

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE PH
PARA LA CRIANZA DE TRUCHAS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico

Presentado por:
JUAN JOSÉ TORRES PÉREZ

Lima - Perú
2007

RESUMEN

La producción de truchas se viene desarrollando de manera artesanal, y generalizada en todo el país; este tipo de crianza se realiza en la gran mayoría de casos con asistencia de ONG's que brindan apoyo técnico a los campesinos que ven como alternativa económica la crianza de esta especie. Sin embargo, la crianza de truchas en nuestro país no cuenta con herramientas tecnológicas que faciliten un adecuado monitoreo y medición de parámetros del agua a bajo costo, de manera que durante la etapa de producción y comercialización los lleva a tener pérdidas significativas, además de no ofrecer la calidad necesaria de agua en los estanques de crianza para mejorar el desarrollo de los peces.

Dada la problemática, es indispensable el uso de una alternativa tecnológica económica y eficiente a fin de mantener la crianza de truchas sostenible y de gran calidad. En la tesis está previsto el desarrollo de un instrumento de medida con resolución de 2 centésimas y contribuir a mantener los niveles óptimos de acidez y alcalinidad en todas las etapas de crianza de truchas. Cuenta con una pantalla donde se visualiza la medida del pH y el rango establecido por el usuario y muestra el error asociado a este. Puede ser calibrado para garantizar que la medida sea la correcta mediante soluciones buffer de pH. Además tiene la posibilidad de poder enviar los datos medidos de pH vía el puerto serial incorporado en el equipo para que puedan ser visualizados en la pantalla de una computadora personal y analizar los datos.

El cuerpo del presente documento consta de cuatro capítulos. El primero presenta la problemática a todo nivel y el análisis de la misma llegando finalmente a la síntesis de la problemática donde se puntualizan los problemas. El segundo capítulo muestra los avances tecnológicos en cuanto al desarrollo y métodos de medición de pH. En el tercer capítulo se plantea la hipótesis y se definen objetivos y límites, además se propone la metodología y se presentan las etapas que se seguirán en el desarrollo del proyecto. El último capítulo contiene todo el desarrollo y la ingeniería del proyecto en sí, los detalles del diseño electrónico y de la programación utilizada en los dispositivos. En cuanto a los resultados de mayor importancia y relevancia, en el ámbito de la ciencia, se demuestra la factibilidad de medir el pH del agua; así mismo en materia de desarrollo, la versatilidad y bajo costo para la construcción del equipo de medición.

INDICE

CAPÍTULO 1: LA CRIANZA DE LA TRUCHA COMO UNA ALTERNATIVA DEL SECTOR ACUÍCOLA

1.1.	Condiciones para la actividad de crianza de truchas en la región Junín	2
1.1.1.	Medio geográfico	2
1.1.2.	Calidad del agua	2
1.2.	Mercado	2
1.2.1.	Clientes reales y potenciales	2
1.2.2.	Competencia	3
1.2.3.	Proveedores	4
1.2.4.	Marco legal	4
1.2.5.	Ventajas competitivas	4
1.3.	Ingenio	5
1.4.	Declaración	7

CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE PH EN UN ESTANQUE DE CRIANZA DE TRUCHAS

2.1.	Estado del arte	9
2.2.	Definiciones y tecnologías aplicadas	17
2.2.1.	Acuicultura	17
2.2.2.	Herramientas para el análisis y monitoreo	22
2.2.2.1.	Electrodo de pH	23
2.2.2.2.	Electrodo de vidrio y electrodo de plástico	25
2.2.2.3.	Características de funcionamiento del electrodo	26
2.2.3.	Microcontroladores	28
2.2.4.	Sensores	29
2.2.5.	Pantalla LCD	30
2.3.	Tipos de ruido eléctrico	30
2.3.1.	Ruidos aleatorios	31
2.3.1.1.	Ruido térmico o de Jonson	31
2.3.1.2.	Ruido de disparo	31
2.3.1.3.	Ruido de baja frecuencia	32
2.4.	Modelo de un equipo de medición de pH	32

CAPÍTULO 3: SISTEMA DE MEDICIÓN EN UN ESTANQUE DE TRUCHAS

3.1.	Hipótesis de la investigación	35
3.2.	Objetivos de la investigación	36
3.2.1.	Objetivo general	36
3.2.2.	Objetivos específicos	36
3.3.	Universo y muestra	37
3.4.	Procedimiento para el análisis de los datos	37

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE PH Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	Diseño del equipo de medición	41
4.1.1.	Diseño electrónico	41
4.1.1.1.	Diseño del circuito amplificador del electrodo de pH	41
4.1.1.2.	Diseño del circuito de adquisición de datos, control y operación	48
4.1.1.3.	Diseño de la fuente de alimentación	50
4.1.1.4.	Diseño del módulo de salida	51
4.1.1.5.	Tratamiento de ruido e interferencias externas	51
4.1.2.	Programa principal y subrutinas	52
4.1.2.1.	Subrutinas de inicialización	52
4.1.2.2.	Subrutina de toma de datos	52
4.1.2.3.	Subrutina de compensación de temperatura	56
4.1.2.4.	Subrutina de calibración	58
4.1.2.5.	Subrutina que calcula el valor de pH medido	66
4.1.2.6.	Subrutina de visