactura de pequeños servidores Web y colocarlos en dispositivos para el control y monitoreo a través de una red de datos [3] .

La tecnología Ethernet da un enfoque familiar y estandarizado, el cual es relativamente de bajo costo. Esta tecnología tiene muchas ventajas, las cuales permiten a los dispositivos ser controlados y monitoreados remotamente. Equipos difíciles de alcanzar pueden ser monitoreados, dárseles mantenimiento y controlarlos, desde una distancia remota. Además los manuales de usuario de estos equipos pueden ser guardados en línea para un fácil acceso [3].

Un ejemplo de sistema Ethernet integrado es el que se usa en algunas impresoras láser. Este tipo de impresoras tienen servidores Web que les permiten imprimir remotamente, monitorear y una serie de otras funciones útiles. La tecnología integrada cambia la manera en que los usuarios acceden, manejen e imprimen la información. Las impresoras de estas series vienen con una característica agregada que le permite al administrador de red recibir notificaciones del estado de la fuente, toner o papel, vía email, teléfono celular o computadora. Otra aplicación para esta tecnología son los circuitos de monitoreo por cámara que se pueden ver en calles, casa centros públicos alrededor del mundo que tiene un enlace directo hacia un sitio Web. De esta manera, los navegadores pueden ver en la Web, las condiciones de estos centros y decidir si es factible ir o no a estos lugares. Un ejemplo de esto, es el circuito de playas en Noss Queensland-Australia [5].

2.2 Ethernet Industrial

Cuando recién apareció Ethernet, este no era del todo adecuado para cumplir funciones de control o monitoreo, ya que principalmente fue desarrollado para ambientes de oficina. Aunque últimamente, la tecnología Ethernet ha hecho avances en estos últimos años. Ganando la aceptación generalizada en la

industria y convirtiéndose, de hecho, en la tecnología de campo. Un indicio de esta tendencia es la inclusión de Ethernet como niveles 1 y 2 de la infraestructura de Modbus/TCP [6] (Schneider), Ethernet/IP [7] (Rockwell Automation y ODVA), ProfiNet [8] (Profibus) y Foundation Fieldbus HSE [9].

Es muy importante que las redes industriales operen separadamente de las redes de oficina comerciales, debido a que la velocidad de respuesta y operaciones de tiempo real en procesos industriales son frecuentemente críticas. Una red típica de oficina podría no tener los mismos requerimientos de respuesta. En adición, la seguridad es otro punto a tratar, donde la red industrial esta separada de la red comercial, entonces cualquier problema en la red de oficina no afectara el lado de la red industrial.

Las redes industriales están particionadas en sub-redes individuales por razones de seguridad y velocidad de respuesta, estas divisiones son hechas por puentes o conmutadores de red.

2.3 Tecnología de Conmutación

Este tipo de tecnología permite el tráfico entre dos nodos en una red de trabajo. Estos son conectados a través de un conmutador de red (switch) que tiene niveles bajos de latencia (suma de retardos temporales dentro de una red de datos) en la comunicación. Además, este conmutador es capaz de manejar todos sus puertos de comunicación simultáneamente sin que ocurra alguna colisión. Esto significa que la velocidad total del conmutador es considerablemente más grande que la suma individual de velocidades de cada puerto Ethernet.

Los conmutadores con características avanzadas pueden ser configurados para soportar redes virtuales (Virtual LAN). Esto permite que el usuario configure un conmutador de manera que todos los puertos sean subdivididos en grupos predefinidos. Estos grupos de puertos son denominados LAN Virtuales (VLAN). Solo los puertos del conmutador localizados en la misma VLAN pueden comunicarse entre ellos.

Los conmutadores tienen limitaciones de rendimiento que podrían afectar críticamente las aplicaciones industriales. Si hay trafico en un conmutador de

múltiples puertos de entrada encaminados hacia un puerto particular de salida, el conmutador podría perder algunos de los paquetes.

2.4 Sistemas de monitoreo remoto

En esta sección se presentara un sistema de monitoreo basado en la tecnología Ethernet, aplicada en el campo de la acuicultura.

Las computadoras también pueden ser usadas para el monitoreo y control de condiciones ambientales en sistemas de acuicultura. Conectando la computadora a una variedad de sensores y controlando dispositivos que permiten un control exacto y preciso de las condiciones ambientales. La información recibida por la computadora es analizada y comparada con un modelo matemático de las condiciones ideales del sistema que esta guardada en la memoria de la computadora. Basado en esta comparación la computadora ejecuta procedimientos preprogramados para mantener todos los parámetros controlados dentro de los límites definidos del modelo. Por ejemplo, la computadora podría detectar oxígeno disuelto en un estanque de peces. El programa de monitoreo compara esta lectura con los límites definidos en el modelo y encuentra que esta es muy baja. El programa entonces se bifurca a una rutina de control la cual acciona cierto actuador y además alerta al usuario sobre el problema. La información acerca de la lectura puede ser guardada en una memoria permanente o disco duro para un análisis posterior. Estas computadoras son fácilmente programadas en lenguaje de alto nivel como C o BASIC, baratos y calificados para manejar virtualmente cientos de canales.

Uno de los primeros sistemas de este tipo aplicado en la acuicultura, es el prototipo ensamblado en el Departamento de Florida de recursos naturales Bureau de investigaciones marinas (BMR) en el año 1987. El sistema consistía de una microcomputadora Apple II Plus, sensores, actuadores y un MODEM para su conexión a una red de datos [11].

Otro sistema de monitoreo remoto es el sistema ROV [12]. Esta herramienta es un robot que contiene sensores para monitorear la presión, deformación, velocidad y temperaturas.

La computadora de este robot se comunica con el mando central instalado en una embarcación a través de un enlace umbilical. Usando una cámara de video, el brazo del robot es usado para posicionar la herramienta de torque. Por otro lado un controlador integrado dentro de la herramienta de torque monitorea las condiciones de esta y suministra un enlace de comunicación con una computadora industrial con tarjetas de entrada y salidas digitales y una interfaz de comunicación y monitoreo PC104 [47], la cual se encarga de la lectura de los sensores. Si cualquier problema es detectado, la herramienta hidráulica es apagada y el operador alertado.

Una computadora fue escogida como plataforma integrada, la cual se encuentra administrada por un sistema operativo multitarea Linux. Este permite el desarrollo de código para el funcionamiento del sistema a un costo no tan caro. Otro factor importante es la conectividad a Ethernet que proporciona este sistema operativo. La herramienta hidráulica es controlada a través de una red de datos por el protocolo IP [3] [10] desde un lugar geográficamente remoto. La herramienta del operador no tiene que estar en una embarcación para controlar el sistema. Los paquetes TCP/IP que contiene los comandos de control e información de monitoreo son fácilmente enviados a través del Internet [3] [10].

De hecho, durante la sesión de depuración, la herramienta fue puesta a prueba desde 3000 millas de distancia. Esta información permitió al equipo encargado probar, operar y adaptar los programas en el sistema, a través del Internet. Este arreglo fue menos caro que viajar al mismo laboratorio situado en el barco mar adentro.

Un diseño derivado de este controlador usa un protocolo de comunicación serial entre la herramienta y la embarcación. El protocolo de comunicación serial usado es PPP [3] [10] que encamina los paquetes TCP/IP a través de una conexión serial.

2.5 Servidores Web integrados

Un servidor Web puede ser integrado en un dispositivo para suministrarle acceso remoto desde un navegador Web. Este servidor puede ser utilizado para servir documentos Web, incluyendo la información estática y dinámica de

todo el sistema integrado en el que este se encuentre, al navegador Web. Las consideraciones para tener en cuenta en el diseño de un servidor Web son:

Recursos: El desarrollo de un servidor Web integrado debe tomar en cuenta los recursos de programación y computación. Se debe conocer los requerimientos de memoria y la limitación de procesamiento del dispositivo sobre el cual se implementara dicho servidor. Servidores Web de propósito general han evolucionado hacia una arquitectura “multi-hilos” que dedica un hilo separado a cada comunicación entrante, o usa un hilo para manejar un set de conexiones con un número más pequeño de hilos.

Esta técnica de conexión es usualmente impractica porque demanda mucha memoria y, en algunos casos, presenta escasez de sistema operativo para el resto de los procesos.

Un problema más serio que la limitación de memoria es el manejo de las solicitudes Web, de manera que le permita al resto del sistema trabajar con los programas de tiempo real.

El proceso de servir paginas Web como un proceso subordinado al principal en el sistema integrado debe, por lo posible, usar pocos recursos del procesador, con el propósito de no interferir en la tarea principal del sistema. Para minimizar el uso de recursos del sistema, el servidor integrado puede poner restricciones en algunos parámetros. Por ejemplo, no es necesario dar soporte a un número grande de usuarios conectados; usualmente de uno a media docena de usuarios accederían al sistema a la vez.

Fiabilidad: Generalmente una red de trabajo requiere una alta fiabilidad

Por ende el servidor integrado también debe dar una alta fiabilidad. Por que este es un proceso subordinado, al menos este debe proteger la propagación de fallas internas en el sistema completo. Para esto, el servidor Web necesita correr en un rango más amplio del sistema integrado en ambientes de tiempo real que varían ampliamente en términos de las características que este suministra, y con muchas más limitaciones de recursos.

Seguridad: Los servidores Web integrados suministran un mecanismo para limitar el acceso a información sensible o configuración de control. El servidor Web debería entonces incorporar algún tipo de protocolo de seguridad, como por el ejemplo el protocolo SSL [15], el cual asegura un soquete de conexión entre el navegador y el servidor Web. Existe además el protocolo de seguridad

Secure-http [16], para autenticación y encriptación de datos. Hay diferentes niveles de seguridad en el ambiente de la Web desde seguridad simple, media y fuerte. El desarrollador de Web debe tener en cuenta los niveles de seguridad en el diseño.



Capítulo 3:

Diseño del circuito de adquisición y acondicionamiento de señales

En este capítulo se presenta el diseño, simulación y pruebas de los módulos de acondicionamiento y adquisición de los parámetros de la Planta.

3.1 Módulo para medición de pH

Especificaciones de diseño:

Señal adquirida: pH entre 6 y 9

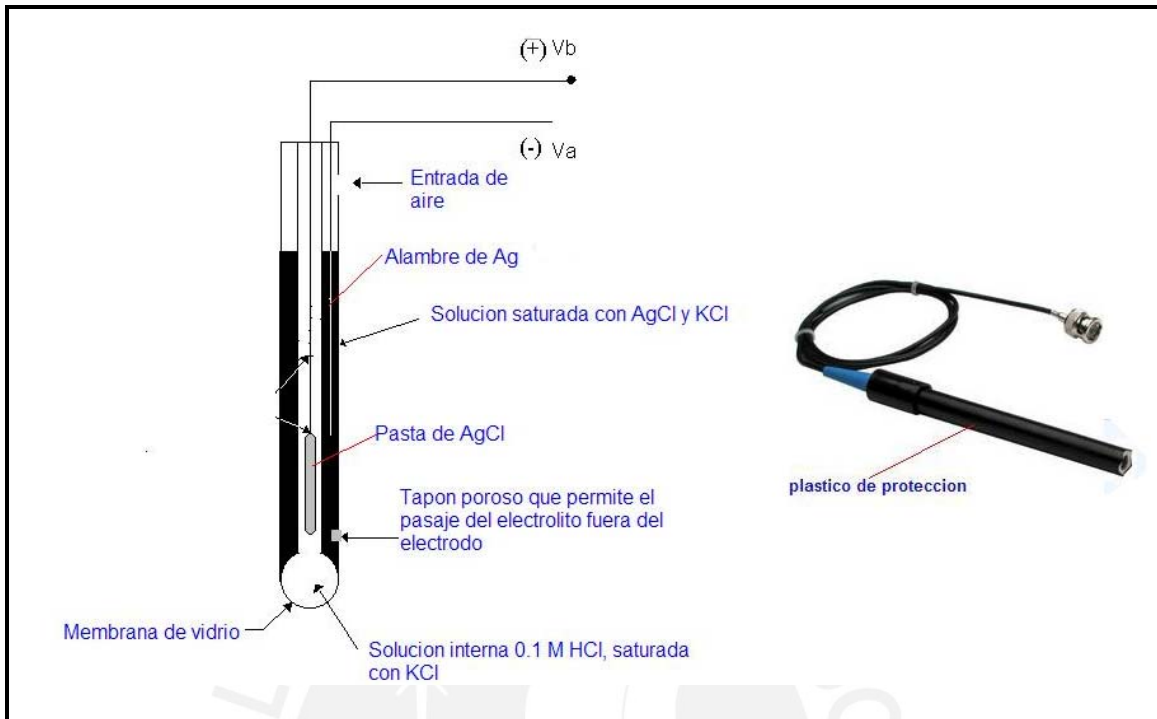
Señal de salida: Entre 1V y 5V

3.1.1 Transductor de pH

El método más común para medir pH es el uso del electrodo de membrana de vidrio (véase figura 3.1). El cual mide la diferencia de potencial generada entre un electrodo indicador y un electrodo de referencia, ambos sumergidos en el mismo líquido a hacer medido. El electrodo indicador y de referencia es comúnmente combinado en una misma sonda y son conocidos en el mercado como “electrodo combinado”. La membrana de vidrio del electrodo indicador (pasta AgCl en la figura 3.1) desarrolla un potencial de pH equivalente, como un resultado del intercambio de iones entre los iones de hidrógeno en la solución y los cationes univalentes en la membrana de vidrio [17].

La impedancia de salida de la sonda esta alrededor de los 5 Mega ohms, una corriente muy pequeña pasando a través de la resistencia del electrodo, producirá una caída de voltaje; reduciendo el voltaje visto por el medidor. Además, el voltaje diferencial generado por los electrodos de la sonda es muy pequeño, del orden de los milivoltios. El sistema de adquisición que se utilice para esto deberá ser muy sensible y tener una resistencia de entrada extremadamente alta [18].

Esta sonda o electrodo proporciona a su salida una tensión inversamente proporcional al pH del líquido, teniendo como cero el pH neutro, es decir, para pH 7 la tensión de salida es 0V. Cuando el pH es mayor que 7, la tensión de salida es negativa; y cuando el pH es menor que 7 es positiva, siendo los cambios de aproximadamente 60mV por grado de pH [17] [18].



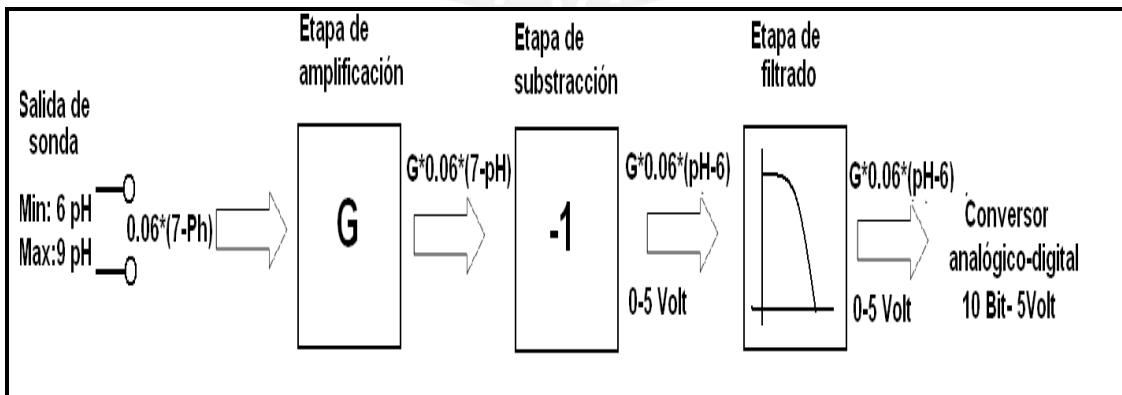
Fuente: <http://www.geocities.com/lioragherhshman/phmetro.html>

Figura 3.1 Sonda pH estándar de electrodo combinado

3.1.2 Circuito de acondicionamiento de pH

Los requerimientos para esta etapa son:

- Un circuito de acondicionamiento con alta impedancia de entrada
- El voltaje generado por el circuito sea directamente proporcional al pH medido.
- La sensibilidad (mV/pH) sea ajustable.



Fuente: Elaboración propia

Figura3.2 Diagrama de bloques de etapa de acondicionamiento y adquisición de pH

$$V_{ninv} - V_{inv} = 0.06 \text{ volt} * (7 - pH) \quad (3.1)$$

Como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 3.2, la salida de la sonda de pH dada por la ecuación 3.1 se amplifica dentro de un rango estándar industrial de 1-5 Volts, de manera que coincida con el rango dinámico de entrada del conversor analógico-digital a usar (0-5V, 10 bits) en el post tratamiento de la señal adquirida. Además como se puede apreciar en la ecuación 3.1, la señal de salida de la sonda es inversamente proporcional al pH medido. Para ello se hace uso de una etapa de substracción (que sigue a la de amplificación) que generara una señal directamente proporcional al pH en el estanque. Para ello se procede de la siguiente manera:

Primero se tiene que amplificar la señal de salida de la sonda (ecuación 3.1) por un factor G (ganancia de la etapa de amplificación) lo cual daría como resultado el termino $G*0.06(7-pH)$ como salida de la etapa de amplificación. Como las mediciones de pH en el estanque de la planta piloto están entre 6 y 9 (valores medidos con un instrumento estandarizado), se toman estos como mínimo y máximo para la escala de 1-5V. Es decir, si el pH tiene un valor de 6, el valor de voltaje de salida emitido por la etapa de acondicionamiento debe ser 1; y si se tiene un valor pH de 9, el valor de la señal de salida debe ser 5V aproximadamente. Para ello se tiene que restar un “*valor de referencia*” a la señal entregada por la etapa de amplificación de la siguiente manera:

$$G*0.06(7-pH) - "1.75 * G * 0.06" = G*0.06(5.25-pH) \quad (3.2)$$

Donde “ $1.75 * G * 0.06$ ” es el “*valor de referencia*”. Luego se multiplica este resultado por “-1” (factor que hace a la señal amplificada directamente proporcional al pH medido), lo cual resulta:

$$-1 * G * 0.06 * (5.25 - pH) = G * 0.06 (pH - 5.25) \quad (3.3)$$

Esta ultima expresión toma su valor máximo de $0.225 * G$ cuando el pH es igual a 9; y un mínimo de $G * 0.045$ cuando el pH es 6. Para que esta expresión

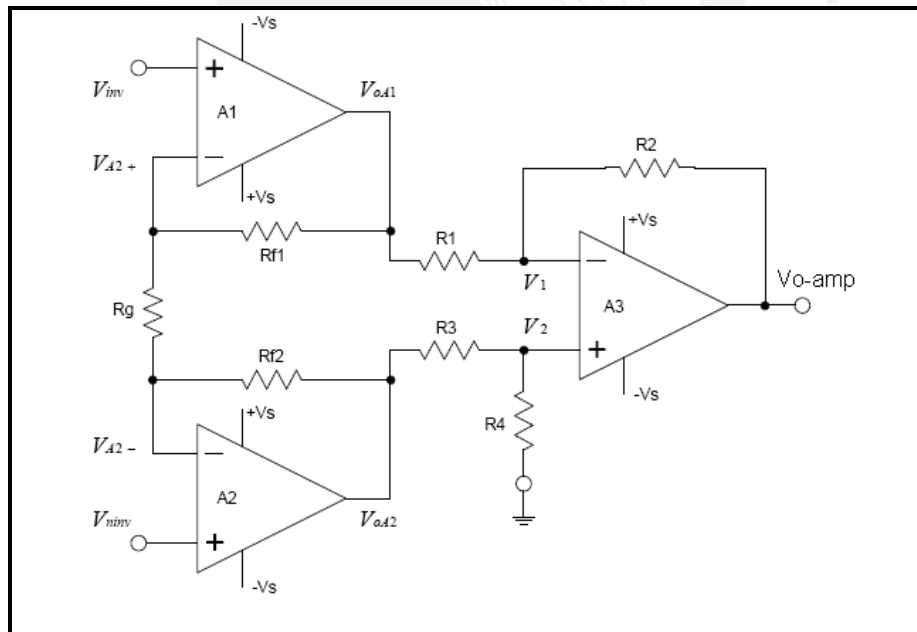
tenga valores que estén comprendidos en una escala de 1 a 5V, el valor del factor de ganancia debe ser:

$$G = 5/0.18 = 22.22$$

Entonces cuando el pH, en la ecuación 3.3 sea 6, el valor de la señal de salida de la etapa de acondicionamiento será 1V aproximadamente; y cuando el pH sea de 9 el valor de la señal de salida será de 5 V aproximadamente. Para realizar la resta del “*valor de referencia*” así como la inversión de signo, se hace uso de una etapa de substracción que sigue a la de amplificación. Considerando lo explicado anteriormente, el diseño del circuito de acondicionamiento del pH consta de tres partes: una etapa de amplificación a la entrada; seguida de una de substracción y una etapa de filtrado.

3.1.2.1 Etapa de amplificación a la entrada

Para esta etapa se estudio el diseño de un amplificador de instrumentación en base a componentes discretos, resistencias y tres amplificadores diferenciales, como se aprecia en la figura 3.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación amplifica la diferencia entre dos señales de voltaje mientras que rechaza cualquier señal que es común a ambas de sus

entradas. Esta propiedad de cancelar cualquier señal común mientras amplifica cualquier señal diferencial (diferencia de potencial en ambas entradas) es llamada “Rechazo en modo común (CMR)”. El CMR está definido como la relación de la ganancia en modo diferencial sobre la ganancia en modo común.

Esta configuración posee un alto CMR en comparación con otras configuraciones de amplificador diferencial [19]. Ruido e interferencias que son señales comunes a las entradas del amplificador de instrumentación, son afectadas de tal forma que estas no son notables a la salida en comparación con la salida amplificada de la señal diferencial [19]. Para el análisis se consideran a los tres amplificadores como ideales. Con esta condición se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\frac{VoA1 - Vinv}{Rf1} = \frac{Vinv - Vninv}{Rg} = \frac{Vninv - VoA2}{Rf2} \quad (3.4)$$

$$\frac{VoA2 - V2}{R3} = \frac{V2}{R4} \quad (3.5)$$

$$\frac{VoA1 - V1}{R1} = \frac{V1 - Voamp}{R2} \quad (3.6)$$

Donde:

Voamp es la salida del amplificador de instrumentación,

Vinv y Vninv son las entradas,

Rg es la resistencia de ganancia.

Con las ecuaciones 3.4, 3.5 y 3.6; se obtiene la siguiente ecuación de salida:

$$Voamp = -Vinv \left[\frac{Rf2 R4 (R1 + R2)}{Rg (R3 + R4) R1} + \frac{(Rf1 + Rg) R2}{Rg R1} \right] + Vninv \left[\frac{R4 (Rg + Rf2) (R1 + R2)}{Rg R1 (R3 + R4)} + \frac{Rf1 R2}{Rg R1} \right] \quad (3.7)$$

Definiendo:

$$Ed = Vninv - Vinv \quad (\text{modo diferencial}) \quad (3.8)$$

$$E_c = \frac{V_{ninv} - V_{inv}}{2} \text{ (modo común)} \quad (3.9)$$

Con las dos ecuaciones anteriores y la expresión de la ecuación 3.7 se obtiene:

$$V_{oamp} = E_d \left[\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \left(\frac{R_{f2}}{R_g} + \frac{1}{2} \right) + \frac{R_2 \left(\frac{1}{2} + \frac{R_{f1}}{R_g} \right)}{R_1} \right] + E_c \left[\frac{1 - \frac{R_3 R_2}{R_4 R_1}}{R_1} + \frac{R_3}{R_4} \right] \quad (3.10)$$

Con esto se tiene un CMR (E_d/E_c) para el amplificador de instrumentación de:

$$CMR = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \left(\frac{R_{f2}}{R_g} + \frac{1}{2} \right) + \frac{R_2 \left(\frac{1}{2} + \frac{R_{f1}}{R_g} \right)}{R_1} \left/ \left[\frac{1 - \frac{R_3 R_2}{R_4 R_1}}{R_1} + \frac{R_3}{R_4} \right] \right. \quad (3.11)$$

Si se hace que se cumpla la relación $R_2/R_1 = R_4/R_3 = K$ y $R_{f1} = R_{f2}$; el término

$\frac{1 - \frac{R_3 R_2}{R_4 R_1}}{R_1} + \frac{R_3}{R_4}$ de la ecuación 3.10 se hace cero, siendo este el factor que afecta al modo común (E_c). Entonces solo queda el término que contiene al modo diferencial:

$$V_{oamp} = E_d \left(\frac{1}{2} + \frac{R_{f1}}{R_g} \right) (K + 1) \quad (3.12)$$

Como los valores de resistencias presentan una cierta desviación de su valor nominal ($\pm 0.02\%$ [48]) sea por fabricación o por variaciones de temperatura, las relaciones anteriormente mencionadas no serán exactamente iguales, afectando de esta manera las ganancias en modo común y diferencial así como también el CMR de la configuración (véase ecuación 3.11).

Esto puede ser superado usando un amplificador de instrumentación integrado en un chip, cuya ganancia diferencial y CMR depende únicamente del valor de una resistencia externa, en este caso sería R_g , siendo esta la única resistencia discreta a usar. Además esta no interviene en ningún arreglo o razón de

resistencias, en donde una variación de su valor nominal produciría un desbalance en las ecuaciones arriba tratadas.

Por otro lado, como los amplificadores no son ideales, estos presentan en cada una de sus entradas una corriente ligeramente diferente una de la otra. Estas corrientes, que reciben el nombre de corriente de polarización, producen un voltaje de desvío a la entrada que luego de ser amplificada afecta la salida de la señal a medir. La señal de salida del amplificador, incluyendo los voltajes de error, se presenta de manera general en la siguiente ecuación [20]:

$$V_{sal} = V_{oamp} + (V_{os} + V_b + V_r + V_n)G \quad (3.13)$$

Donde:

V_{os} es el voltaje de desplazamiento a la entrada

V_n es el voltaje debido al ruido

V_r es el voltaje debido a la interferencia de rechazo

V_b es el voltaje de desvío

Los voltajes V_n , V_r y V_b son dados por el fabricante u obtenidos por graficas, si se trata de un integrado.

El V_{os} es un voltaje que se adiciona al voltaje diferencial de entrada. Su valor depende de la ganancia de amplificación a usar, esta dependencia es dada en forma de graficas en las hojas de datos.

El V_n y V_r dependen de la frecuencia y temperatura de trabajo así como también de la resistencia de salida de la fuente de la señal a medir [20].

V_b es el voltaje de desvío y depende de las corrientes de polarización presentes en cada una de las entradas del amplificador de instrumentación.

Según la siguiente ecuación [20]:

$$V_b = (I_{inv} - I_{in})R_s + I_{in}\Delta R_s \quad (3.14)$$

Donde:

I_{inv} e I_{in} son las corrientes de polarización correspondientes a cada una de las entradas,

R_s es la resistencia de salida de la fuente.

Como la magnitud de voltaje de desvío es directamente proporcional a la diferencia de las corrientes de polarización de ambas entradas (corriente de

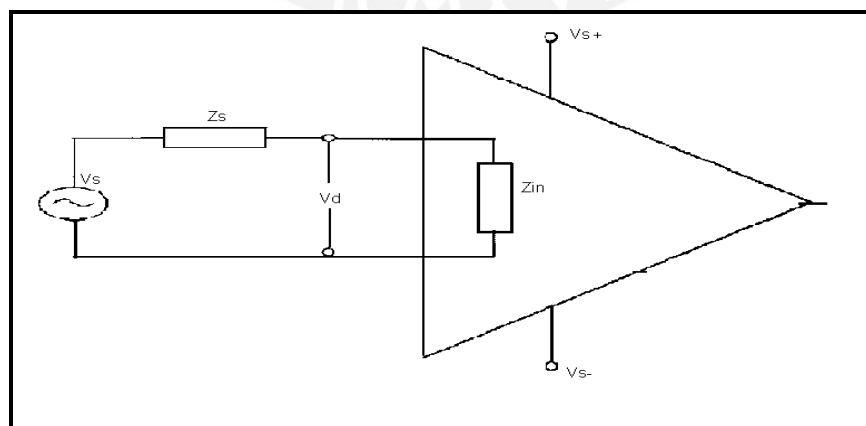
desvío), se busca que esta corriente de desvío sea pequeña. Los amplificadores de instrumentación hechos a base de FETs (transistores de efecto de campo) son unos del tipo de transistores que presentan las corrientes de desvío más bajas [21].

En el mercado hay una amplia gama de amplificadores de instrumentación integrados, basados en tecnología de transistores bipolares, FET, CMOS, etc. Para el caso de una fuente de señal con una alta impedancia de salida como el electrodo de pH, requiere un amplificador con una corriente de desviación baja y una alta impedancia de entrada.

La figura 3.4 muestra la fuente de señal (V_s) con una impedancia de salida (Z_s) conectada a un dispositivo de medición cuya impedancia de entrada es Z_{in} . El voltaje detectado será:

$$V_d = V_s \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_s} \quad (3.15)$$

El voltaje detectado será aproximadamente igual al voltaje de fuente si $Z_{in} \gg Z_s$, por ello para poder evitar el efecto de carga, es necesario que la impedancia de salida de la fuente sea mucho menor que la impedancia de entrada del instrumento de medición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Fuente de señal conectada a circuito de medición

Como se dijo anteriormente los amplificadores de instrumentación basados en la tecnología FET son los que poseen las corrientes de desviación mas bajas. Para la selección se procedió a tomar en cuenta los integrados, basados en la tecnología FET, disponibles en el mercado nacional; luego ver aquellos que tengan la corriente de desviación más baja como primera prioridad y posteriormente tomar aquel que tenga la impedancia de entrada más alta y mayor que la impedancia de salida de la sonda de pH.

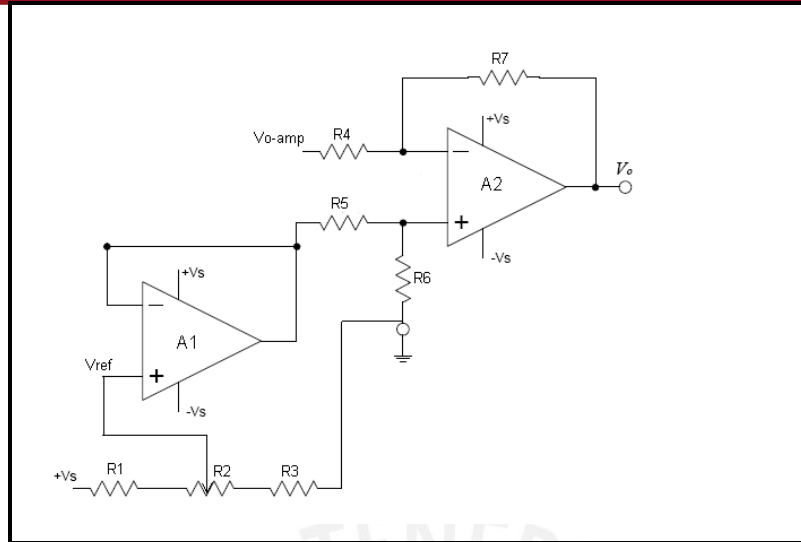
Un excelente amplificador para esta aplicación es el integrado INA116 (Anexo A). El cual presenta una corriente de desviación típica de 3fA (3×10^{-15} A) con una impedancia de entrada de 10^{15} ohms (mucho mayor que los $5M\Omega$ de la sonda de pH). La ecuación de salida de este integrado esta dado por la ecuación 3.12, donde $K=1$ y $R_{f1}=25K\Omega$. Esto da como resultado la ecuación de salida:

$$G = 1 + \frac{50K\Omega}{R_g} \quad (3.16)$$

Como se calculó anteriormente se tenía una ganancia de amplificación "G" de 22.22. Usando la ecuación 3.16, se encontró un valor R_g de 1.35 K Ω . Se analizo también los amplificadores operacionales ad620 y amp02, diseñados al igual que el INA116 para aplicaciones de instrumentación; pero estos resultan muy caros y difíciles de conseguir en el mercado nacional.

3.1.2.2 Etapa de substracción

Con esta etapa se logra obtener que el voltaje de salida de la etapa de acondicionamiento varíe directamente proporcional con el valor de pH presente en el estanque y que este dentro del rango de 1-5 V.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Etapa de substracción

El divisor de tensión formado por R1, R2 y R3 en la figura 3.5, constituye una referencia de tensión ajustable (V_{ref}) controlada por el potenciómetro R2.

El valor que toma V_{ref} como el “valor de referencia” es $1.75 \cdot G \cdot 0.06$, que se menciono anteriormente. Para fines de calibración la tensión V_{ref} es variable, con una desviación del “valor de referencia” de $\pm G \cdot 0.005$. Este valor es debido a que las señales de salida de las sondas de pH varían entre los 55-65mV/pH (0.06 ± 0.005) aproximadamente [17]. Con $G=22.22$, V_{ref} está comprendido entre 2.13V y 2.53V.

Entonces para un valor de $V_s=5V$ (figura 3.5) y mediante las siguientes ecuaciones se calcula los valores de las resistencias del divisor de tensión:

$$V_{ref} = 5V \cdot \left(\frac{R3 + \alpha R2}{R1 + R2 + R3} \right) \tag{3.17a}$$

En donde $\alpha R2$ representa parte del potenciómetro para generar el voltaje efectivo V_{ref} . Considerando $V_{ref} = 2.13V$ y el potenciómetro $R2$ de $1K\Omega$ ajustado a su valor mínimo se tiene la siguiente ecuación:

$$2.13V = 5V \cdot \left[\frac{R3 + 0}{R1 + 1K\Omega + R3} \right] \tag{3.17b}$$

Considerando ahora $V_{ref} = 2.53V$ y el potenciómetro $R2$ de $1K\Omega$ ajustado a su valor máximo se tiene la siguiente ecuación:

$$2.53V = 5V \cdot \left[\frac{R3 + 1}{R1 + 1K\Omega + R3} \right] \tag{3.17c}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones 3.17b y 3.17c se obtiene los valores para $R1=6.2K\Omega$ y $R3= 5.3K$.

Como la corriente que circula por este divisor de tensión es pequeña, de 0.4mA aproximadamente, según ecuación 3.17a, la temperatura de las resistencias dependerá casi exclusivamente de la temperatura de ambiente, y al tener coeficientes de temperatura iguales la tensión de referencia se mantendrá estable.

Esta tensión de referencia se lleva a través del seguidor de tensión A1, a la entrada positiva del restador constituido por A2, R4, R5, R6 y R7.

A la entrada negativa del restador se aplica la salida de la etapa de amplificación (V_{oamp}).

La salida de este restador esta dado por la ecuación 3.7, en realidad este restador es el amplificador diferencial que se usa como etapa final de los amplificadores de instrumentación (compárese con la figura 3.3).

$$V_o = V_{ref} * \frac{(R4 + R7)R6}{(R5 + R6)R4} - V_{oamp} * \frac{R7}{R4} \quad (3.18)$$

Como este restador debe solo substraer el valor requerido, mas no amplificar la señal, las resistencias de su configuración deben ser iguales de manera que en la ecuación 3.18, los factores que multiplican a V_{ref} y V_{oamp} sean iguales a 1. De esta manera se tendría, la siguiente ecuación de salida para la etapa de substracción:

$$V_o = V_{ref} - V_{oamp} \quad (3.19a)$$

Si reemplazamos los valores de $V_{ref}=1.75*0.06*G$ y $V_{oamp}=0.06*G(7 - pH)$ como se explicó al inicio de esta sección, tenemos:

$$V_o = 1.75 * 0.06 * G - 0.06 * G(7 - pH) = 0.06 * G(pH - 5.25) \quad (3.19b)$$

Se han considerado valores iguales para las resistencias R4, R5, R6 y R7, que pueden estar comprendidos entre 10K y 50K (valores grandes de resistencia en comparación con la impedancia de salida de la etapa de amplificación, para evitar efectos de carga). Para mantener la precisión de este restador es conveniente que R4, R5, R6 y R7 sean resistencias de alta precisión. La linealidad del circuito depende enormemente de la igualdad de estas resistencias.

3.1.2.3 Etapa de filtrado

El post tratamiento de la señal adquirida requiere un filtro pasa bajos. Dada que las señales de pH son dinámicamente lentas, las altas frecuencias que se observen en la señal, serán sin duda, debidas al ruido [18].

Para eliminar cualquier ruido de línea (50-60Hz) que pueda afectar la señal adquirida, se diseñara un filtro pasa bajos con una frecuencia de corte menor de 50 Hz, para asegurar la eliminación de este ruido y cualquier otro ruido añadido de las etapas anteriores.

El filtro a diseñar será un filtro activo. Las características que hacen que estos filtros sean usados en muchas aplicaciones son su pequeño tamaño (no hacen uso de inductores); su alta impedancia de entrada que hace que la impedancia de la fuente de señal no afecte en la función de transferencia del filtro; y su baja impedancia de salida que igualmente puede manejar cargas (entradas de un convertidor analógico-digital) sin algún efecto en la función de transferencia [22].

Por otro lado, los filtros pasivos pueden otorgar una muy buena respuesta con un alto orden, pero la buena respuesta que otorgan se ve “cobrada” por la atenuación que generan en la señal original. Cuando se usan filtros activos, la repuesta puede ser igual a la del filtro pasivo; pero por el uso de amplificadores, será necesario usar más corriente para lograr buenos niveles.

Como importa la amplitud de la señal a medir, se usara un filtro de magnitud máximamente plana como el filtro Butterworth [23].

La variación de pH en el tiempo en un estanque, depende del volumen de este, del tipo de especie a criar, la frecuencia de alimentación y la temperatura a la que esta expuesto. Como la señal de pH es dinámicamente lenta (menor que 1Hz) , entonces escogemos una f_c (frecuencia de corte) de unos 10Hz a -3 dB de caída (A_c) para tener 70.1% respecto al nivel de referencia y una f_p (frecuencia de rechazo) de 60 Hz a -40 dB de caída de rechazo (A_p), para rechazar ruidos de línea. El ancho de banda de este filtro es de 10Hz

Para hallar el orden del filtro (n) Butterworth, se hace uso de la siguiente ecuación [23]:

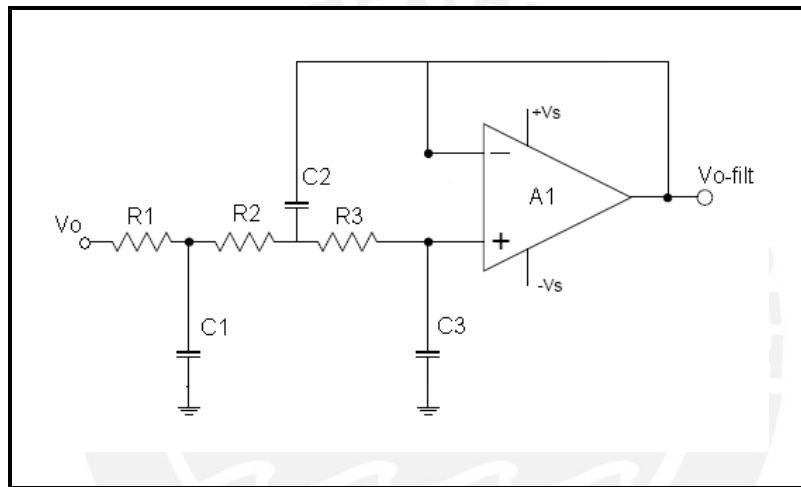
$$n = \frac{\log \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}{\log \frac{f_p}{f_c}} \tag{3.20}$$

Donde:

$$\epsilon_1 = (10^{0.1A_p} - 1)^{1/2}$$

$$\epsilon_2 = (10^{0.1A_c} - 1)^{1/2}$$

Se obtiene $n \approx 2.57$, por lo tanto el filtro se considera de tercer orden, para ello se emplea la configuración Sallen-key de tercer orden mostrado en la figura 3.6 [23]:



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Filtro Sallen-key de tercer orden

Para hallar los valores de los componentes en la figura 3.6, hacemos uso del método de “resistencia/capacitancia constante” [23]. Este método consiste en usar tablas de coeficientes para calcular los valores de resistencias o el de los condensadores.

Una vez que se tiene el orden del filtro, se escoge un valor de resistencia de igual valor para R1, R2 y R3. Con este valor de resistencia, se pasa a calcular un factor de escalamiento, el cual servirá para calcular los valores de las capacitancias, haciendo uso de las tablas de coeficientes (Anexo B) según sea el orden del filtro.

Calculando el factor de escalamiento (F):

$$F = \frac{1}{2\pi F_c R} \tag{3.21}$$

Donde:

F_c es la frecuencia de corte elegida, en este caso 10 Hz

R es el valor de resistencia para R_1 , R_2 , y R_3 , en este caso $10K\Omega$, para que el valor de los condensadores no sea muy alto.

Con esto se obtiene un factor de escalamiento $F=1.6*10^{-6}$. Luego usando tablas de coeficientes para filtros Butterworth (anexo B) para filtros de tercer orden, se calculan los valores de cada condensador de la siguiente manera.

$$C_1 = F * C_{of1} = (1.6 * 10^{-6}) (1.392) = 2.23 \mu F$$

$$C_2 = F * C_{of2} = (1.6 * 10^{-6}) (3.546) = 5.67 \mu F$$

$$C_3 = F * C_{of3} = (1.6 * 10^{-6}) (0.2024) = 0.32 \mu F$$

Por lo tanto se adoptan los valores comerciales de:

$$C_1 = 2.2 \mu F$$

$$C_2 = 5.6 \mu F$$

$$C_3 = 0.33 \mu F$$

3.1.3 Simulación

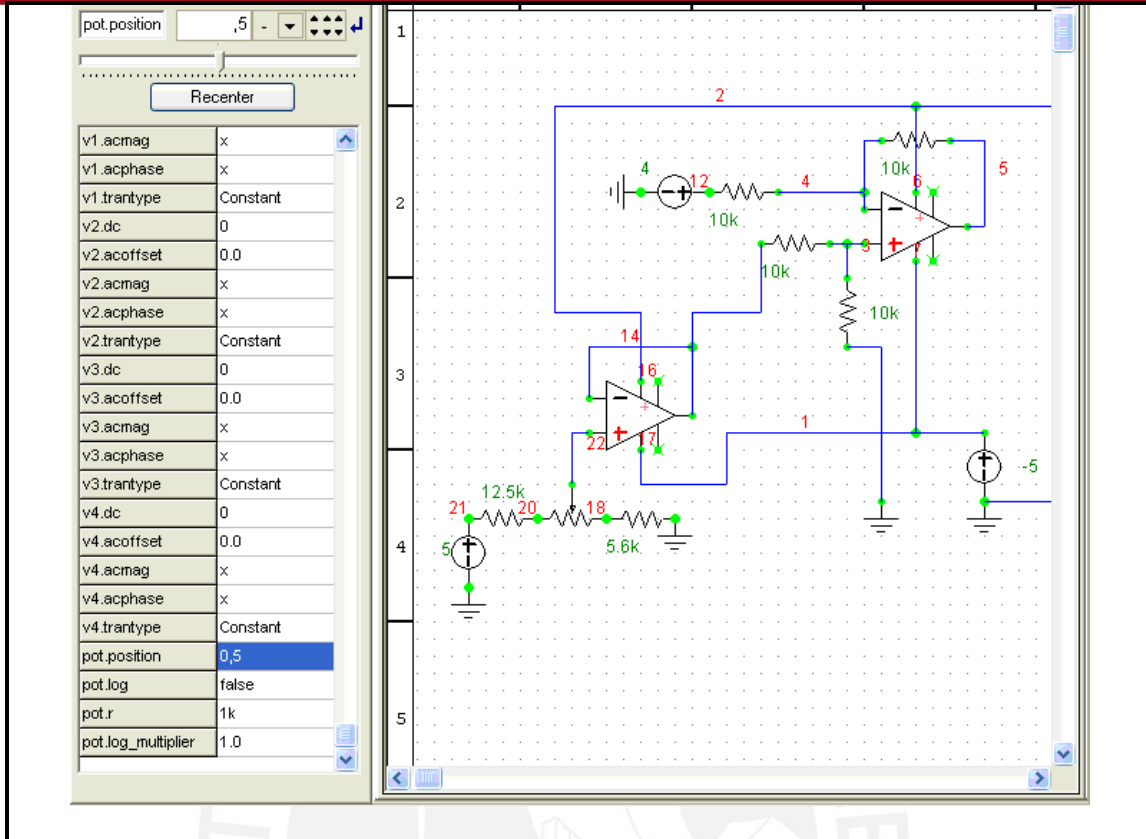
Las simulaciones se realizaron a través del uso de la herramienta de programa: B2spice.

3.1.3.1 Simulación de la etapa de substracción

La simulación de esta etapa se presenta en la figura 3.7a y 3.7b. En la figura 3.6a la entrada proveniente de la etapa de amplificación es el nodo 12, la segunda entrada proveniente del divisor de voltaje (V_{ref}) es el nodo22, y la salida del circuito es el nodo 5.

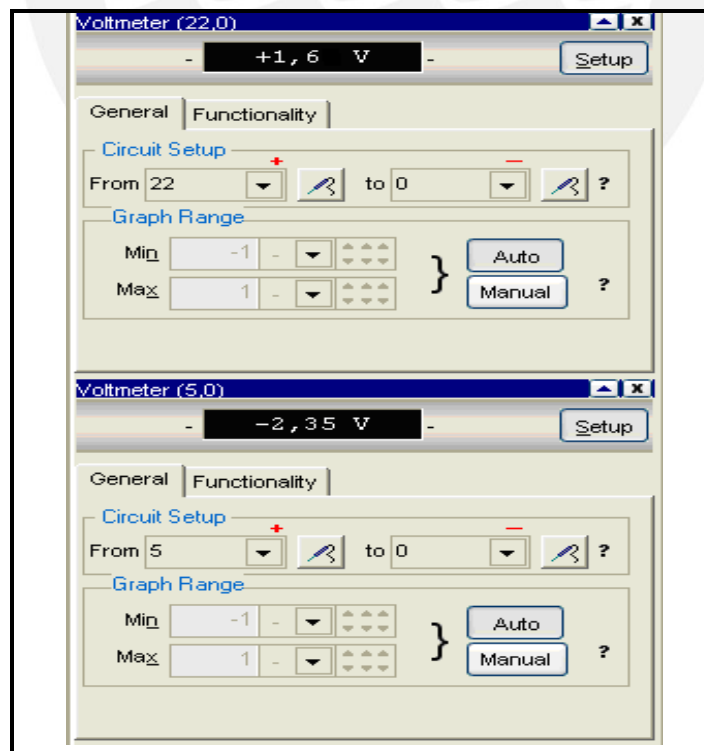
Los voltímetros de la figura 3.7b son virtuales, es decir implementados vía programa usando las bondades del B2spice: El voltímetro superior es el correspondiente al nodo 22 y el inferior correspondientes al nodo 5.

En la simulación se uso varios valores de V_{ref} haciendo variar el potenciómetro de 1K con la barra de desplazamiento mostrada al lado izquierdo de la figura 3.7a. Para la simulación mostrada en la figura 3.7b, el potenciómetro se encontraba en su posición media.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7a Simulación del circuito de substracción



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7b Voltímetros virtuales superior (nodo 22) e inferior (nodo5)

A continuación se presenta la tabla 3.1 donde se encuentran los valores de salida para el circuito de la figura 3.7a para varias posiciones del potenciómetro:

Posición del potenciómetro(α)	Vref (nodo22) Volts.	Voltaje de salida esperado (nodo5) Volts.	Voltaje de salida simulado (nodo5) Volts.
0.1	1.49	-2.51	-2.50
0.2	1.52	-2.48	-2.47
0.3	1.55	-2.45	-2.45
0.4	1.57	-2.43	-2.41
0.5	1.60	-2.40	-2.35
0.6	1.62	-2.38	-2.37

Fuente: Elaboración propia

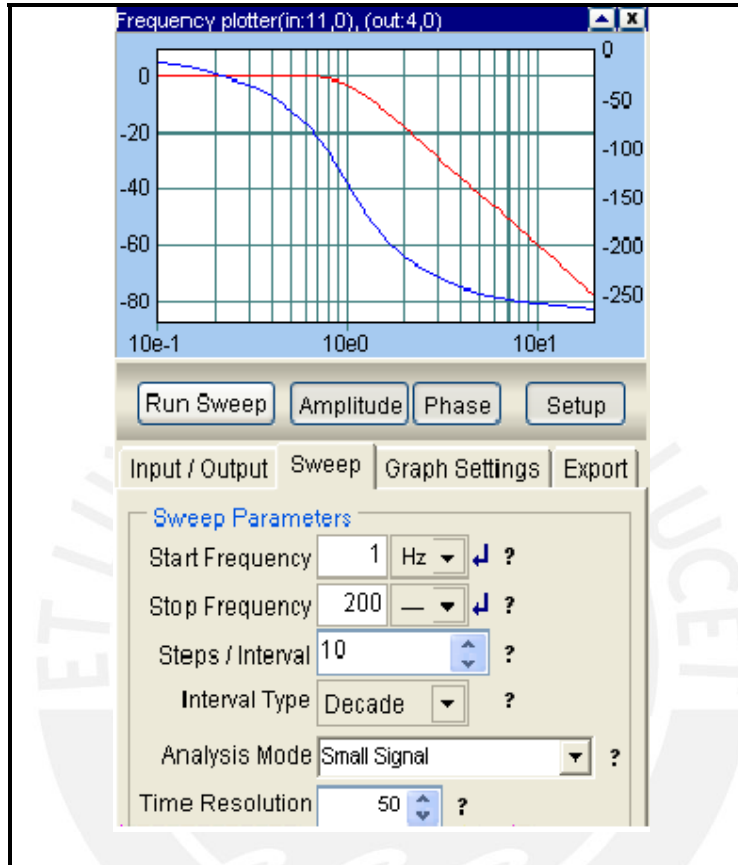
Tabla 3.1 Valores de salida para la simulación del circuito de substracción

Se procede a calcular la exactitud promedio del circuito respecto al valor esperado de salida en el diseño:

$$\text{Exactitud} = \frac{\sum_{i=0.1}^{0.6} \text{Voltajesimulado}_i * 100\%}{6 \text{ Voltajesesperado}_i} \approx 99.37\%$$

3.1.3.2 Simulación de la etapa de filtro

En el diagrama de Bode de la figura 3.8, la línea roja es la gráfica de amplitud y la línea azul es la gráfica de fase.



Fuente: Elaboración propia

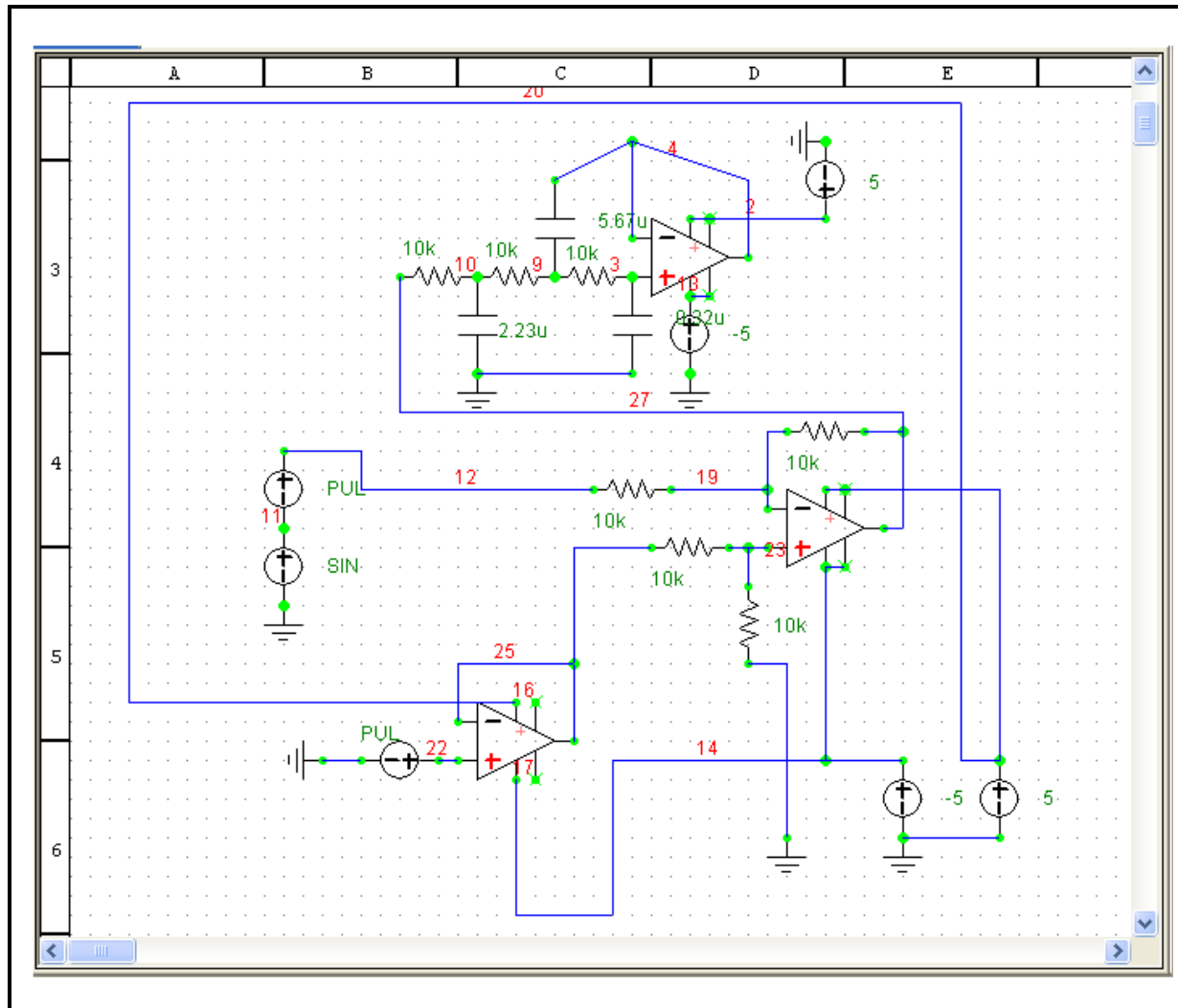
Figura 3.8 Diagrama de Bode de la etapa de filtro

En la figura 3.8 se aprecia una frecuencia de corte de 10 HZ con una caída de 3dB, mientras que la frecuencia de rechazo (60HZ) presenta una caída de 47dB. Como esta caída es mayor a la requerida no representa problema para el diseño.

3.1.3.3 Simulación conjunta de ambas etapas

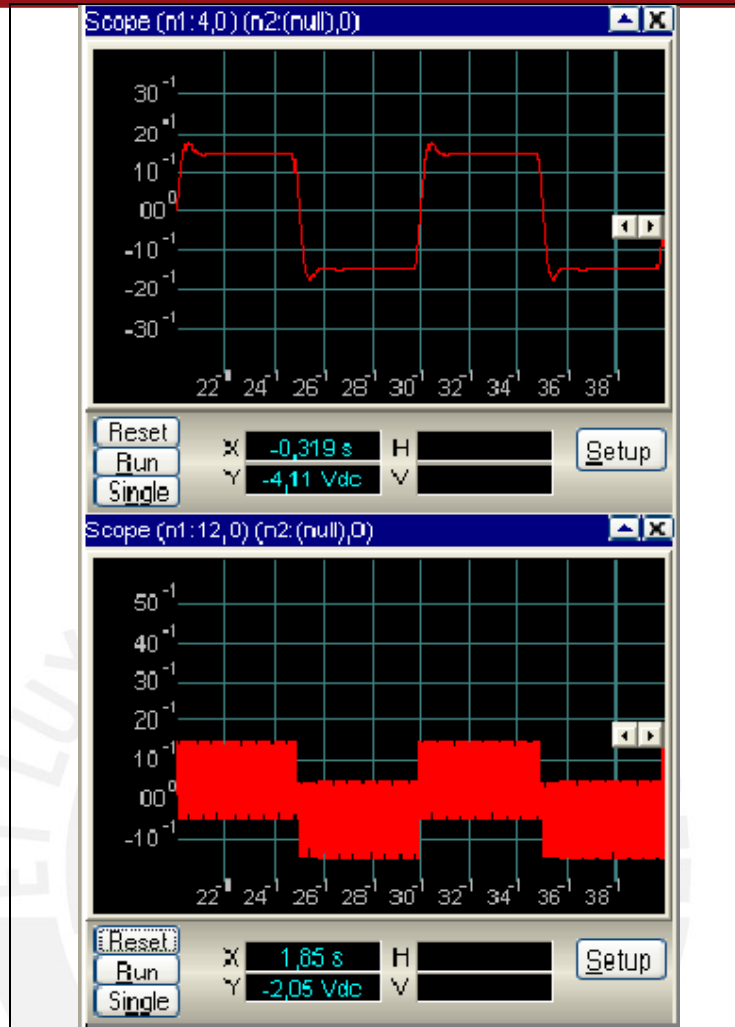
En la figura 3.9a, se muestra la etapa de substracción seguida por la etapa de filtrado. La primera entrada del circuito de substracción (proveniente del la etapa de amplificación) en el nodo 12 es una onda cuadrática más una onda sinusoidal. La onda cuadrada tiene 1 segundo de periodo y 50% de ciclo de trabajo con 1V de amplitud pico-pico. La onda sinusoidal es de 100HZ con 1 V

de amplitud máxima. La otra entrada del circuito de sustracción proveniente del divisor de voltaje V_{ref} (nodo 22) es una onda cuadrada de 1 segundo de periodo y 50% de ciclo de trabajo con 4V de amplitud pico-pico. Finalmente, la salida de todo el circuito en conjunto está ubicada en el nodo 4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9a Circuito de sustracción y filtro del módulo de acondicionamiento de pH



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9b Simulación del circuito de substracción y filtro del módulo de acondicionamiento de pH

Se puede apreciar en la figura 3.9b que la señal de salida (gráfica superior) tiene un voltaje promedio de aproximadamente 3 V pico-pico. Este valor es aceptable, ya que corresponde a la diferencia de los valores máximos de cada una de las entradas, según ecuación de salida para la etapa de substracción:

$$4V_{p-p \text{ cuadrada (nodo22)}} - 1V_{p-p \text{ cuadrada (nodo12)}}$$

La señal sinusoidal de 100Hz, adicionada a la resta de las señales, ha sido filtrada en la etapa de filtro; permaneciendo solo las señales cuadradas de 1 HZ. La gráfica inferior de la figura 3.9b corresponde a la suma de las señales cuadrada y sinusoidal proveniente de la etapa de amplificación.

Con esta simulación se puede apreciar que el circuito suprime señales mayores que 1HZ, tal como fue diseñado. Y que la etapa de substracción, resta sin añadir ningún tipo de atenuación ni ganancia al resultado.

3.1.4 Tratamiento de la señal de pH

La señal de salida de esta etapa de acondicionamiento se encuentra en un rango de voltaje de 1-5V para valores de pH comprendidos entre 6 y 9 unidades, como se explico en la sección 3.1.2.

Por ello el módulo de procesamiento es programado de tal manera que presente dichos valores de pH cuando se le solicite. Haciendo uso de la ecuación (3.19b), se implementa la siguiente ecuación en el módulo:

$$pH = 6 + \frac{V_i}{0.06 * G} \quad (3.22)$$

Donde

V_i es el voltaje de salida del módulo de acondicionamiento de pH,

G la ganancia de la etapa de amplificación.

El valor de V_i es obtenido del conversor analógico-digital (10 bits) de la siguiente manera:

$$V_i = Num * \frac{5V}{1024} \quad (3.23)$$

Donde:

Num representa al número que se asigna al voltaje leído por el ADC

Como se está usando para la adquisición de pH, un transductor basado en sonda por electrodos, se tiene que implementar una ecuación (ecuación 3.27) tal que tenga en cuenta la sensibilidad real del sensor, diferente al valor nominal especificado en la hoja de datos, así como también el desplazamiento (Offset) que presente; ya que estos parámetros varían en cada sensor debido a los procesos de fabricación. Para implementar dicha ecuación se hace uso del valor V_{ref} y el potenciómetro de la etapa de substracción.

Como se había explicado, el valor de V_{ref} estaba dado por " $G*0.06$ ", donde 0.06 (mV/pH) era la sensibilidad del sensor. En este caso se tomará dicha

sensibilidad como una variable S_{var} , debido a que esta cambiara según el electrodo de pH que se use.

Cada vez que se reemplace por otro sensor de pH, se requerirá ajustar el valor de S_{var} a través de V_{ref} (haciendo uso del potenciómetro) al valor nominal de sensibilidad (S_{nom}) especificado en la hoja de datos del sensor, para ello:

$$V_{ref} = S_{nom} * G \tag{3.24}$$

El voltaje de salida de la etapa de amplificación, tomando en cuenta la sensibilidad real del sensor como también el desplazamiento que presente este, es:

$$V_{oamp} = S_{var} * G * [7 - (pH + X)] \tag{3.25}$$

Donde

X es el desplazamiento (Offset),

S_{var} es la sensibilidad real del sensor.

Reemplazando las ecuaciones 3.24 y 3.25 en la ecuación 3.19a; se tiene que la ecuación de salida final para la etapa de acondicionamiento de pH esta dada por:

$$V_o = S_{nom} * G - S_{var} * G * [7 - pH - X] \tag{3.26}$$

Con la ecuación 3.26, podemos hallar el valor de pH de la siguiente forma:

$$pH = \frac{V_o}{S_{var} * G} + (7 - x) - \frac{S_{nom}}{S_{var}} \tag{3.27}$$

Para hallar el valor de pH con la ecuación anterior, es necesario hallar los valores de desplazamiento y sensibilidad real. Para ello se procede de la siguiente forma y haciendo uso de dos muestras cuyo valor de pH sean conocidos o medidos por un instrumento de medición estándar:

En la ecuación 3.26, con una muestra de $pH=7$:

$$V_o = S_{nom} * G + S_{var} * G * X = A \tag{3.28a}$$

$$S_{var} * X = \frac{A}{G} - S_{nom} \tag{3.28b}$$

Donde

A es el valor leído por el módulo de procesamiento.

G y S_{nom} son valores conocidos.

En la ecuación 3.26, con una muestra de $pH=6$:

$$V_o = S_{nom} * G - S_{var} * G * (1 - X) = B \quad (3.29a)$$

$$S_{var} = S_{nom} + X * S_{var} - B \quad (3.29b)$$

Donde

B es el valor leído por el módulo de procesamiento.

Reemplazando 3.28b en 3.29b, se tiene el valor de la sensibilidad verdadera del sensor (S_{var}); y con este valor de S_{var} en 3.28b se obtiene el valor de desplazamiento X.

Con estos valores ya se puede hallar el valor de pH, teniendo en cuenta los factores de calibración, en la ecuación 3.27.

Para hallar el tiempo de muestreo de esta etapa, se procede de la siguiente manera:

El ADC de la plataforma de procesamiento consta de 10bits y alimentado a 5 V, esto da una resolución de $1LSB=4.8mV$.

Por otro lado, si consideramos $G=22.22$ en la ecuación (3.19b) de señal de salida del módulo de acondicionamiento de pH, se tendrá una sensibilidad de $0.06 * G = 1.333 V/pH$.

Entonces la resolución del ADC, en términos del parámetro leído, será:

$$\frac{4.8mV / muestra}{1.333V / pH} = 3.6 * 10^{-3} pH / muestra$$

Según las mediciones realizadas en los reservorios de la Planta, la variación de pH (el comportamiento del pH en el día es casi lineal con respecto al tiempo):

$$\frac{8.5pH - 7.5pH}{12Horas} = 2.3 * 10^{-5} pH / seg$$

Con estos dos valores hallados anteriormente, se tiene:

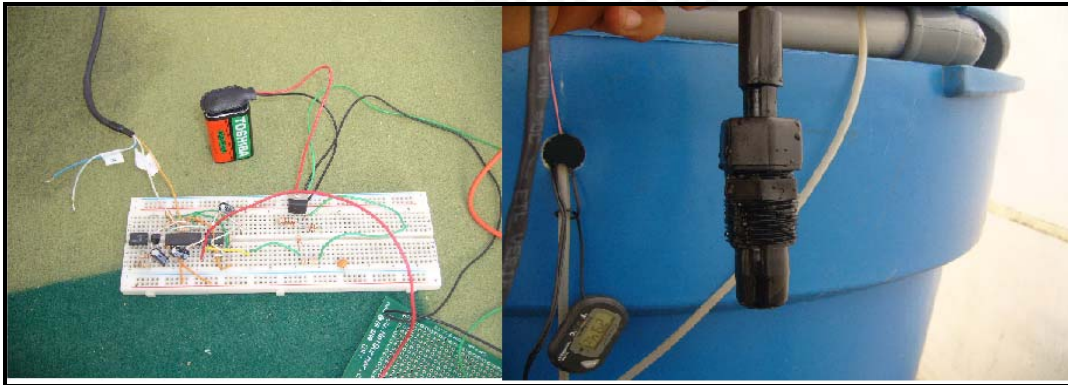
$$\frac{2.89 * 10^{-3} pH / muestra}{2.3 * 10^{-5} pH / seg} = 125.65seg / muestra$$

Entonces, si se quiere visualizar variaciones de pH de $2.89 \cdot 10^{-3}$, el espacio máximo de tiempo que debe haber entre muestra y muestra es de 125.65 seg. Por teorema de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor a dos veces la frecuencia máxima de la señal, para recuperarla totalmente. Entonces la frecuencia de muestro del ADC es:

$$F_{\text{muestreo}} = 2(1/125.65) = 0.016 \text{ HZ}$$

3.15 Pruebas

Para realizar las pruebas, el circuito de acondicionamiento de pH se monto sobre un protoboard (véase figura 3.10), y se hicieron varias medidas con diferentes muestras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Circuito de acondicionamiento de pH(derecha) y sonda pH(izquierda)

Este circuito se conecto a las entradas analógicas del módulo de procesamiento y se realizo la lectura de los valores por una interfaz visual en una computadora. Las muestras usadas fueron soluciones de agua destilada, agua potable, agua de mar y agua con bicarbonato de sodio.

A continuación se muestra en la tabla 3.2 los valores obtenidos:

Muestra	Agua destilada	Agua de mar	Agua potable	Agua con bicarbonato de sodio
1	7.1	8.1	7.5	8.7
2	7.2	8	7.4	8.5
3	6.8	8.2	7.4	8.4
4	6.9	8.2	7.6	8.7
5	7.1	8	7.5	8.4
6	7.1	8	7.5	8.4
Valor esperado	7	8.1	6.5 a 8.5	8.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Valores pH de las muestras

Para calcular la exactitud, tomamos las muestras correspondientes al agua destilada:

$$\text{Exactitud} = 100\% - \frac{\sum_{i=1}^6 |pH_{\text{referencial}} - pH_{\text{medido}_i}| * 100\%}{7} \approx 98.1\%$$

Donde:

$$pH_{\text{referencial}} = 7$$

Para calcular la precisión, tomamos un grupo de muestras de cualquiera de las soluciones, en este caso la misma agua destilada::

$$\text{Precisión} = \sum_{i=1}^6 \frac{|pH_{\text{valor_medio}} - pH_{\text{medido}_i}| * 100\%}{pH_{\text{valor_medio}}} \approx 1.7\%$$

Donde:

$$pH_{\text{valor_medio}} = \sum_{i=1}^6 \frac{pH_{\text{medido}_i}}{6}$$

3.2 Módulo de medición de temperatura en el agua

3.2.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura a usar es el termistor, que es un sensor térmico resistivo cuya función primaria es presentar un cambio eléctrico de resistencia frente a un cambio de temperatura. El material del cual está hecho este sensor es silicio (semiconductor cerámico).

Las ventajas de un termistor son su alta sensibilidad comparado con termocupla y RTDs (pequeños cambios de resistencia con temperatura de $0.5\%/^{\circ}\text{C}$), en cambio un termistor presenta cambios de 3 a $11\%/^{\circ}\text{C}$ [24].

Otra de sus ventajas es su pequeño tamaño y robustez lo cual permite ser manejado en cualquier medio (en este caso líquido). Como la alta resistencia del termistor es muy grande comparado con la resistencia de conductores o cables largos, este es usado para monitorear temperatura en localizaciones remotas.

La mayoría de los termistores presentes en el mercado son fabricados con tolerancias muy próximas, lo cual hace posible el reemplazo de termistores sin necesidad de un sistema de re-calibración [24].

Un termistor de coeficiente negativo exhibe un decrecimiento eléctrico en la resistencia con un incremento de temperatura. Dependiendo del tipo de material de fabricación, los termistores pueden ser usados dentro de temperaturas de -50 a 150 $^{\circ}\text{C}$. Para cálculos, la resistencia de un termistor es referenciada a 25 $^{\circ}\text{C}$ y comúnmente a esta temperatura el valor del termistor esta entre $100\ \Omega$ y $100\text{K}\Omega$.

La ecuación polinomial Steinhart-Hart (ecuación 3.30) es la que representa la relación resistencia-temperatura de un termistor de coeficiente negativo. La ecuación es muy precisa e introduce un error menor que 0.1% sobre el rango de temperatura de -30 a 125 $^{\circ}\text{C}$ [24].

$$\frac{1}{T_t} = a + b * \ln(RT) + c * \ln^3(RT) \quad (3.30)$$

Donde:

T_t es la temperatura del medio en la cual se encuentra el termistor medida en grados Kelvin.

RT es la resistencia eléctrica del termistor

Los coeficientes a , b y c son algunas veces dados por el fabricante. Pero si no son dados, estos pueden ser calculados con la ecuación 3.30, si la resistencia del termistor es conocida en tres diferentes puntos de temperatura.

Otros fabricantes dan la resistencia de los termistores a 25 $^{\circ}\text{C}$ y además proveen una constante de temperatura denotada por β [24]. Con estos datos la temperatura monitoreada puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$RT = R25 * \exp\left(\frac{\beta}{T_t} - \frac{\beta}{T25}\right) \quad (3.31a)$$

$$T_t = \frac{1}{\beta \ln\left(\frac{RT}{R25}\right) + \frac{1}{T25}} \quad (3.31b)$$

Donde:

$R25$ es la resistencia a 25°C

$T25$ es la temperatura en grados Kelvin a 25°C

Como se puede apreciar la relación resistencia-temperatura no es lineal. Como el termistor a usar en este diseño presenta los valores de β , $R25$ y $T25$ en su hoja de fabricante, la ecuación 3.31 será la implementada en el módulo de procesamiento que se encargará de tratar los datos adquiridos.

Como el calor disipado por el termistor también será sentido por el mismo, este debe ser tan bajo que no afecte la medición, en este caso se escoge un termistor cuya temperatura de disipación máxima sea menor que 1°C . El termistor a usar es el G14 fabricado por Bowthorpe Thermistors (Anexo C). Con un coeficiente de disipación de $1.3 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ y una resistencia de $30\text{K}\Omega$ a 0°C . Si se hace pasar una corriente de $100 \mu\text{A}$ por el termistor, entonces la temperatura por disipación del termistor es la siguiente:

$$Pot = I^2 R = (100 * 10^{-6})^2 (30000) = 3 * 10^{-4} \text{ W}$$

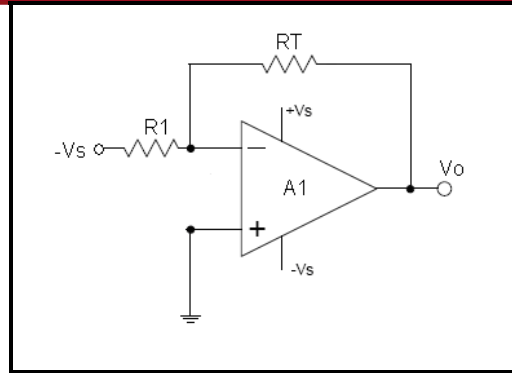
Con la constante de disipación:

$$T_{dis} = \frac{3 * 10^{-4} \text{ W}}{1.3 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}} = 0.2^{\circ}\text{C}$$

Entonces la temperatura disipada es menor que 1°C y no afecta en la medida. Esto da un error máximo en la medición de 0.2°C .

3.2.2 Etapa de acondicionamiento

Para acondicionar la señal del sensor de temperatura al módulo de procesamiento de datos, se hará uso de un amplificador operacional en configuración inversor (figura 3.11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Amplificador inversor

El valor de RT (resistencia del termistor) es determinado por las siguientes ecuaciones:

$$V_o = V_s \frac{RT}{R1} \quad (3.32a)$$

$$RT = V_o \frac{R1}{V_s} \quad (3.32b)$$

Con una fuente de $-V_s = -5V$ y una intensidad de corriente de $100\mu A$ por RT , se calcula $R1$ en la ecuación 3.32a:

$$R1 = [0 - (-V_s)] / 100 \mu A = 5V / 100 \mu A = 50K\Omega$$

Según las medidas de temperatura tomadas en el estanque, se tuvieron una temperatura mínima de $24^\circ C$ en invierno y una temperatura máxima de $35^\circ C$ en verano.

Para calcular el valor máximo y mínimo del rango de la señal (V_o). Se toma una temperatura de $20^\circ C$ para el valor máximo y una temperatura de $40^\circ C$ para el valor mínimo.

Valor máximo de V_o : A una temperatura de $20^\circ C$ el termistor presenta, según hoja de datos, una resistencia RT de $10K\Omega$. Con esto y en la ecuación 3.32a, se tiene un V_o máximo de $1V$.

Valor mínimo de Vo: A una temperatura de 40°C el termistor presenta, según hoja de datos, una resistencia R_T de 6KΩ. Con esto y en la ecuación 3.32a, se tiene un V_o mínimo de 0.6V.

Como la señal de salida de todo el circuito en general debe estar entre 1V y 5V, a la salida de V_o se agrega el circuito de la figura 3.3. La salida de este circuito está dada por la ecuación 3.18, que se trató en la sección anterior:

$$V_{sal} = V_{ref} * \frac{(R4 + R7)R6}{(R5 + R6)R4} - V_o * \frac{R7}{R4}$$

Según a los requerimientos de diseño, al presentarse una temperatura de 10°C y 50°C, el V_{sal} debe ser de 1V y 5V respectivamente.

Entonces para ello la relación $\frac{R7}{R4}$ debe ser igual a 5 y la relación $\frac{(R4 + R7)R6}{(R5 + R6)R4}$

igual a 7.

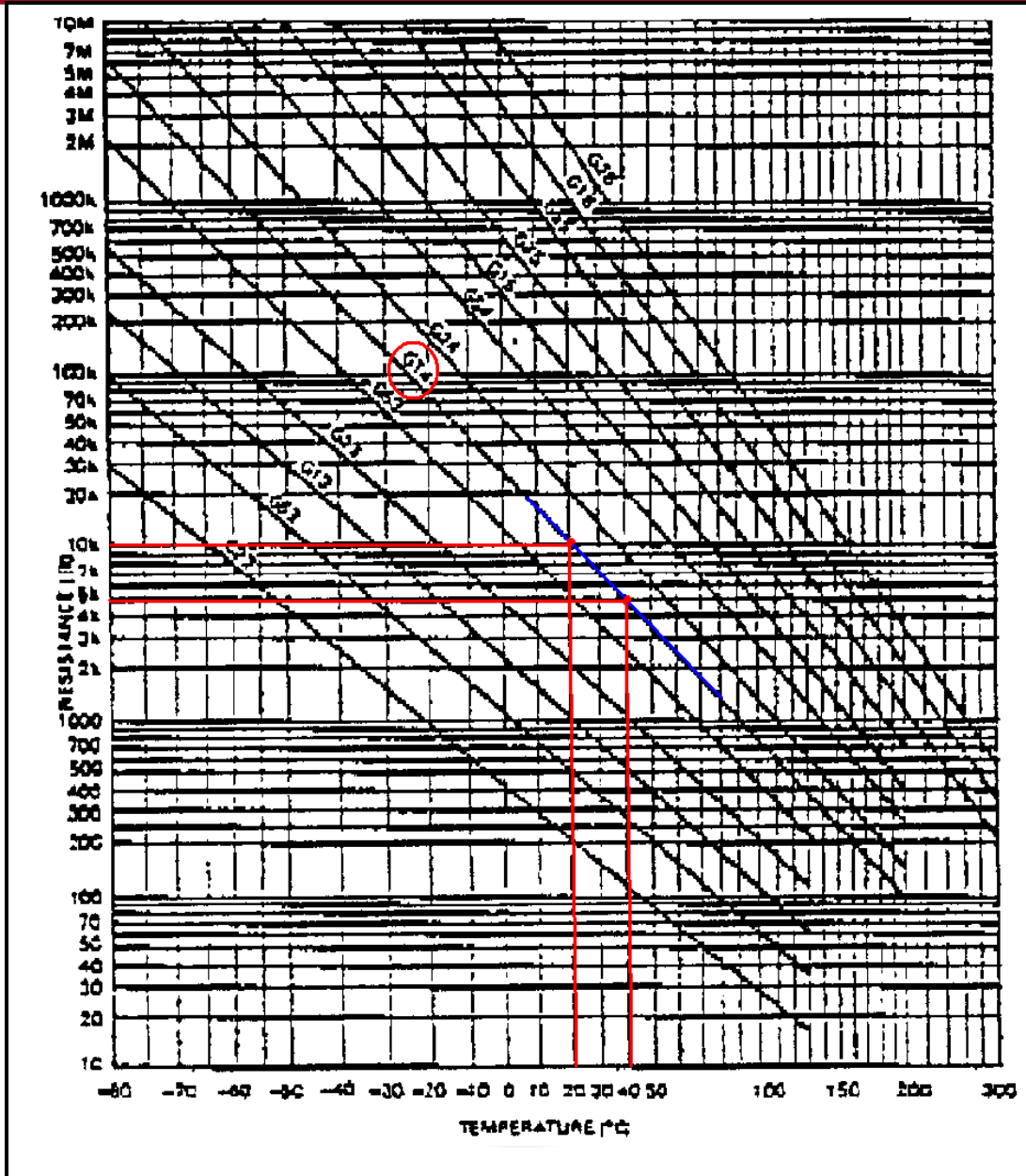
Después de la salida se agrega una etapa de filtro la cual no dejara pasar señales de ruido de línea (60Hz) ni otro tipo de ruido acumulado.

El diseño del filtro tiene las mismas características y es el mismo diseño desarrollado en la etapa de acondicionamiento de pH. La salida del filtro es seguida por el módulo de procesamiento que se encargara de tratar la señal adquirida.

3.2.3 Tratamiento de la señal de temperatura

La señal proveniente del módulo de acondicionamiento de temperatura se encuentra en un rango de voltaje entre 1V y 5V.

Esta señal debe ser multiplicada por 10 en el módulo de procesamiento, para que de esta manera se pueda visualizar los valores de temperatura deseados.



Fuente: Hoja de datos de termistores NTC-tipo G, GL de Bowthorpe Thermistors

Figura 3.12 Gráfica resistencia-temperatura

Se puede apreciar en la figura 3.12, que la grafica resistencia-temperatura, es de naturaleza casi lineal entre los valores 6KΩ y 10KΩ. La relación R-T, puede ser calculada aproximadamente de la figura:

$$\frac{40^{\circ}C - 20^{\circ}C}{6K\Omega - 10K\Omega} = -5^{\circ}C / K\Omega$$

La relación voltaje-resistencia del circuito inversor de la figura 3.11, que también presenta una linealidad, puede ser calculada haciendo uso de la grafica 3.12 y la ecuación 3.32a:

$$\frac{1V - 0.6V}{20^{\circ}C - 40^{\circ}C} = -20mV/^{\circ}C$$

La resolución del ADC es de $1LSB=4.8mV$, y con el valor anteriormente dado tenemos:

$$\frac{4.8mv / muestra}{20mV / ^{\circ}C} = 0.24^{\circ}C / muestra$$

Como la variación de temperatura en los reservorios para acuicultura es de aproximadamente $0.05^{\circ}C / seg$ (según las mediciones hechas en la Planta), entonces el espacio entre muestra y muestra es:

$$\frac{0.24^{\circ}C / muestra}{0.05^{\circ}C / seg} = 4.8seg / muestra$$

Por teorema de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor a dos veces la frecuencia máxima de la señal, para recuperarla totalmente. Entonces la frecuencia de muestro del ADC es:

$$F_{muestreo} = 2(1/4.8) = 0.42 \text{ HZ}$$

Como se había mencionado anteriormente, en la sección correspondiente al módulo de acondicionamiento de temperatura, se quiere visualizar variaciones de tan solo $1^{\circ}C$. Dicho tiempo se da cada 20 segundos ($0.05^{\circ}C/seg$); entonces se programa la plataforma de procesamiento de modo que cada 20 segundos actualice el valor de temperatura presente en la página Web.

La temperatura óptima para la crianza de tilapia está entre los $25^{\circ}C$ y $30^{\circ}C$ [43], estos valores sirven para establecer las alarmas de temperatura mínima y máxima.

3.2.4 Pruebas

Al igual que el circuito de pH, el circuito de temperatura esta implementado sobre el mismo protoboard mostrado en la figura anterior. Como valor de referencia se tomo las medidas realizadas por un termómetro de mercurio. En este caso se sumergió el termistor en agua a diferentes temperaturas.

Muestra	A	B	C	D
1	20.3°C	28.2°C	32.2°C	37.5°C
2	20.4°C	28.3°C	32.2°C	37.4°C
3	20.3°C	28.1°C	32.2°C	37.4°C
4	20.3°C	28.1°C	32.1°C	37.4°C
5	20.2°C	27°C	32.1°C	37.2°C
Referencia	20.3 °C	28.1°C	32.2°C	37.5°C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Valores de temperatura de las muestras

Para calcular la exactitud, tomamos las muestras correspondientes a la muestra A de la tabla 3.3:

$$\text{Exactitud} = 100\% - \frac{\sum_{i=1}^5 |pH_{\text{referencial}} - pH_{\text{medido}_i}| * 100\%}{20.3 * 5} \approx 99.7\%$$

Donde:

$$pH_{\text{referencial}} = 7$$

Para calcular la precisión, tomamos el grupo de valores de la muestra A

$$\text{Precisión} = \frac{\sum_{i=1}^5 |pH_{\text{valor_medio}} - pH_{\text{medido}_i}| * 100\%}{pH_{\text{valor_medio}} * 5} \approx 0.2\%$$

Donde:

$$pH_{\text{valor_medio}} = \frac{\sum_{i=1}^5 |pH_{\text{medido}_i}|}{5}$$

3.3 Módulo de medición de nivel de agua

3.3.1 Sensor de nivel capacitivo

Para medir el nivel de líquido en un estanque, se podría detectar los parámetros físicos que son significativamente diferentes entre la atmosfera y el líquido, como por ejemplo, la conductividad, viscosidad o atenuación de cualquier tipo de radiación.

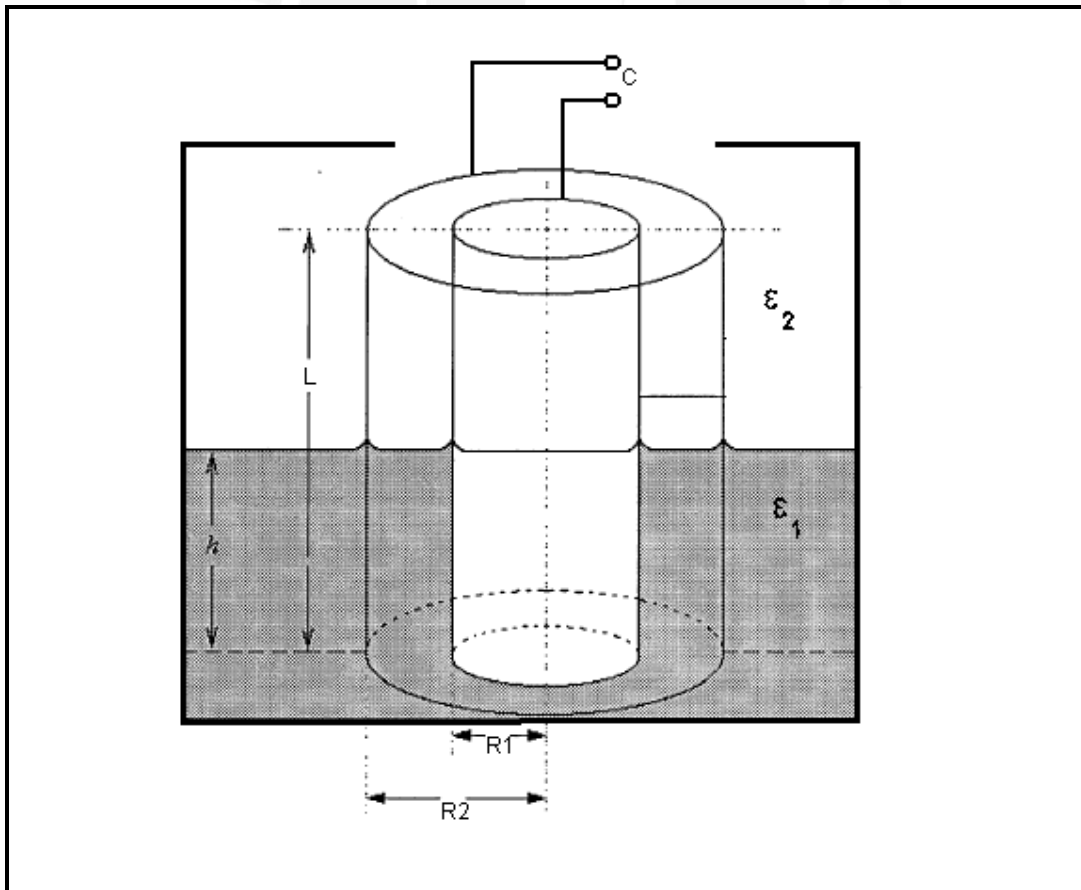
En muchas aplicaciones, se hacen uso de unas barras de electrodo que son puestas verticalmente en el estanque que contiene el líquido a medir, usando a

estas como un sensor capacitivo. El funcionamiento de un sensor capacitivo consiste en señalar un cambio de estado, basado en la variación del estímulo de un campo eléctrico. Estos sensores detectan objetos metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material (en este caso el líquido del estanque) que se encuentra entre las dos barras, su masa, tamaño, y distancia que ocupa este material hasta la superficie sensible del sensor [25].

Como los sensores capacitivos de 2 varas miden la capacitancia que se produce entre estas dos, no se necesita una placa extra o un tanque metálico. Lo cual permite su fácil utilización en estanques de hormigón o plástico.

El nivel de un líquido puede ser determinado por el método basado en la diferencia de la constante dieléctrica del líquido y el aire que está sobre este.

Como el estanque de la planta es de plástico, se hará uso de dos sondas cilíndricas concéntricas de metal, las cuales serán usadas para medir su capacitancia, tal como lo muestra la figura 3.13:



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Sensor de nivel capacitivo

En el mercado se encuentran sensores capacitivos con sondas de aluminio, el cual es un metal resistente a la corrosión, flexible y no tóxico. La mayoría de estos sensores viene con cables de conexión de 1mm de diámetro montados en las sondas de aluminio. Las dimensiones de estas son especificadas mas adelante.

El espacio ente las dos sondas cilíndricas debe ser el adecuado para asegurar que este sea llenado por el liquido a la misma altura que el resto del tanque.

Para calcular el valor de esta capacitancia procedemos de la siguiente manera:

La capacitancia de un conductor esta definida como:

$$C=Q/V \tag{3.33}$$

Donde Q es la cantidad de carga que se encuentra en la superficie del conductor y V la diferencia de potencial que presenta este.

Entonces para hallar la capacitancia de las dos sondas cilíndricas conductoras, se tiene que hallar la diferencia de potencial que hay entre ellas.

La sonda cilíndrica interior (R1) esta conformada por una serie de cargas rectilíneas, cada una de ellas, con un campo eléctrico radial a una distancia r desde la carga rectilínea [26]:

$$Er= \lambda / (2\pi \epsilon_2 r) \tag{3.34}$$

Donde ϵ_2 es la constante dieléctrica del aire y λ es la densidad lineal de carga

Entonces para calcular la diferencia de potencial desde la sonda interior hasta la exterior (R2), se integra el campo eléctrico de cada carga rectilínea a lo largo de los radios R1 y R2 de la siguiente manera:

$$VR2 - VR1 = \int_{R1}^{R2} E_r .dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_2} \ln \frac{R2}{R1} \tag{3.35}$$

Aplicando la ecuación 3.35 en la ecuación 3.33; y con una carga de superficie $Q= \lambda L$, obtenemos la ecuación de capacitancia para el sensor de sondas cilíndricas concéntricas (suponiendo que no hay líquido entre estas):

$$C = \frac{2\pi L \epsilon_2}{\ln(R2 / R1)} \tag{3.36}$$

Conforme varíe el nivel del agua en el estanque, esta ira desplazando el aire que se encuentra entre los cilindros. Entonces, se presentara una nueva

constante dieléctrica, lo cual provocara un cambio en la capacitancia del sensor capacitivo.

Para calcular esta capacitancia, se toma al sensor como dos capacitancias en paralelo: uno, que es la parte que no presenta líquido y el otro que se encuentra ocupado por este (figura 3.13).

$$C_{total} = C_{vacio} + C_{liquido} = \frac{2\pi(L-h)\epsilon_2}{\ln(R2/R1)} + \frac{2\pi h\epsilon_1}{\ln(R2/R1)} = \frac{2\pi[\epsilon_2(L-h) + h\epsilon_1]}{\ln(R2/R1)} \quad (3.37)$$

Donde:

Ctotal es la capacitancia total del sensor

Cvacio es la capacitancia de la parte del sensor con núcleo de aire

Clíquido es la capacitancia de la parte del sensor con núcleo de agua

h altura del líquido en el sensor

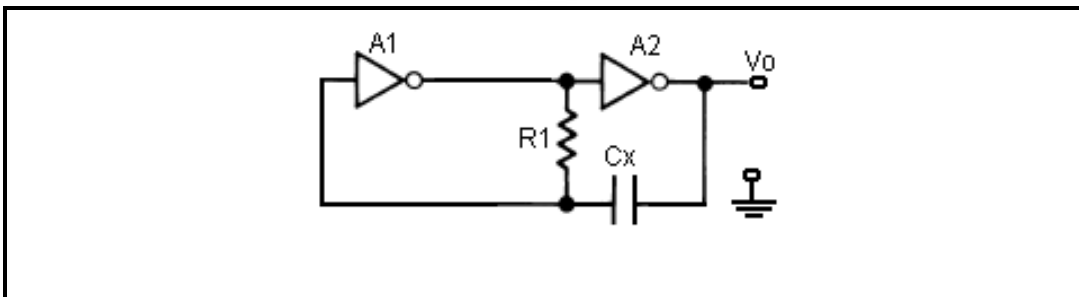
L altura del sensor

Un circuito oscilador que usa la capacitancia del sensor generara una determinada frecuencia la cual es detectada por el módulo de procesamiento.

Con la frecuencia detectada, se obtiene el valor de la capacitancia en el modulo de procesamiento; y luego aplicando la ecuación 3.37, obtenemos la altura “h” a la cual se encuentra el liquido en el estanque.

3.3.2 Circuito oscilador

La figura 3.14 ilustra un oscilador hecho con 2 compuertas inversoras CMOS. Debido al voltaje umbral de las compuertas CMOS, 50% del voltaje de alimentación; el ciclo de trabajo del oscilador también será de un 50 %.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Circuito oscilador con compuertas CMOS

Para la salida oscilatoria del circuito de la figura 3.14, se tiene:

Para el tiempo en alta (T_a) de la salida V_o , el condensador empieza a descargarse de V_{CC} hasta el voltaje umbral V_T :

$$V_T = V_T - (V_T - V_{CC})e^{\frac{-T_a}{R1.Cx}} \quad (3.38a)$$

$$T_a = R1.Cx \ln \frac{V_{CC}}{V_T} \quad (3.38b)$$

Para el tiempo en baja (T_b) de la salida V_o , el condensador empieza cargar de $0V$ hasta el voltaje umbral V_T :

$$V_T = V_{CC} - (V_{CC} - 0)e^{\frac{-T_b}{R1.Cx}} \quad (3.39a)$$

$$T_b = R1.Cx \ln \frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_T} \quad (3.39b)$$

$$T_{periodo} = T_a + T_b \quad (3.40)$$

Este oscilador no es sensible a variaciones de la fuente de alimentación debido al alto voltaje umbral de las compuertas CMOS cerca del 50% de la fuente de alimentación, en comparación con el voltaje umbral de una compuerta TTL de 1.4 V aproximadamente.

La salida de este oscilador es conectada hacia el módulo de procesamiento, el cual se encargara de calcular la frecuencia de oscilación, para luego calcular la capacitancia del sensor capacitivo y por último con este valor, a que altura (h) se encuentra el nivel de líquido en el estanque.

El cambio del nivel de agua en un estanque es dinámicamente lento. Los cambios no se dan de forma rápida. Para evitar trabajar con valores de resistencia altos, se escoge una frecuencia de oscilación alta, pero que esta no sobrepase la frecuencia de trabajo del procesador a usar; y que trabaje dentro de los rangos de frecuencia aceptados por la compuerta CMOS. Un valor de frecuencia aceptable seria 1 MHz

Para R_1 , se busca un valor que entregue una frecuencia que no sobrepase el valor de 1MHz. Si se observan las ecuaciones 3.38b, 3.39b y 3.40; se aprecia que conforme el valor de capacitancia C_x disminuye, la frecuencia de oscilación aumenta. Además C_x depende de la altura de agua en el estanque, siendo esta altura inversamente proporcional a C_x (ecuación 3.37).

Entonces para la frecuencia máxima de oscilación el valor de la capacitancia C_x debe ser mínima, esto ocurre cuando la altura del líquido en el estanque (h) es igual a cero. Entonces en la ecuación 3.37, con $\epsilon_2 = 8.86 \cdot 10^{-12}$ (aire) y $L = 1.20\text{m}$, tenemos un valor de capacitancia:

$$C_x = C_{total} = \frac{2\pi\epsilon_2 L}{\ln(R2/R1)} = \frac{2\pi * 8.86 * 10^{-12} * 1.20}{\ln \frac{1}{0.1}} = 29 \text{ pF}$$

En la ecuación 3.38b, 3.39b y 3.40, si $V_T = V_{CC}/2$ y C_x igual al valor encontrado anteriormente:

$$T_{periodo} = 2 \ln 2 * R1 * C_x \quad (3.41)$$

De aquí se obtiene el valor para $R1$:

$$R1 = \frac{1}{2 \ln 2 * 29 * 10^{-12}} = 24,8 \text{ K}\Omega$$

Por otro lado, el valor C_x debe ser máximo, para que la frecuencia de oscilación sea mínima; y esto ocurre cuando la altura de agua en el estanque (h) es igual a la altura de este (L).

En la ecuación 3.37 con $\epsilon_1 = 7.12 \cdot 10^{-10}$ (agua) y $h=L=1.20\text{m}$, tenemos un valor de capacitancia:

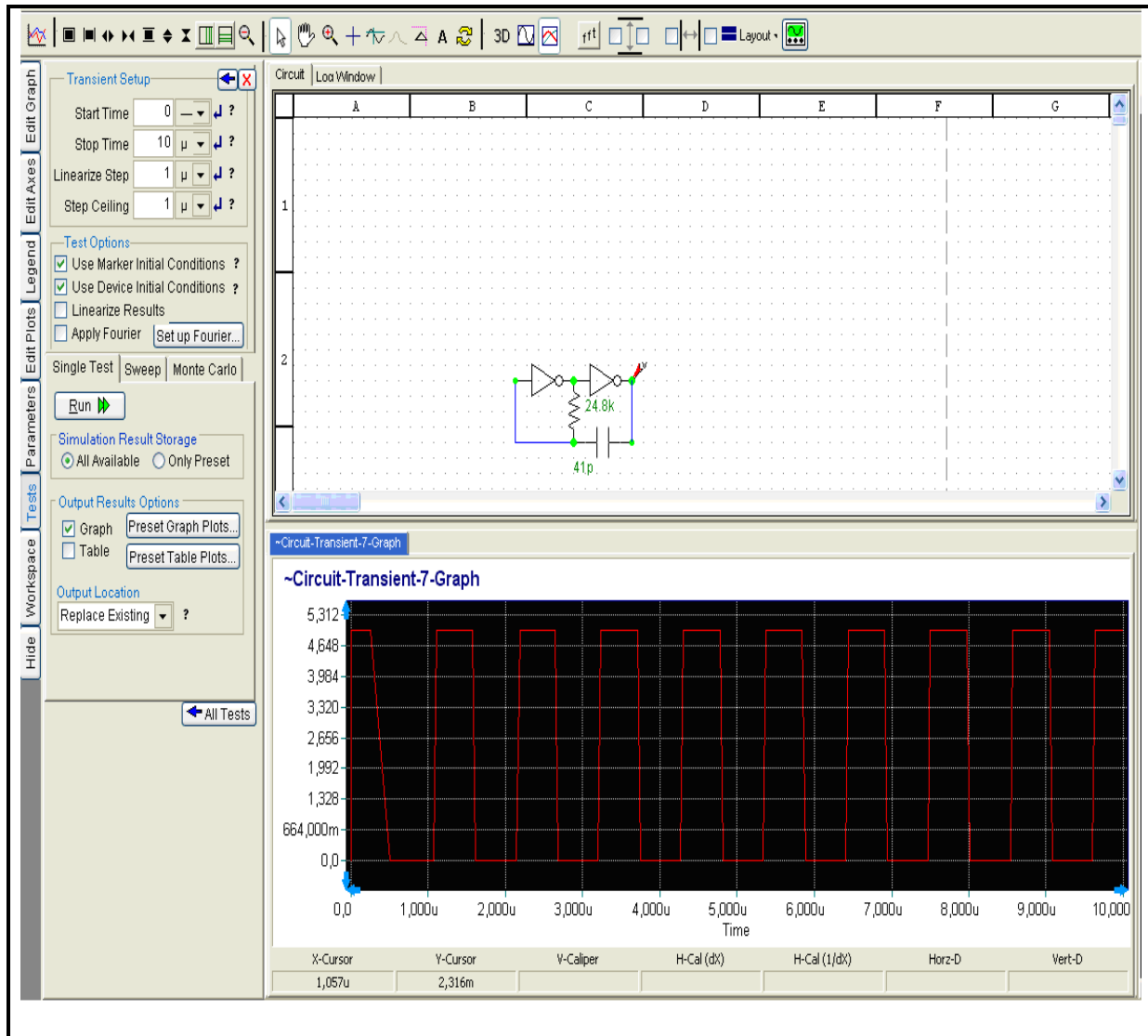
$$C_x = C_{total} = \frac{2\pi * 1.20 * 7.12 * 10^{-10}}{\ln \frac{1}{0.1}} = 2.3 \text{ nF}$$

En la ecuación 3.41, con este valor de capacitancia hallada, se tiene una frecuencia de oscilación mínima de 12,6KHZ.

3.4.4 Simulación del circuito oscilador

Esta simulación corresponde al circuito oscilador descrito anteriormente, con los valores de condensador y resistencia para trabajar a la frecuencia de 1MHZ. El resultado de la simulación arroja un periodo de onda de unos 1,057 μs aproximadamente, lo cual se aproxima a la frecuencia deseada. El integrado que se usó como inversor es el 74HC04, se uso este integrado ya que es único

integrado en el mercado con un voltaje umbral $V_T = V_{CC}/2$, lo cual me permite tener un ciclo de trabajo del 50 %.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15 Circuito oscilador

3.4.5 Tratamiento proveniente de los sensores de nivel

Para esta etapa, la señal que recibe el módulo de procesamiento es una señal de frecuencia de 0 y 5 V aproximadamente. Con el valor de 0 volts para representar al “0” lógico; y 5V para el “1” lógico. Como se estableció anteriormente, esta frecuencia no sobrepasa el valor de 1MHz.

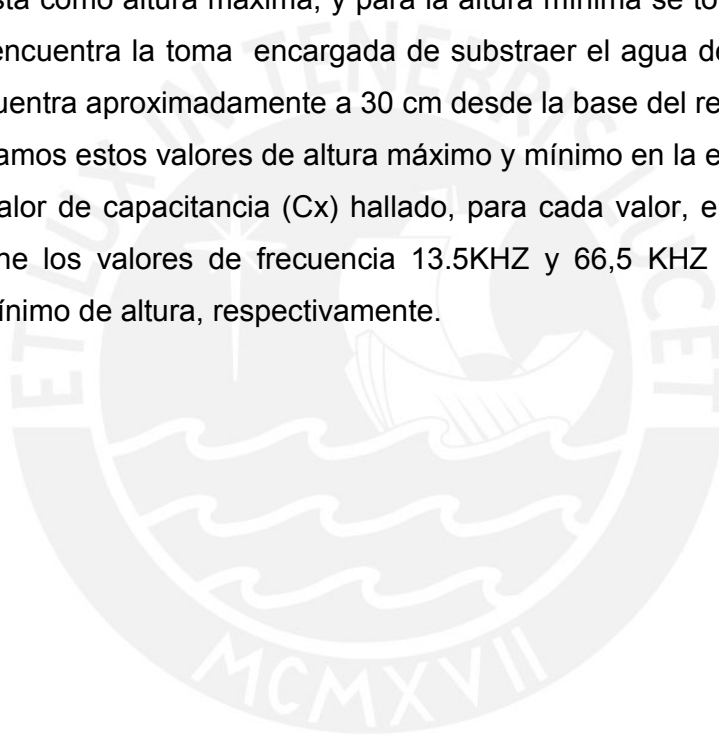
Para calcular el valor de la frecuencia, se hace uso del capturador de flanco que posee el módulo de procesamiento. Se programa este, para que detecte

los flancos de subida y por medio de un contador (timer) cuente en nanosegundos, el tiempo que transcurre entre un flanco y otro.

Una vez que se obtiene este valor de frecuencia, con la ecuación 3.33 se obtiene el valor de C_x ; para luego calcular la altura del líquido haciendo uso de la ecuación 3.29. Tanto la ecuación 3.37 y 3.41 se implementaran en la plataforma de procesamiento.

Por otro lado, también debe establecerse la altura máxima y mínima de agua en el estanque. El estanque tiene 1.20 m aproximadamente, entonces considerando que el nivel promedio del agua en el reservorio es de 1 m, se establece esta como altura máxima; y para la altura mínima se toma aquella, a la cual se encuentra la toma encargada de abstraer el agua del reservorio. Esta se encuentra aproximadamente a 30 cm desde la base del reservorio.

Si reemplazamos estos valores de altura máximo y mínimo en la ecuación 3.37, y luego el valor de capacitancia (C_x) hallado, para cada valor, en la ecuación 3.41; se tiene los valores de frecuencia 13.5KHZ y 66,5 KHZ para el valor máximo y mínimo de altura, respectivamente.



Capítulo 4

Sistema de comunicación y programación de la interfase

En este capítulo se presenta el diseño del sistema de comunicación así como también la selección del módulo de procesamiento encargado de trabajar con las señales que provienen de los módulos de adquisición y acondicionamiento; y realizar la conexión a una red local de trabajo, para enviar los datos ya procesados a través de esta.

4.1 Especificaciones de diseño para el Sistema de comunicación

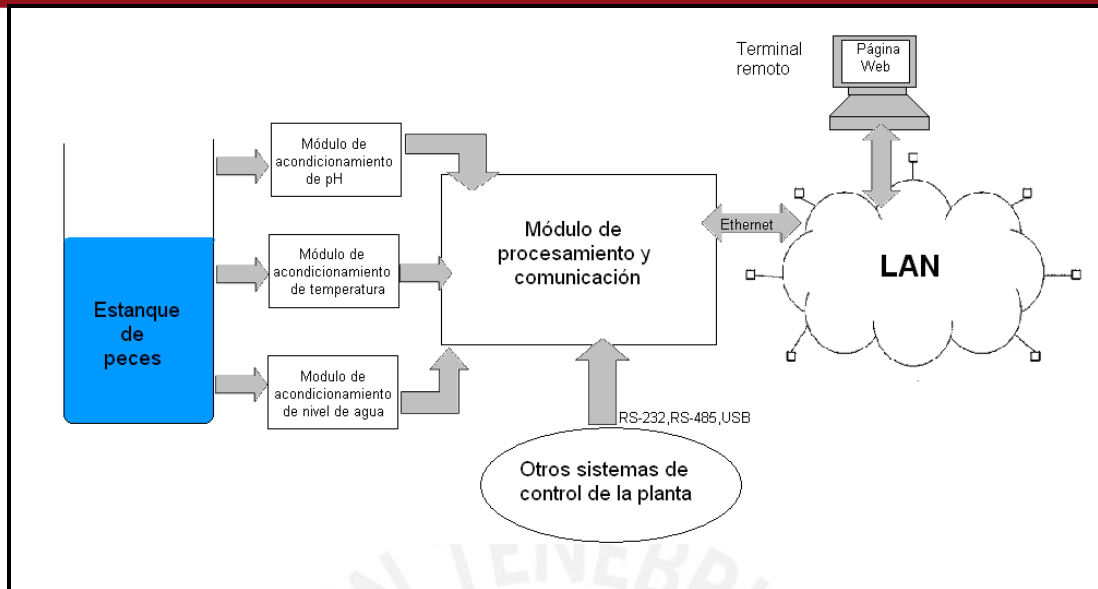
Para diseñar el sistema de comunicación hay que tener en cuenta el tipo de información que se va a transmitir así como también el medio de transmisión, los demás dispositivos que se van a encontrar en la planta y que necesiten conectarse a la red de trabajo.

El sistema de monitoreo (módulo de procesamiento + módulos de acondicionamiento de señal) requiere conectarse a una red de computadoras dentro de un área específica, en este caso, la red de trabajo de la especialidad de Ingeniería Electrónica en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Como todas las computadoras solicitaran información de este sistema de monitoreo, el tipo de comunicación es una red punto a multipunto. La solución que se presenta se basa en la tecnología de comunicación Ethernet, la cual aprovecha las instalaciones Ethernet de la Universidad.

Los requerimientos de este sistema son:

- Comunicación punto a multipunto, desde el servidor a las computadoras que le solicitan información.
- Servicio de páginas Web cuyo contenido sean los valores en tiempo real de los parámetros ambientales de la Planta.
- Que el sistema de comunicación no interfiera con otros sistemas ni que se vea afectado por estos en la red de datos.

A continuación se presenta un esquema del sistema desarrollado (figura 4.1), en el cual se conecta el sistema de monitoreo a la red local de trabajo (LAN) y es accedido, mediante un programa cliente-servidor, desde cualquier punto de la red que tenga acceso al sistema, tal como se observa en la figura 4.1



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Sistema de monitoreo y comunicación de la Planta

La tarea recae sobre el módulo integrado de procesamiento y comunicación, que se seleccionara en la siguiente sección, encargado de tratar las señales procedentes de los módulos de acondicionamiento, procesar la información, realizar la conexión a la red de datos (LAN) y dar soporte para servir esta información en formato de páginas Web(basado en código HTML [3] [10]).

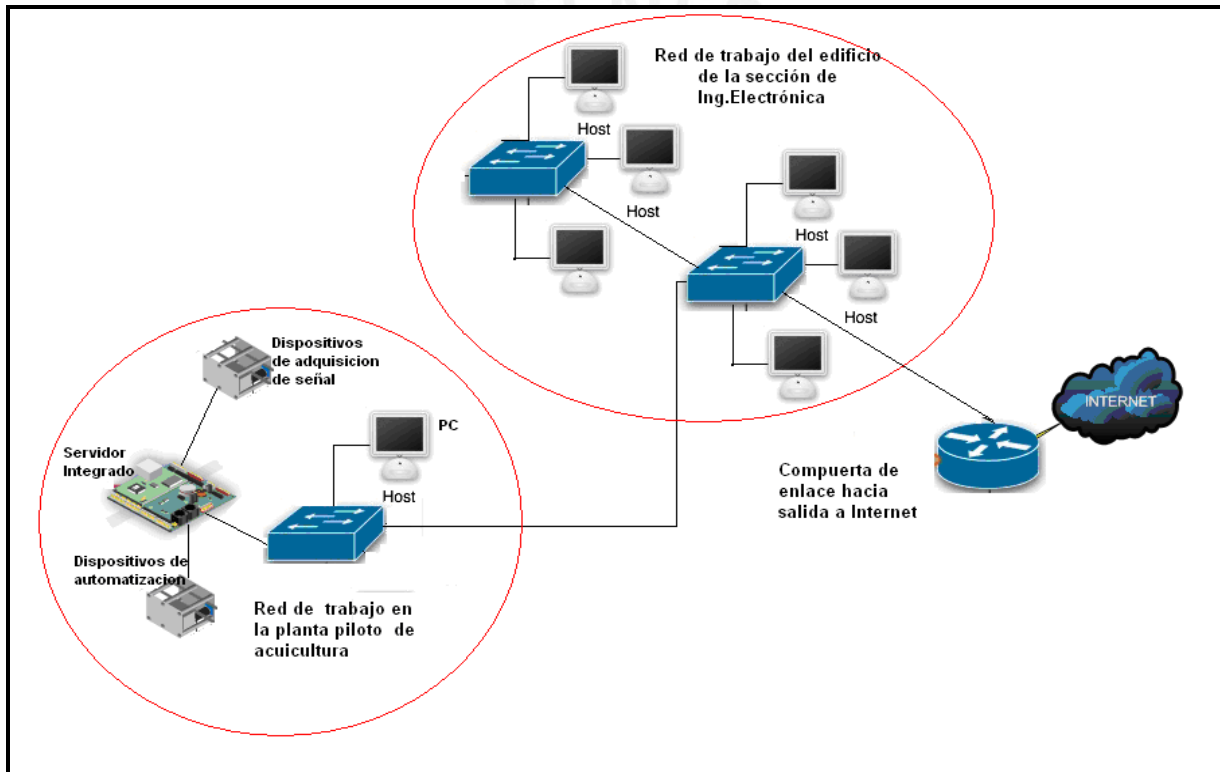
Para acceder a este módulo de procesamiento y solicitar la información que contenga, se requiere que este tenga una dirección específica que lo diferencie de los demás dispositivos conectados en la red. Además esta dirección indica a que red pertenece dentro de la Universidad.

Dentro de la Planta, hay otros dispositivos de monitoreo y control que compartirán información con el sistema de monitoreo. Por ello este debe contar con interfaces que le permitan intercambiar esta información. Una de las interfaces son el estándar de comunicación RS-485 [28], que permite un rápido intercambio de datos entre varios dispositivos conectados a este. Dentro de la Planta también se encuentra una computadora personal, la cual guardará información sobre las variables del proceso y estados de la planta; y también requerirán información del sistema de monitoreo.

Las computadoras al igual que el módulo de procesamiento y comunicación cuentan con una interfaz de comunicación Ethernet (RJ-45), por eso se hace uso de un conmutador de red (Switch) para su conexión con la red de datos,

también se puede usar un concentrador de red (HUB), que se encontrara en la Planta piloto, encargado de conectar todos estos dispositivos en una sola red. Este conmutador también permitirá conectar esta red a las otras redes de la SEE (sección de Electricidad y Electrónica).

El conmutador se conecta a un punto de red ya instalado en la Planta, desde el cual se pasa hacia otro conmutador localizado en una estación afueras de la SEE y desde aquí se realiza la distribución de los datos de la Planta hacia los dispositivos pertenecientes a la red de la SEE, cuando estos la solicitan. El modelo del sistema de comunicación se presenta en la figura 4.2:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Sistema de comunicación dentro de la red PUCP

4.2 Solución al procesamiento y conexión del Sistema de comunicación

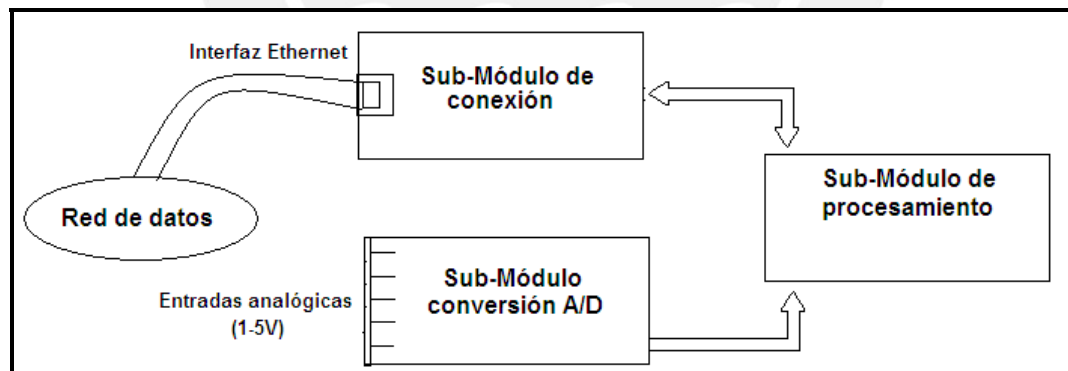
Para que el Sistema de comunicación funcione correctamente, se necesita que todos los programas de procesamiento así como los protocolos de comunicación corran en una plataforma adecuada.

El módulo de procesamiento debe ser capaz de trabajar a una gran velocidad ya que necesitara enviar grandes paquetes de datos a tiempo real a través de la red de trabajo (en caso que se requiera transmitir video).

En programación, debe poseer las plataformas y librerías necesarias, para establecer una conexión a una red de dispositivos de información, así como también soportar programas cliente-servidor, programa a tiempo real y las funciones que se requieran para el tratamiento de las señales adquiridas de los módulos de adquisición de parámetros de la Planta.

En cuanto a los dispositivos físicos, este módulo debe contar con las interfaces y puertos estándar de comunicación a una red de datos, tales como la interfaz de conexión RJ-45 para conectividad a Ethernet. Poseer una memoria de gran capacidad y un microprocesador de gran velocidad para el almacenamiento de los programas y paquetes de datos que son necesarios para llevar a cabo el funcionamiento del sistema de monitoreo. Por último cabe mencionar, que el módulo debe contar con dispositivos de conversión analógica-digital, para el tratamiento de las señales adquiridas.

Para ello se debe tener en cuenta el microprocesador o microcontrolador que usa este módulo para llevar a cabo sus tareas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Sub-Módulos del módulo de procesamiento

Este módulo o plataforma consta de otros sub-módulos, las cuales se muestran en la figura 4.3:

- Un sub-módulo de procesamiento, encargado de procesar las señales adquiridas, trabajar con los protocolos de comunicación (TCP/IP) y servir la información de manera adecuada.

- Un sub-módulo de conexión, el cual es el encargado de conectar el sub-módulo de procesamiento y todo el sistema a la red de datos. Este cuenta con la interfaz de conexión Ethernet (RJ-45), el hardware para trabajar con la tecnología Ethernet sin que haya conflicto con los demás equipos de la red.
- Un sub-módulo encargado de recibir las señales analógicas correspondientes a los parámetros de la Planta y convertirlos a formato digital.

El módulo de procesamiento también debe ser capaz de soportar DHCP, tener memoria suficiente para soportar los protocolos de comunicación, trabajar a tiempo real.

A continuación se muestran algunas soluciones y si son factibles como solución del presente trabajo:

- Inicialmente se estudió la posibilidad de utilizar un PIC18F877A [3] de la familia de Microchip con interfaz de conexión a Internet ISA [10] [27]. Los principales problemas que trae utilizar este PIC con la interfaz Ethernet provista por la tarjeta ISA son, primero, que al ser una arquitectura de 8 Bits se producen errores al procesar protocolos de red de 16bits (cantidad de bits con la que trabaja Ethernet), lo cual genera costos operativos que no se pueden manejar; segundo, trabajar con memoria RAM limitada a 368 Bytes (tamaño de memoria de datos del PIC18F877A) permite enviar mensajes de tamaño limitado de datos.
- También se estudió la conexión de un microcontrolador con el adaptador Ethernet basado en el dispositivo NIC6 Ethernet 10Base-T [27] (integrado que trabaja con los estándares Ethernet). Otro adaptador considerado, basado en los estándares industriales NE2000-compatible [10], fue el circuito integrado Realtek RTL8019AS [4] para Ethernet. El RTL8019AS puede ser conectado con las siguientes microcontroladores: PIC16F877, PIC18F452, Atmega16, Atmega32. A pesar que los costos son muy reducidos, al utilizar cualquiera de los microcontroladores mencionados anteriormente se tienen los mismos problemas que los de la implementación con la tarjeta ISA; capacidad de procesamiento del

microcontrolador; necesidad de bancos de memorias externos; mas no problemas con la arquitectura de 16 bits.

- Por otro lado estos microcontroladores no son lo suficientemente veloces para transmitir grandes paquetes por una red de datos, en caso de que se envíe video; no poseen más que una o dos interfaces de comunicación (RS-232 o RS-485) para la comunicación con otros dispositivos; y además la implementación de código en estos microcontroladores para trabajar con protocolos Ethernet y TCP/IP es muy tediosa y extensa [3] [10].

Otras soluciones diferente a la de los microcontroladores son las plataformas integradas, las cuales tiene como núcleo central a un microprocesador.

De las diferentes familias de sistemas integrados del mercado, se encontró dos plataformas integradas que cumplían con los requisitos del módulo a seleccionar: Uno de ellos es la plataforma MOD5282 [30] desarrollada por la empresa Netburner; y la otra el modelo BL2600 [31] de la familia Rabbit semiconductor, desarrollada por la empresa Z-World. De las dos alternativas se escogió la primera.

Costo

La plataforma MOD5282 presenta un bajo costo en comparación con el módulo de la Rabbit semiconductor, a pesar de poseer similares capacidades tanto en bondades de programación (programas de soporte para conexión a red de datos, aplicaciones en tiempo real y cliente-servidor) como de hardware (dispositivos conversores, interfaces de comunicación, microprocesador, etc).

Por ejemplo el costo del equipo de desarrollo de la plataforma de Netburner que incluye todas las herramientas necesarias para empezar un diseño; tales como la documentación en CDs, manual de usuario con los circuitos esquemáticos, una tarjeta de desarrollo (LEDs, interruptores, pulsadores y un protoboard integrado en placa), un cable serial para depuración, cable de alimentación y los cables para realizar una conexión a red; tiene un costo de no más de 299 dólares americanos [30].

El mismo equipo de desarrollo para el módulo BL2600 llega aun costo de 488 dólares americanos [31].

Test de velocidad

Para probar la capacidad y rendimiento de ambos módulos en cuanto a la transmisión de datos se hizo uso de un Benchmark (programa para evaluar el rendimiento de una computadora) que mide el rendimiento de envío y recepción de paquetes de protocolos TCP y UDP en una red de datos.

En el caso de la presente tesis, solo se requiere enviar datos a la computadora que realiza el pedido de información a la plataforma de desarrollo. Por ello, se realizó la prueba de transmisión de datos en ambos módulos (MOD5282-66MHZ y BL2600-44.2MHZ) haciendo uso de un Benchmark de conexión y evaluación de envío-recepción de datos tanto TCP como UDP.

Para esta prueba se cargo, con algunas modificaciones, parte de los códigos proporcionados por la Netburner [32], con el cual se realizaron los tests descritos anteriormente, en cada uno de los módulos a evaluar.

El Benchmark que se uso para la prueba de transmisión de datos fue el programa PCATTCP, el cual se instaló en la computadora (Windows XP, Procesador Pentium D 3.40 GHZ, 1GB RAM) donde se realizó la prueba y se configuró en modo recepción. Se dio inicio a un contador cuando empezó el envío de datos; y parada cuando todos los datos fueron recibidos por esta.

El test de velocidad dio como resultado (ver figura 4.4a y 4.4b) que la plataforma MOD5282 es mucho más rápida que la plataforma BL2600 en 10 veces aproximadamente. Comparando los 32.8 segundos que se demoró en transmitir la plataforma BL2600 con los 3.19 segundos del módulo MOD5282.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\>cd PCATTCP
C:\PCATTCP>pcattcp -i 32 -n 327680 -r
PCAUSA Test TCP Utility V2.01.01.05
TCP Receive Test
  Local Host : X-03
*****
  Listening...: On port 5001

  Accept      : TCP<-200.121.29.68:4030
  Buffer Size : 8192; Alignment: 16384/0
  Recieve Mode: Sinking <discarding> Data
  Statistics  : TCP <-200.121.29.68:4030
10485760 bytes in 3.19 real seconds=3209.04 KB/sec +++
numCalls: 1986; msec/call: 0.82; calls/sec: 1240.65

C:\PCATTCP>
    
```

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4a Resultados para el test de velocidad en la plataforma MOD5282

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\>cd PCATTCP
C:\PCATTCP>pcattcp -i 32 -n 327680 -r
PCAUSA Test TCP Utility V2.01.01.05
TCP Receive Test
  Local Host : X-03
*****
  Listening...: On port 5001

  Accept      : TCP<-200.121.29.69:4030
  Buffer Size : 8192; Alignment: 16384/0
  Recieve Mode: Sinking <discarding> Data
  Statistics  : TCP <-200.121.29.69:4030
10485760 bytes in 32.8 real seconds=310.20 KB/sec +++
numCalls: 1986; msec/call: 0.82; calls/sec: 1240.65

C:\PCATTCP>
    
```

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4b Resultados para el test de velocidad en la plataforma BL2600

Entorno de programación

Otra de las ventajas del módulo de la Netburner es la manera en que se programa. La cual se realiza vía Ethernet, a través del cable de red que se conecta a su puerto RJ-45, lo que permite que el código sea cargado en la tarjeta en unos cuantos segundos, 2 a 3 aproximadamente. A comparación con los 20 segundos aproximados de carga del módulo BL2600, ya que este se programa vía cable serial.

Otros de los inconvenientes que se encontró, fue el lenguaje de programación que usan los módulos de la Rabbit semiconductor. Un lenguaje basado en C hecho por la misma compañía, lo cual obliga a aprender un nuevo y extenso lenguaje de programación, incluso para realizar las tareas más sencillas, requiere un gran tamaño de código.

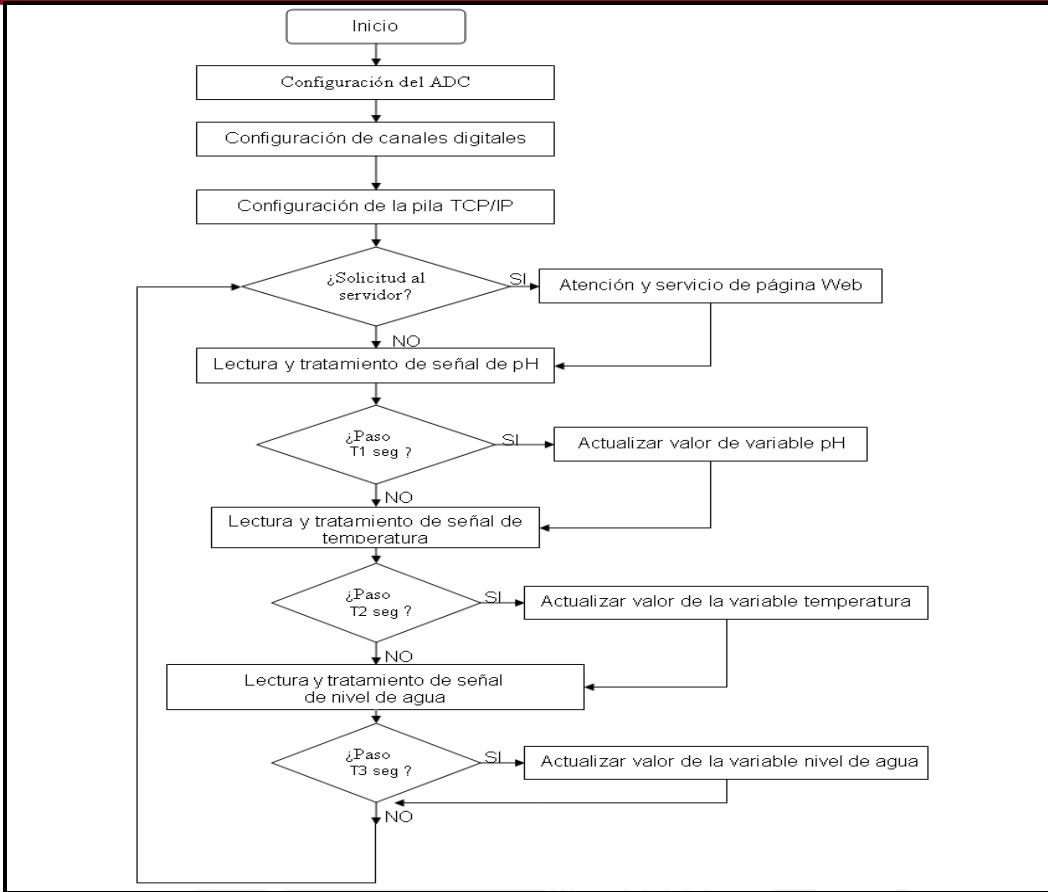
En cambio el módulo MOD5282, se puede programar sobre la plataforma ANSI C/C++, un lenguaje muy usado, conocido y de fácil manejo.

4.3 Esquema de programación

El programa principal comienza con la inicialización de la pila TCP/IP y el servidor Web respectivamente. Como el protocolo TCP/IP requiere un puerto para realizar el intercambio de datos y establecimiento de la conexión, se utilizará el puerto de conexión 80. También se realiza la declaración de constantes y variables que sirven para el cálculo y visualización de los valores de pH y temperatura, así como el nivel de líquido en el estanque.

El programa hace uso de un lazo infinito (while) que tiene dos tareas. Una es la de llamar a un controlador (handler), el cual es requerido periódicamente para analizar solicitudes recibidas y atenderlas. La otra tarea es la de actualizar el valor de las variables a mostrar en la página Web cada cierto periodo de tiempo. Dentro de este lazo infinito se realizarán múltiples tareas, como la conexión a la red de datos, el servicio de la página Web, el tratamiento de las señales de acondicionamiento con el ADC y la lógica de los indicadores para el nivel máximo y mínimo de los parámetros.

En la programación del módulo se usará la multitarea tipo cooperativa, que consiste en que cada tarea voluntariamente da el control a otra cuando esta está esperando. Permitiendo a otras tareas ejecutarse en este tiempo de espera. Por ejemplo si el servidor esta esperando una respuesta de conexión con otro dispositivo de red, se puede pasar el control a la tarea de leer y procesar datos de alguna de las etapas de acondicionamiento. El algoritmo de programación es el diagrama que se muestra en la figura 4.5



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Diagrama de flujo de la programación

4.4 Conexión del módulo de procesamiento y comunicación a la red

Los dispositivos y programas de la plataforma Netburner soportan conexiones a redes de trabajo vía PPP o Ethernet. La conexión Ethernet es hecha a través de un conector RJ-45 instalado en la misma tarjeta de desarrollo (MOD5282).

Para poder tener a la tarjeta de desarrollo operativa en la red, se requiere que esta tenga una dirección que la identifique en la red. La asignación de dirección puede ser estática como también dinámica (DHCP [3] [10] [28]).

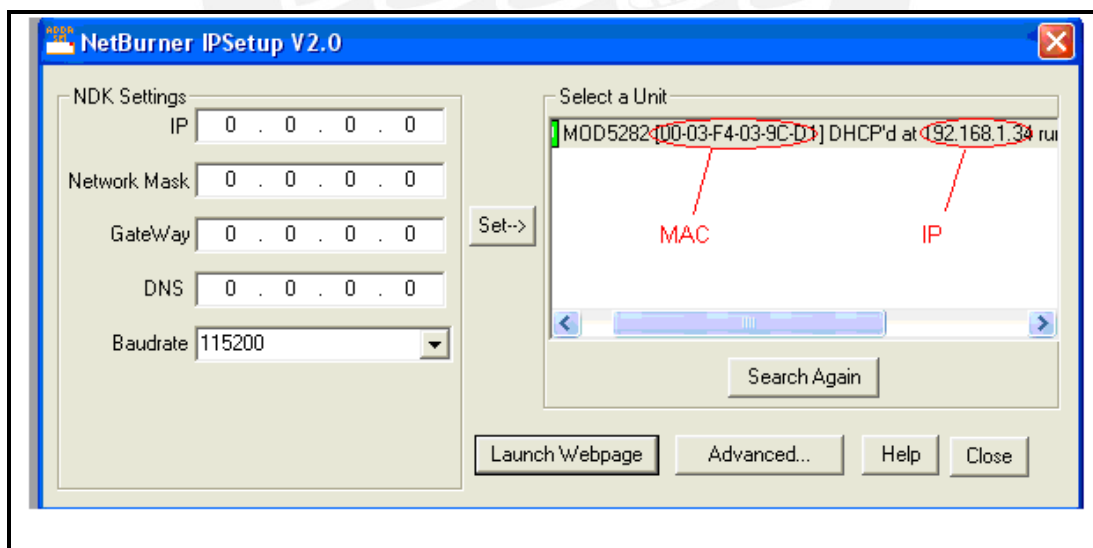
En la PUCP, la asignación de direcciones a los dispositivos conectados a su red se realiza vía servidor DHCP; es decir que se le da cierta dirección a un dispositivo por un determinado tiempo. Pasado este tiempo, se le vuelve a asignar otra dirección por determinado periodo.

Como la tarjeta de desarrollo, va a cumplir funciones de un servidor que proporciona información, es conveniente que esta asignación de direcciones sea estática. Ya que de esta manera los usuarios podrían solicitar información del servidor haciendo el llamado con una dirección específica y conocida.

La tarjeta MOD5282 soporta el trabajo con DHCP. Pero cuando se utiliza el modelo cliente-servidor, es necesario que se instale un programa (Ipsetup) en cada dispositivo de la red que vaya a hacer un llamado a la plataforma.

A través de este programa se puede acceder al módulo Netburner. El servidor DHCP y el módulo negocian una determinada dirección en la red. Esta dirección es asociada con un número o dirección de control de acceso, que corresponde de forma única a un dispositivo o interfaz de red.

El programa lo que hace, es enviar solicitudes con esta dirección de control de acceso a través de toda la red. La plataforma esta diseñada para responder estas solicitudes, enviando como respuesta la dirección del dispositivo asignada por el servidor DHCP. Una vez que el programa recibe esta dirección de red (o dirección lógica), establece un canal de comunicación entre el servidor y el dispositivo cliente (el que solicita), asignando la dirección lógica a los paquetes de datos que viajan entre estos dos. El programa Ipsetup se aprecia en la figura 4.6, donde la dirección IP asignada por DHCP, aparece al lado derecho de la ventana junto con la dirección MAC [3] [10] de la plataforma MOD5282:



Fuente: Elaboración propia

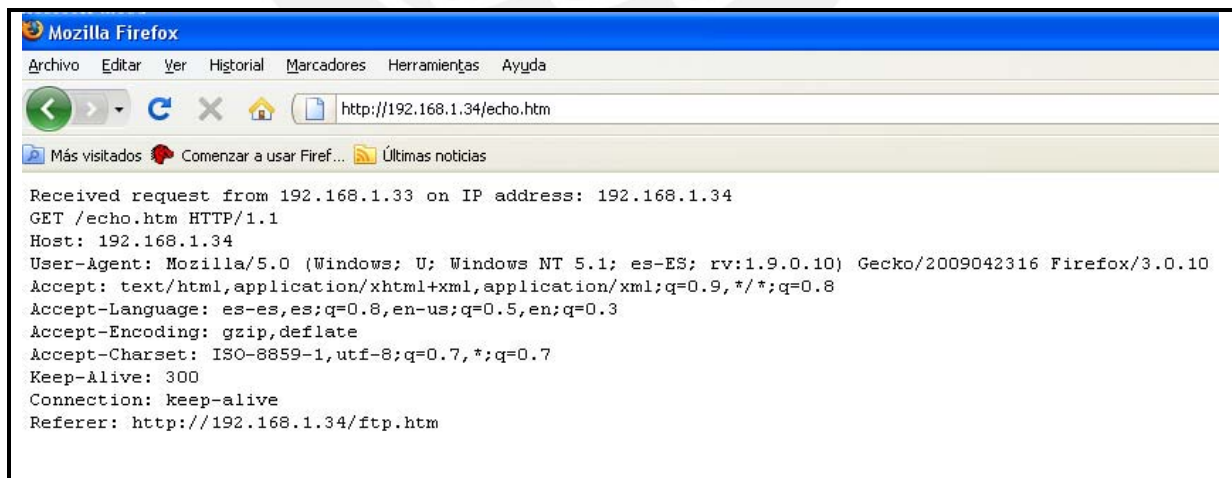
Figura 4.6 Ventana gráfica del programa Ipsetup

Este tipo de solicitudes son enviadas cada vez que se ejecuta el programa; y después cada cierto periodo de tiempo mientras se ejecuta este (ya que la dirección lógica asignada podría cambiar en determinado tiempo).

Esto podría crear un mayor tráfico en la red. Es por ello que se configura el conmutador instalado en el edificio de la especialidad, de manera que se forme una red entre los dispositivos que van a solicitar información de la tarjeta de desarrollo y esta. De esta manera limitamos que cualquier flujo de datos, negociaciones o solicitudes que puedan originar tráfico, no salgan y afecten a otras redes de dispositivos que no requieran o trabajen con los factores o parámetros de la Planta. Esto se realiza por medio del concepto de redes virtuales (VLAN) .

Para la prueba de conexión se conectó la plataforma MOD5282 a un enrutador de red (router), de la empresa proveedora del servicio (ISP) [10], modelo *MODEM ADSL ROUTER 04INTER.EHTERNET+WIFE*.

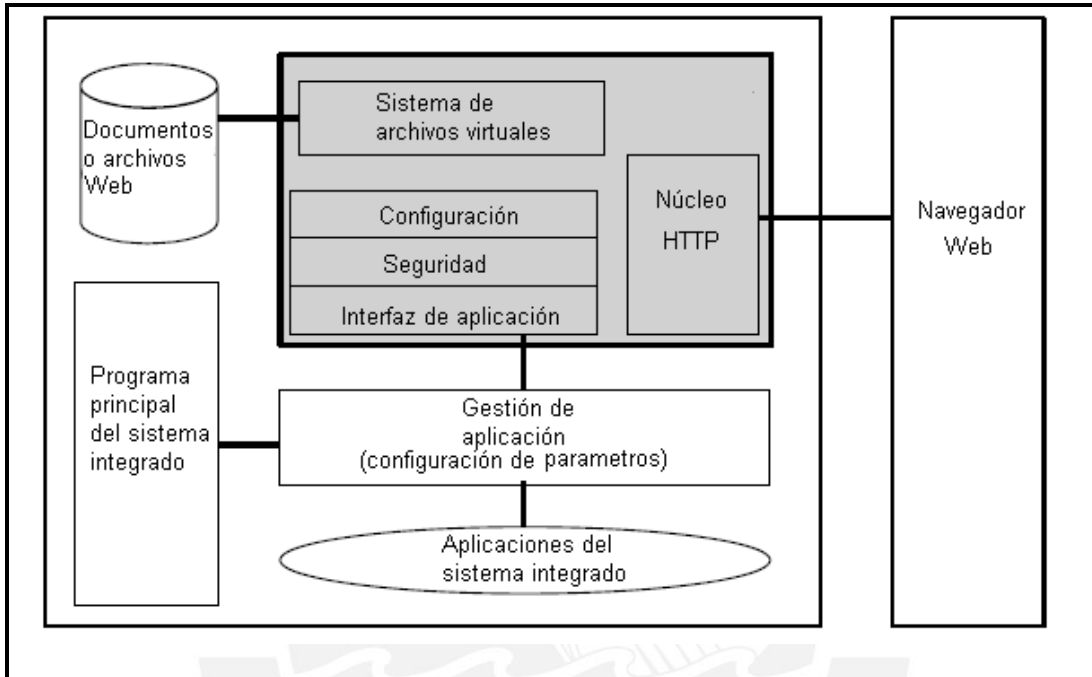
Como se ve en la figura 4.7, al módulo se le asignó una dirección de red 192.168.1.34. Para comprobar que hay comunicación e intercambio de información del tipo http (intercambio de información Web), entre el MOD5282 y cualquier otra computadora en esta red, se realiza una solicitud de conexión HTTP [3] (esto reconoce que hay un canal de comunicación para el envío de información en formato Web). En la primera línea de texto de la figura 4.7 se puede ver la respuesta que envió una computadora (IP 192.168.1.33) conectada a la red, al módulo MOD5282 (IP 192.168.1.34). Respondiendo a la solicitud HTTP realizada por este último.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.7 Solicitud http

4.5 Arquitectura del servidor Web integrado

La arquitectura diseñada consiste en 5 partes: Un núcleo HTTP, un módulo de aplicación de interfaz, un sistema de archivos virtuales, un módulo de configuración, y un módulo de seguridad. El diseño de esta arquitectura es mostrada en la figura 4.8



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Arquitectura del servidor WEB

La parte más importante es el núcleo HTTP, el cual atiende las solicitudes del usuario. A diferencia de la mayoría de servidores Web que comienzan un nuevo proceso cuando una nueva conexión es hecha, un núcleo HTTP soporta múltiples usuarios simultáneamente mientras corre un solo proceso. El número de procesos que el servidor requiere puede impactar en el uso de la memoria RAM, debido a al espacio de pila por tarea y uso del procesador. En la siguiente sección se explicará el proceso de transacción HTTP usando un diagrama de estados.

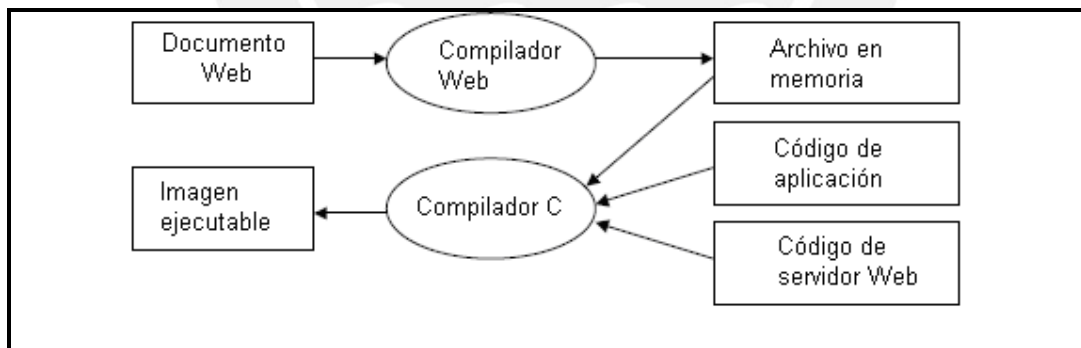
En un servidor Web integrado, el módulo de aplicación de interfaz permite añadir nuevas funciones de gestión para el servidor.

Para interactuar con las aplicaciones del sistema integrado, dos interfaces son introducidas en dicho sistema: CGI y SSI.

La interfaz CGI es usada para generar documentos Web basados en los parámetros presentados por el operador a través del navegador Web. La interfaz SSI es usada para la generación de páginas Web dinámicas.

El sistema de archivos virtuales provee al servidor integrado con servicios de archivos virtuales, los cuales sirven para abrir, leer y cerrar un archivo. El sistema de archivos tiene una estructura de datos que guarda información del archivo, tal como su tamaño y última fecha de modificación. La estructura de datos para documentos HTML necesita información dinámica que debe contener el puntero del archivo y la función de llamada de este. Para la construcción de este sistema de archivos virtuales se necesita un compilador Web que soporte cualquiera de los formatos como Java, GIF, JPEG, PDF, TIFF, HTML, etc. Este compilador es proporcionado por el módulo de procesamiento MOD5282, el cual compila estos archivos a través de código C y luego enlaza estos con los códigos del servidor Web.

El navegador Web atraviesa el sistema de archivos virtual como si estuviese en el actual sistema de archivos. La figura 4.9 ilustra el proceso de un servidor Web construyendo un archivo de sistema virtual.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Proceso del documento Web hasta su visualización

Primeramente el documento Web (el cual se va a servir con toda la información de la planta) es creado en código (HTML) por el programador, este mismo es compilado y convertido a lenguaje máquina para ser interpretado por el procesador de la Plataforma de procesamiento y posteriormente ser guardado en un archivo de memoria. Cuando se solicite el documento, este es sacado del archivo de memoria; y actúa en conjunto con el código de aplicación

(código de programa) y el código de servidor Web (protocolos, seguridad, servicio, etc). Estos a su vez son interpretados por el compilador C, el cual se encargara de ejecutar la imagen donde se visualizara la información solicitada en formato de página Web.

Otro punto a tratar es la seguridad, la cual es una importante preocupación en una red de datos. Además, un servidor Web generalmente tiene un módulo de configuración de seguridad. La seguridad es realizada definiendo regiones de seguridad en el servidor, y un nombre de usuario y contraseña para el acceso a cada región.

Cuando llega una solicitud para un objeto en una región protegida, el servidor responde con un código de respuesta de 401 (no autorizado). Esto forzara al navegador a que emerja una ventana para nombre y contraseña de usuario. La solicitud de objeto original será representada con el nombre de usuario y contraseña, basado en una codificación de 64 bits. Si el servidor encuentra que el acceso es correcto, entonces el servidor envía el objeto solicitado, de otra manera, un mensaje de acceso prohibido es enviado (403 forbidden).

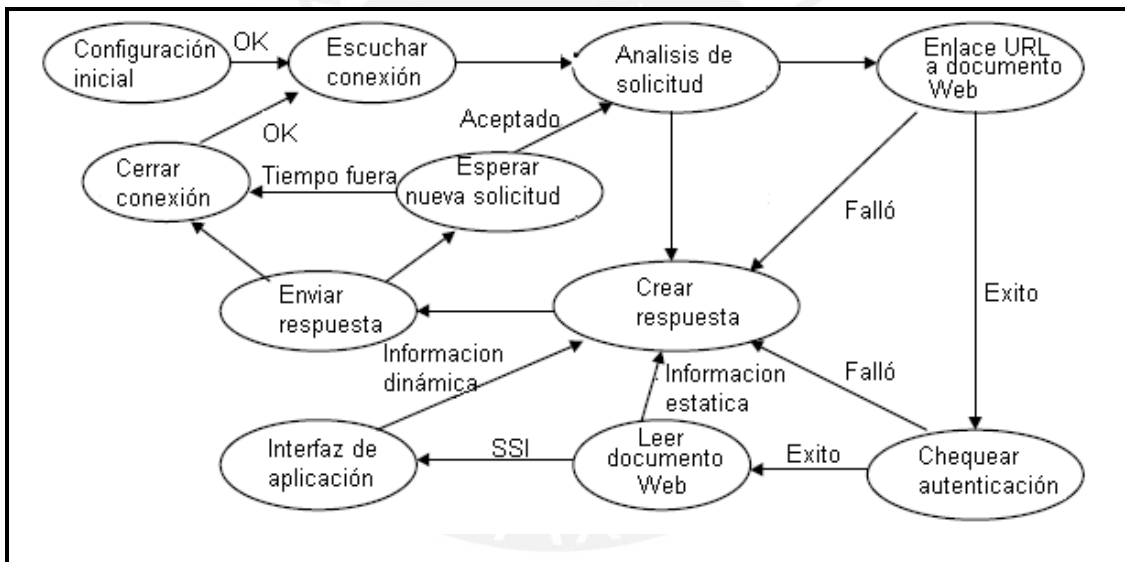
El módulo de configuración suministra al administrador del servidor la funcionalidad de establecer la configuración del servidor Web desde cualquier navegador Web estándar (Internet Explorer, Mozilla, etc.). La configuración de las variables de entorno al inicio, definen el número de conexiones concurrentes, el puerto de soquete, la ruta del archivo raíz, el tiempo de inactividad y el tiempo de zona. El uso común de navegadores Web hace esto un asunto más importante en la seguridad, para proteger el acceso a información delicada sobre los dispositivos de red, especialmente aquellos envueltos en la configuración o administración.

4.6 Estructura de proceso del servidor Web

Se implementó en el procesador de la plataforma MOD5282 una máquina de estados finita, la cual procesa una solicitud HTTP en una secuencia de pasos discretos. La figura 4.10 muestra el diagrama de transición de estados del núcleo HTTP. Con el propósito de soportar múltiples conexiones en un solo hilo o proceso, múltiples máquinas de estado son corridas por un programa el cual usa una estructura de tareas programadas. Esto consiste de un puntero a la

función que empieza a correr, una variable mantiene el estado en el que se encuentra la máquina de estado, y una bandera indica si la máquina debe ser corrida o detenida. El sistema programado asigna un estado disponible para una conexión aceptada, checa cada máquina de estado para ver si esta es capaz de ser corrida o detenida; y si esta es capaz de correr, mover la máquina de estado al siguiente estado.

Cada estado en la máquina puede chequear la presencia de datos que ya han sido procesados en el punto de entrada, si nada está hecho, la máquina puede bloquearse así misma hasta que el dato llegue. Cuando el dato llega al punto entrante, la máquina puede entonces ser desbloqueada, y ejecutar la tarea de dicho estado en el que se encuentra, y retornar en el resultado el siguiente estado al cual se debe ir cambiando el estado de la bandera y el puntero a manejar.



Fuente:Elaboración propia

Figura 4.10 Diagrama de estados de la máquina de estados finita.

La siguiente lista describe el comportamiento de cada estado:

- Configuración del estado inicial: Configura la estructura de la tarea para un estado. La tarea de este estado es ejecutada en el tiempo inicial del servidor para todos los estados de la máquina.
- Escuchar conexión: Chequear si cualquier solicitud está asignada para este estado

- Análisis de la solicitud: Lee el mensaje HTTP, analiza la cabecera del mensaje y guardar el resultado del análisis.
- Enlace de dirección URL [3] [10] al documento Web: Enlaza la dirección especificada en el navegador con el documento o archivo solicitado.
- Chequeo de autenticación: Piden una autenticación al usuario para acceder a la dirección URL especificada.
- Lectura del archivo Web: Lee el documento Web del sistema de archivos virtuales.
- Interfaz de aplicación: Hace un llamado a la función de aplicación dinámica sobre la URL(dirección de la pagina Web).
- Creación de respuesta: Crea una cabecera de respuesta HTTP
- Envío de respuesta: Envía la cabecera HTTP y el documento Web
- Espera de nueva respuesta: Espera para una nueva solicitud HTTP desde cualquier conexión TCP.
- Cierre de conexión: Cierra la conexión TCP

El enfoque del servidor Web como una máquina de estados finito incrementa la modularidad, ya que si se requiere una configuración en el modo de trabajo del servidor, se puede configurar cada estado de la máquina independientemente.

4.7 Diseño de la página Web

La página a servir usa etiquetas HTML para decirle al navegador de red como desplegar el contenido de la página. Para insertar los valores de las variables donde se guardaran los valores de temperatura , pH y la altura del líquido, se usará una directiva SSI: `<!--FUNCTIONCALL nombre_de_la_función -->`

Esta directiva le dice al servidor para reemplazar, en dicha etiqueta, el valor de salida de una función. En este caso, el valor de salida sería el valor de uno de los parámetros de la Planta provenientes de las funciones de tratamiento de señal.

Por ejemplo la etiqueta HTML `<td>Temperatura(°C):<!--FUNCTIONCALL WebADC1 --></td>`, donde `WebADC1` es la función encargada del tratamiento de temperatura, mostraría en la pagina Web el valor de la variable temperatura.

Si el valor de salida es igual a 20 entonces en la página Web se visualizará:

Temperatura (°C): 20

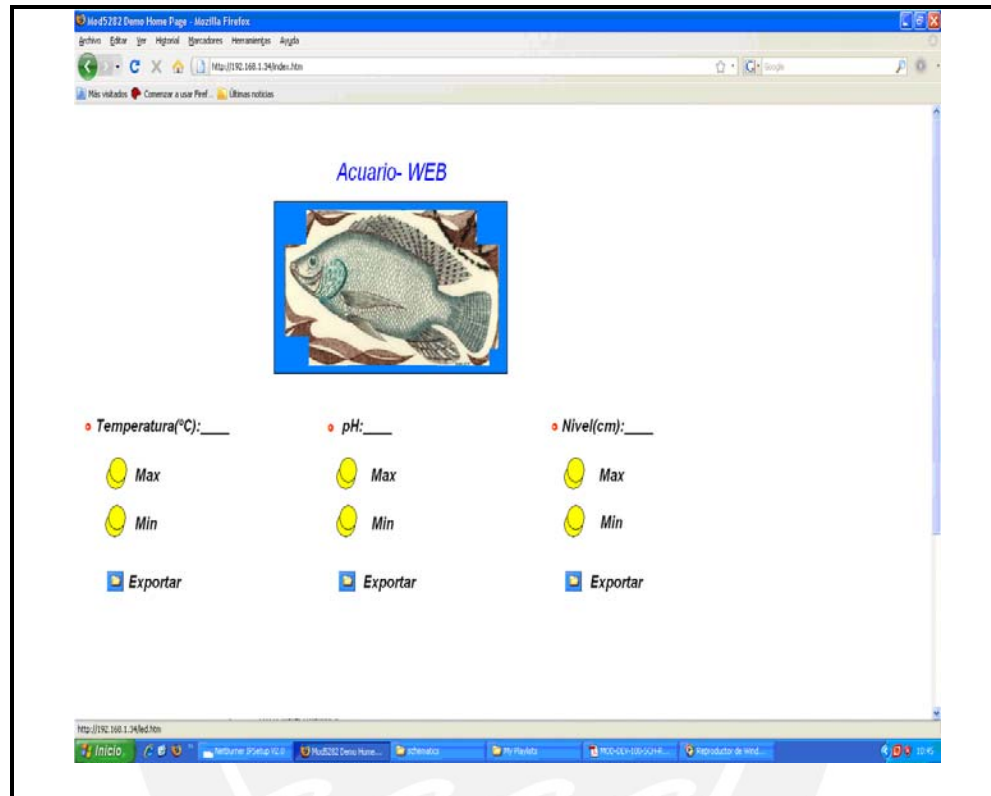
El código HTML será guardado en un archivo llamado Acuario-web.html en la computadora de donde se programará la plataforma MOD5282.

Para el diseño de la página Web se tendrá en cuenta factores como: los indicadores de máximos y mínimos de los parámetros leídos. En el caso de la temperatura, el rango de valores 25-30 °C son los aceptables para la crianza de los peces Tilapia. Entonces cuando la variable de temperatura exceda los 30 °C o sea menor que 25°C, se encenderá un LED indicador de diferente color para cada caso en la plataforma MOD5282; y también se mostrará un gráfico indicador, para cada caso, en la página Web. De la misma manera para la variable pH, cuando esta fuera del rango óptimo, que viene a ser 6.5 a 8.5 unidades de pH. Para la variable de nivel de líquido también se establecieron sus valores máximo y mínimo en la sección 4.5.3, y también se asignará un indicador para cada caso.

Además cuando se requiera los valores de las variables en el transcurso del día, para un posterior análisis del estado de la Planta; se almacenan estos valores en arreglos. Estos arreglos pueden ser exportados en tablas a una hoja de cálculo o documento de texto si se requiere. Como se quiere que estos arreglos permanezcan aun cuando hay un corte en la alimentación, entonces estos se guardarán en memoria flash. La memoria flash de la tarjeta MOD5282 es de 512KB, el programa y documentos para que todo el sistema funcione ocupa un 60% aproximadamente de esta capacidad. Como los arreglos ocupan un espacio en esta memoria, esta ocupación de espacio no debe de ser significativa.

Teniendo en cuenta el parámetro más lento (pH), cuya frecuencia entre muestra y muestra es de 2 minutos aproximadamente, se piensa guardar los valores de los parámetros de la planta en los arreglos cada minuto, esto daría 1440 muestras por parámetro al día, entonces por los tres parámetros sería 4320 datos. Cada valor de muestra está representado por un Byte (8 bits), esto significa que se estaría usando 4,32 KB aproximadamente (0.84 % de la capacidad de la memoria flash).

Finalmente, el diseño de como se mostrara el entorno gráfico de los parámetros de la planta al usuario, cuando este solicite la página Web al servidor (MOD 5282), se muestra en la figura 4.11:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Entorno gráfico de la página Web inicial.

En el entorno gráfico que se muestra en la figura 4.11, se aprecia cada uno de los parámetros de la planta con sus respectivas unidades de medida e indicadores de valores máximo y mínimo.

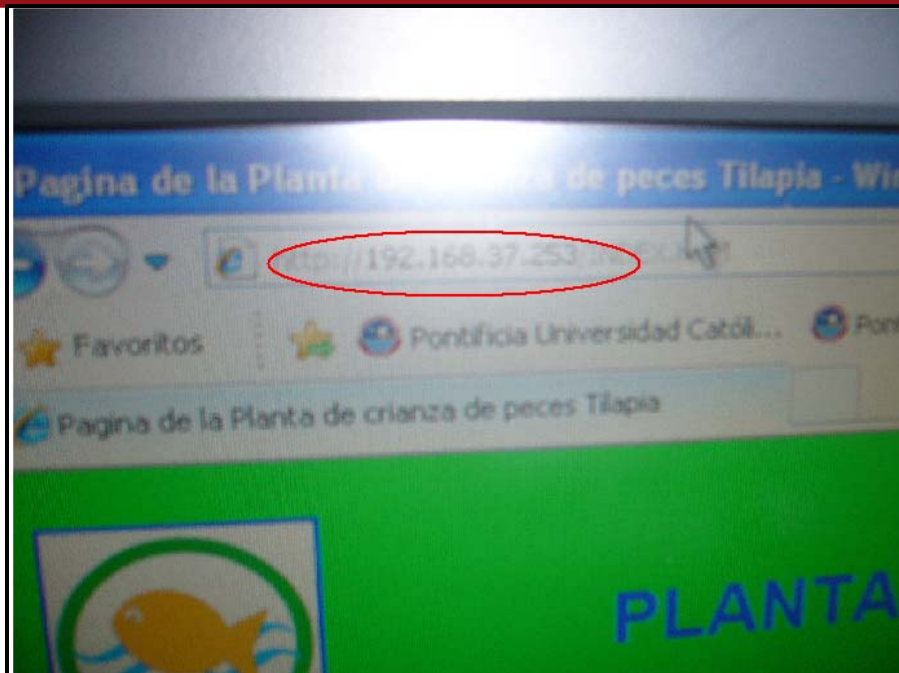
Cuando ninguno de los valores máximo o mínimo ha sido alcanzado, los indicadores permanecen de color amarillo; pero si se alcanza, entonces los indicadores cambian de estado y de color. Para cada uno de los parámetros, se tiene un botón de “Exportar”, el cual sirve para exportar los datos que han tenido cada una de las variables durante el día hacia la unidad de disco duro del dispositivo de red que visualiza la página Web.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Sistema de adquisición integrado

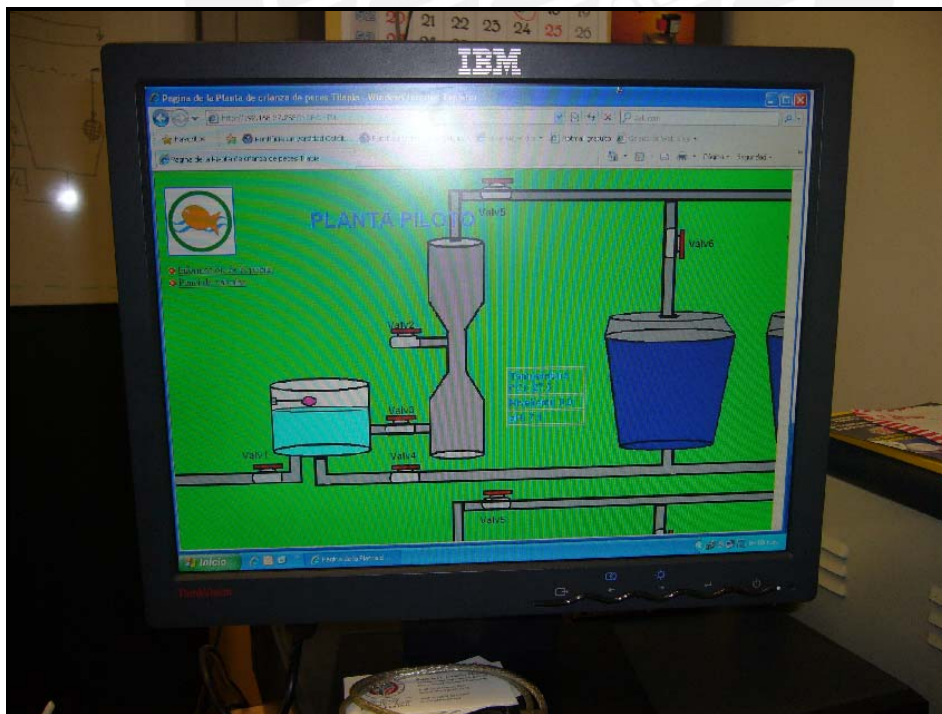
Desde una computadora localizada en la SEE se abrió el navegador de Web (Internet Explorer.) y en la barra de direcciones se escribe la dirección de red de la plataforma, dada por el programa Ipsetup, tal como se muestra en la figura 4.14. En este caso la IP del módulo es 192.168.37.253 y se encuentra en la red 192.168.37.0 con conexión a la puerta por defecto 192.168.37.10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 IP que identifica al servidor integrado en la red PUCP.

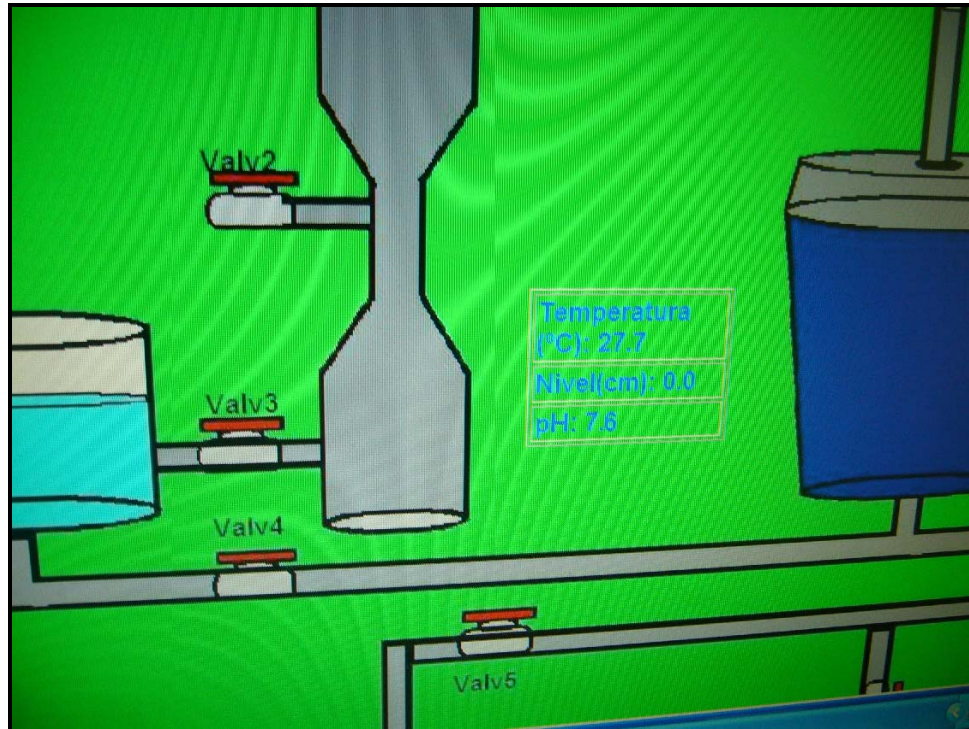
Entonces se abre una ventana como la mostrada en la figura 4.15. En esta se ve el valor de temperatura y pH presente en el reservorio. Se programo de manera que la página se actualice cada 1 segundo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Pagina Web con los parámetros de la Planta mostrada en una de las computadoras de la SEE.

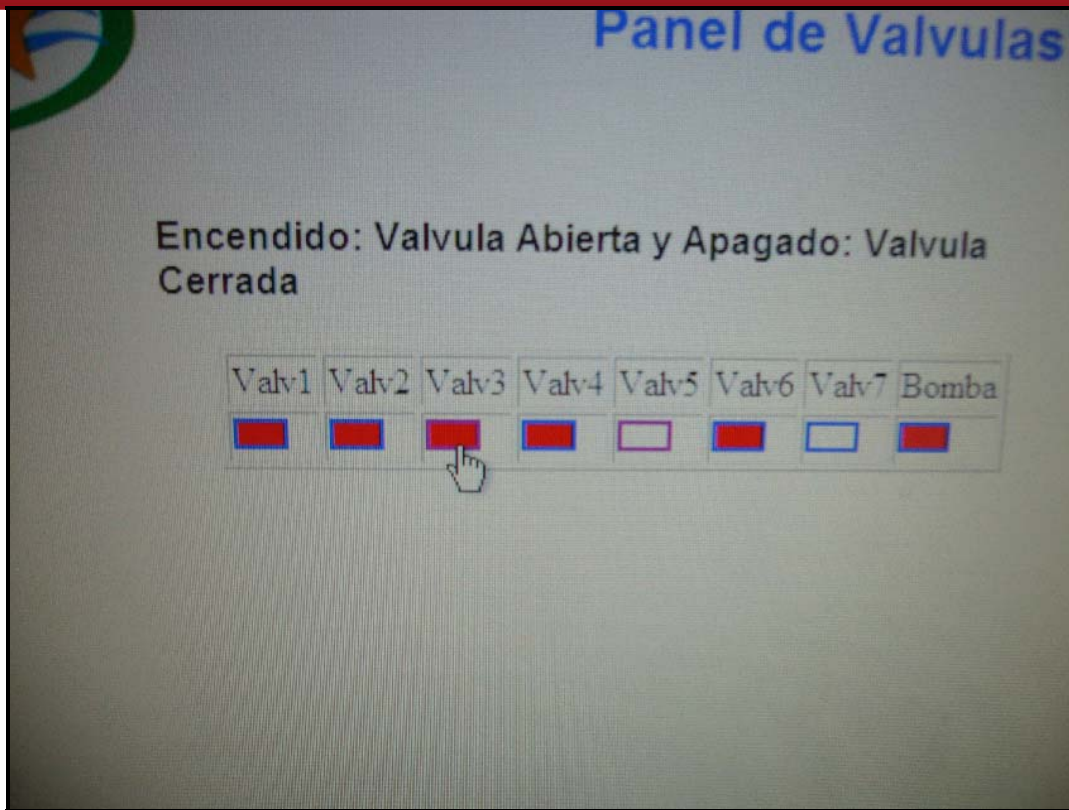
Como se aprecia en la figura 4.16, el pH de la planta es de 7.6, cercano al valor neutro, esto es debido a que recién se había hecho la limpieza y llenado del tanque. La temperatura en el interior del tanque, llega a 27.7°C.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.16 Parámetros de la Planta mostrados en la PC de monitoreo

Además del monitoreo se adiciono a este entorno una característica, la cual es poder controlar el cierre o apertura de válvulas de manera remota vía esta página Web como se muestra en la figura 4.17. Donde cada indicador al ser presionado activa una salida digital de la plataforma MOD5282 remotamente. En este caso como las válvulas en la Planta no cuentan con los dispositivos necesarios para ser activadas por la plataforma, se simularon estas con LEDs que se encuentran ubicados en la tarjeta de desarrollo MOD5282. El código de esta página Web es mostrada en el AnexoD.



Fuente: elaboracion propia

Figura 4.17 Panel de Válvulas.

Cabe mencionar que para el acceso del servidor Web a la red de la universidad se tuvo que pedir un permiso en DIRINFO, para que de esta manera el servidor Proxy que usa la universidad registre la MAC del módulo de procesamiento; para que pueda ingresar a la red y realizar las comunicaciones con los demás dispositivos de red.

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado exitosamente los circuitos para acondicionar las señales de temperatura, pH y nivel usando sensores y transductores comerciales. Las pruebas mostraron exactitud y precisión aceptable
- El módulo de procesamiento y transmisión de datos MOD5282 ha posibilitado el diseño de un sistema que monitorea de manera remota los parámetros críticos que influyen en la crianza de peces en la Planta instalada en la SEE de la PUCP. Este sistema adquiere, procesa las señales y luego las transmite hacia una red de trabajo de área local (LAN), para su visualización desde cualquier punto de esta red en formato HTML.
- Las simulaciones realizadas desde los sensores vía módulo de procesamiento y transmisión de datos hasta el terminal remoto ha permitido mostrar el proceso y sus variables a manera de página Web.
- Se ha implementado el sistema en su totalidad, permitiendo al usuario monitorear de manera remota, dentro de una LAN, los parámetros de la Planta Piloto de acuicultura.

RECOMENDACIONES

- En caso que se requiera una mayor seguridad para la información contenida en el servidor, se configura el conmutador instalado en la Planta para que encripte la información que pasa por este, permitiendo el acceso solo a las computadoras que se especifican en este conmutador. Una de las seguridades que se podrían implementar es la comunicación segura SSH[35].
- En caso de que se requiera que el sistema de monitoreo siga enviando su información remotamente al caerse la conexión hacia la red de datos, se podría instalar un dispositivo de comunicación inalámbrica en una de las interfaces RS232 del módulo de conexión, al igual que se instala un dispositivo receptor en la computadora que recibirá dichos datos. En este caso la comunicación será punto a punto, entre el módulo de procesamiento y la computadora. Se recomienda usar módulos de comunicación inalámbrica RF en los cuales vengán implementados para trabajar de manera directa con el protocolo serial RS232. En caso de que ocurra un corte del fluido eléctrico, la batería del MOD5282 se activa automáticamente y para los circuitos de comunicación inalámbrica deberá considerarse una batería de respaldo.
- Si la tarjeta es detectada en la red pero no puede ser vir las paginas, verificar que la MAC de la tarjeta no esté restringida en el servidor Proxy de la red
- El espacio de tiempo entre muestra para cada convertidor analógico-digital es variable y puede ser modificado por programa. Si se requiere que este tiempo se mas grande, para dedicar este a otras tareas especificas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]De Perú-Portal de Prensa
2008 *“La acuicultura en el Perú”*. Consulta: 10 abril de 2008
<<http://www.deperu.com>>
- [2]Thien Nguyen, Christopher Hsiung
2005 *“B2spice version 5 User’s manual”*. Beige Bag Software, Inc.
- [3]Eady, Fread.
2004 *“Networking and Internetworking with Microcontrollers”*. Elsevier Inc.
- [4]Hewlett Packard
2008 *“HP Brings the Power of the Internet to Printing”*. Consulta: 11 mayo de 2008
<<http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press/20mar01a.htm>>
- [5]Queensland government
2008 *“Noosa National Park- Environment and Resource Management”*
- [6]Intellicon innovation
2008 *“Modbus/TCP overview”*. Consulta: 23 mayo de 2008
<http://www.intellicom.se/ModbusTCP_overview.shtml>
- [7]Siemon
2008 *“Ethernet/IP”*. Consulta: 23 mayo de 2008
<http://www.siemon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp>
- [8]Siemens
2008 *“Profinet”*. Consulta:23 mayo de 2008
<http://www.automation.siemens.com/simatic/compact_info/html_78/profinet.htm>
- [9]Fieldbus Foundation
2006 *“Foundation System Technology”*. Consulta:23 mayo de 2008
http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=195
- [10]Jan Axelson
2003 *“Embedded Ethernet and Internet complete”*. Lakeview Research LLC.
- [11]William C. Plaia
1987 *A Computerized Environmental Monitoring and Control System for Use in Aquaculture”*. *Aquacultural Engineering*: 27-37

- [12]Kamal Hyder, Bob Perrin
2005 *“Embedded Systems Design Using the Rabbit 3000 Microprocessor”* Elsevier Inc.
- [13]HW Group
2008 *“Poseidón 3262-Monitoreo Web”*. Consulta: 05 mayo de 2009,
<http://www.etherpower.com.ar>
- [14]HW Group
2008 *“Transparent Ready y Ethernet para el Sector del Agua”*.
Consulta: 05 mayo de 2009
<<http://www.etherpower.com.ar>>
- [15]W. Stallings.
1998 *“SSL: Foundation for Web Security”*. The Internet Protocol
Journal, 1(1):20–29.
- [16]Lincoln D. Stein
2002 *“The World Wide Web Security FAQ”*. Consulta: 10 mayo de
2009
<<http://www.w3c.org/Security/faq>>
- [17]Norman F. Sherppard, Jr.
1999 *“pH Measurement”*. *Measurement, Instrumentation, and
Sensors Handbook CRCnetBase* . Cap-71.
- [18]Lyl M. Ciganda.
2004 *“Electrodos para medir pH”*. XII Seminario de Ing. Biomédica
(Univ. de la Republica oriental de Uruguay).
- [19]Neil P. Albaugh.
2000 *“The Instrumentation Amplifier Handbook”* Burr- Brown
Corporation
- [20]Ramón Pallás-Areny.
1999 *“Amplifiers and signal conditioners”*. *Measurement,
Instrumentation, and Sensors Handbook CRCnetBase*. Cap-80
- [21]S. Franco.
1998 *“Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated
Circuits”*, 2 ed., New York: McGraw-Hill.
- [22]Rahman Jamal, Robert Steer
1999 *“Filters”*. *Measurement, Instrumentation, and Sensors
Handbook CRCnetBase*. Cap-82
- [23]C.J Savant Jr.
2000 *“Diseño electrónico: circuitos y sistemas”*,3 ed., Prentice Hall

- [24]Dogan Ibrahim.
2002 *“Microcontroller based temperature monitoring and control”*. Elsevier Science & Technology Books.
- [25]Halit Eren y James Goh.
1999 *“Capacitance Measurement”*. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook CRCnetBase*. Cap-80
- [26]Sears Zemansky.
2004 *“Física Universitaria”*, 11 ed., Pearson education.
- [27]DeMuth, Brian.
2004 *“The Designing Embedded Internet Devices”*. Elsevier Inc.
- [28]Wescott, Tim
2006 *“Applied control theory for embedded systems”*. Elsevier Inc.
- [29]Bentham, Jeremy.
2004 *“TCP/IP Lean. Web Servers for Embedded Systems”*, 2ed., CMP BOOKS Inc.
- [30]Netburner
2008 *“MOD5282”*.
http://www.netburner.com/products/core_modules/mod5282.html
- [31]Rabbit Semiconductor
2008 *“BL2600 Single-Board Computer”*
<http://www.rabbit.com/products/bl2600>
- [32]Netburner
2009 *”How fast is your network device?, “Network speed test. Netburner vs Rabbit.Consulta:20mayo2009.*
http://www.netburner.com/netburner_rabbit.html
- [33]R. Fielding
1996 *“Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.0”*. RFC 1945, IETF HTTP WG.
- [34]R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk Nielsen, L. Masinter
1999 *“Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1”* RFC 2616 IETF HTTP WG.
- [35]Cisco
2007 *“Conmutacion y connexion inalambrica de LAN”* CNNA Exploration 4.0-Manual teorico del estudiante.
- [36]Ball, Stuart.
2004 *“Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems”* Elsevier Inc.

- [37] Eady, Fred.
2004 *“Implementing 802.11 with Microcontrollers: Wireless Networking for Embedded Systems Designers”* Elsevier Inc.
- [38] Rabbit Semiconductor Inc.
“Wolf BL2600 C-Programmable Single-Board Computer with Ethernet User’s manual”
- [39] Netburner
“NetBurner Eclipse IDE Getting Started Guide”. Revision 2.3 rc4, Jan 21, 2009
<http://www.netburner.com/downloads/nndk/NBEclipseGettingStarted.pdf>
- [40] Netburner
“NetBurner Network Development Kit Programming Guide”. Document Number: 350080-003, Revision 3.3, April 18, 2008.
<<http://www.netburner.com/downloads/nndk/NNDKProgMan>>
- [41] Netburner
“NetBurner Runtime Libraries”
<http://www.netburner.com/downloads/ndk/NetBurnerRuntimeLibraries.pdf>
- [42] Esteban Delgado, Marco Alberto.
1999 *“Diseño de redes de área local y la red de un campus universitario utilizando fast Ethernet”*. Tesis (Lic.)
- [43] Silvana Castillo, John I. Gálvez.
2002 *“Introducción al cultivo de Tilapia”*. Red Internacional de Acuicultura de la Universidad de Auburn.
- [44] Barnes, David.
2005 *“Cisco LAN switching Fundamentals”*. Cisco Press.
- [45] RABBIT SEMICONDUCTORS
“Dynamic C: Integrated C Development System For Rabbit 2000 and 3000 Microprocessors, User manual”
- [46] William A. Wurts and Robert M. Durborow
1992 *“Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds”*. SRAC Publication No. 464.
- [47] Luis Fernando Dueñas Garzón.
2005 *“Piscicultura: Crianza de Peces”*, Universidad del Tolima-Ibagué-Colombia.

- [48] Fonollosa S., Francisco
1985 “Resistencias de alta precisión y estabilidad”, Mundo
Electrónica, número 155 Boixareu Editores, Barcelona,
España.



ANEXO A

**Características eléctricas del amplificador de instrumentación
INA116**

SPECIFICATIONS

AT $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA116P, U			INA116PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, RTI Initial	$T_A = +25^\circ\text{C}$		$\pm 0.5 \pm 0.5/\text{G}$	$\pm 2 \pm 2/\text{G}$	*	*	$\pm 5 \pm 5/\text{G}$	mV
vs Temperature	$T_A = T_{\text{MIN}}$ to T_{MAX}		See Typical Curve		*	*		
vs Power Supply	$V_S = \pm 4.5\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$		$\pm 10 \pm 15/\text{G}$	$\pm 50 \pm 100/\text{G}$	*	*	$\pm 100 \pm 200/\text{G}$	$\mu\text{V}/\text{V}$
Long-Term Stability			$\pm 1 \pm 5/\text{G}$		*	*		$\mu\text{V}/\text{mo}$
Bias Current			± 3	± 25	*	*	± 100	fA
vs Temperature			See Typical Curve		*	*		
Offset Current			± 1	± 25	*	*	± 100	fA
vs Temperature			See Typical Curve		*	*		
Impedance, Differential			$> 10^{15}/0.2$		*	*		Ω/pF
Common-Mode			$> 10^{15}/7$		*	*		Ω/pF
Common-Mode Voltage Range		(V+)-4 (V-)+4	(V+)-2 (V-)+2.4		*	*		V
Safe Input Voltage		± 40			*	*		V
Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 11\text{V}$, $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$							
	G = 1	80	89		73	*		dB
	G = 10	84	92		78	*		dB
	G = 100	86	94		80	*		dB
	$V_{\text{CM}} = \pm 5\text{V}$, G = 1000	86	94		80	*		dB
NOISE								
Voltage Noise, RTI	G = 1000, $R_S = 0\Omega$		28			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			2			*		$\mu\text{V}/\text{p-p}$
$f_B = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz								
Current Noise			0.1			*		$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz								
GAIN								
Gain Equation		1	$1 + (50\text{k}\Omega/R_G)$	1000	*	*		V/V
Range of Gain							*	V/V
Gain Error	G = 1		± 0.01	± 0.05		*	0.1	%
	G = 10		± 0.25	± 0.4		*	± 0.5	%
	G = 100		± 0.35	± 0.5		*	± 0.7	%
	G = 1000		± 1.25			*		%
Gain vs Temperature ⁽¹⁾	G = 1		± 5	± 10		*	± 20	ppm/ $^\circ\text{C}$
50k Ω Resistance ⁽¹⁾⁽²⁾			± 25	± 100		*	± 100	ppm/ $^\circ\text{C}$
Nonlinearity	G = 1		± 0.0005	± 0.005		*	± 0.01	% of FSR
	G = 10		± 0.001	± 0.005		*	± 0.01	% of FSR
	G = 100		± 0.001	± 0.005		*	± 0.01	% of FSR
	G = 1000		± 0.005			*		% of FSR
GUARD OUTPUTS								
Offset Voltage			± 15	± 50		*	*	mV
Output Impedance			650			*		Ω
Current Drive			$+2/-0.05$			*		mA
OUTPUT								
Voltage Positive	$R_L = 10\text{k}\Omega$	(V+) -1	(V+) -0.7		*	*		V
Negative	$R_L = 10\text{k}\Omega$	(V-) +0.35	(V-) +0.2		*	*		V
Load Capacitance Stability			1000			*		pF
Short-Circuit Current			$+5/-12$			*		mA
FREQUENCY RESPONSE								
Bandwidth, -3dB	G = 1		800			*		kHz
	G = 10		500			*		kHz
	G = 100		70			*		kHz
	G = 1000		7			*		kHz
Slew Rate	G = 10 to 200		0.8			*		V/ μs
Settling Time, 0.01%	10V Step, G = 1		22			*		μs
	G = 10		25			*		μs
	G = 100		145			*		μs
	G = 1000		400			*		μs
Output Overload Recovery	50% Overdrive		20			*		μs
POWER SUPPLY								
Voltage Range		± 4.5	± 15	± 18	*	*	*	V
Current	$V_{\text{IN}} = 0\text{V}$		± 1	± 1.4		*	*	mA
TEMPERATURE RANGE								
Specification		-40		85	*		*	$^\circ\text{C}$
Operating		-40		125	*		*	$^\circ\text{C}$
θ_{JA}			80			*		$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Specification same as INA116P

NOTE: (1) Guaranteed by wafer test. (2) Temperature coefficient of the "50k Ω " term in the gain equation.

Fuente: < <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ina116.pdf> >

Anexo B

**Tabla de valores para el diseño de filtros activos
Butterworth
Del orden 2 al 5**

Orden, n	C1/C O R/R1	C2/C O R/R2	C3/C O R/R3
2	1.414	0.7071	
3	3.456	1.392	0.2024
4	1.082 2.613	0.9241 0.3825	
5	1.753 3.235	1.354 0.309	0.4214

Fuente: C.J Savant Jr. "Diseño electrónico: circuitos y sistemas", 3 ed., Pág. 680-tabla 12.2

Anexo C

**Termistor G14
Bowthorpe Thermistors**

01/04 '93 09:00
THERMOMETRICS
002/003

NTC Thermistors
INDUSTRIAL/CONSUMER

TYPE **G GL**

*151-110
151-111*

Description

Type G thermistors incorporate a directly heated bead of semiconductor material in a solid glass pellet, connection being by means of two canife wires. These wires are normally tinned but thermistors G55, G26 and G16 which are intended to operate at temperatures up to 300°C have untinned canife wires suitable for welding or brazing.

The type G thermistor is available in three styles of glass pellet, the largest size is referred to as 'Standard' (G - C), the smaller size as 'Miniature' (G - D) and the Probe as GL - eg a miniature G13 is coded G13D.

These thermistors are suitable for general use in the field of temperature measurement, control or compensation, flow measurement and similar applications.

Data

B value tolerance±5%

τ G - C 21s
G - D 13s

k G - C 1.3mW/°C
G - D 1.1mW/°C
GL 1.2mW/°C

Low Resistance Types

T_A max 125°C
T_B max 125°C
P_{max} at 20°C G - C 140mW
G - D 120mW
GL 130mW

Derate linearly to zero at 125°C

Medium Resistance Types

T_A max 155°C
T_B max 200°C
P_{max} at 20°C G - C 230mW
G - D 200mW
GL 220mW

G - C Derate linearly to 55mW at 155°C
G - D Derate linearly to 50mW at 155°C
GL - Derate linearly to 53mW at 155°C

High Resistance Types

T_A max 300°C
T_B max 300°C
P_{max} at 20°C G - C 360mW
G - D 310mW
GL 340mW

Derate linearly to zero at 300°C

Temperature Measurement & Control

Fluid Level Detection
Flow Measurement & Control

Outline

Code	Lead Dia. mm	Body Dia. (max)	Average Weight
G - C	0.4	3.2	0.15
G - D	0.35	2.5	0.11
GL -	0.35	2.5	

D10 - 3

RECEIVED FROM 04.01.1993 09104 P. 2

01/04 '93 09:01 THERMOMETRICS 003/000

Code	R ₂₀ Ω	R ₂₅ Ω	E_{max} in free air at 20°C GC only (V)	R ₁₀₀ Ω	Basat K
Low resistance types					
G22 C, D and L	200	172	1.9	19	2750
G52	500	425	2.9	40	2900
G13	1k	840	3.9	70	3000
G23	2k	1.65k	5.3	113	3125
G53	5k	4.15k	8.2	250	3400
Medium resistance types					
G14	10k	8.2k	11	110	3600
G24	20k	16.2k	16	160	3800
G34	50k	40k	24	320	4075
G15	100k	79k	34	520	4275
G25	200k	156k	46	810	4400
High resistance types					
G55	500k	15k	62	180	4700
G16	1M	30k	87	330	4850
G26	2M	60k	120	560	5000

Nominal Resistance vs Temperature Characteristics

Voltage vs. Current in Free Air at T_{amb} = 25°C

PHYSICAL FORM : The wire ends should not be bent nearer than 3mm to the glass body

Fuente: Bothorpe Thermistor-G14 datasheet

Anexo D
Código HTML de la página Web de prueba

```

<html>
<head>
<title>Acuario-Web</title>
<meta http-equiv="refresh" content="4" >
</head>
<body background="images/34.GIF">
<table width="600" border="0" cellspacing="0" cellpadding="0">
<tr>
<td width="23">&nbsp;</td>
<td width="392" align="left"><b><font face="Arial, Helvetica, sans-serif"
size="10" color="#000000">Planta Piloto</font></b></td>
</tr>
</table>
<table border="0">
<tr>
<td width="193" height="17">&nbsp;</td>
<td width="399" height="17">
<p><b></b></p>
</td>
</tr>
<tr>
<td width="399" valign="top">
<table border="1" align="LEFT">
<tr>
<td><b><font size="1.9">VALV1</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV2</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV3</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV4</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV5</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV6</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV7</font></b></td>
<td><b><font size="1.9">VALV8</font></b></td>
</tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td><p>&nbsp;</p>
<table border="1" align="LEFT" width="77%">
<tr>
<td>
<!--FUNCTIONCALL WebLeds -->
</td>
</tr>
</table>
<p>&nbsp;</p>
</td>
</tr>
<tr>
<td align="right" width="18%">
<table border="3" align="right" width="18%"
bgcolor="#123FAC">
<tr>
<td align="center" width="41%"><b><font size="5">Estanque 2
</font></b></td>

```

```

</tr>
<tr>
  <td align="center" width="41%"><b><font size="5">Nivel de líquido(m):<!--
FUNCTIONCALL WebADC0 --> </font></b></td>
</tr>
<tr>
  <td align="center" width="41%"><b><font size="5">Temperatura(°C):<!--
FUNCTIONCALL WebADC1 --> </font></b></td>
</tr>
<tr>
  <td align="center" width="41%"><b><font size="5">pH:<!--FUNCTIONCALL
WebADC2 --> </font></b></td>
</tr>
</table>
<tr>
</tr>
</table>
<br>
<br>
</body>
</html>

```

Fuente: Elaboración propia

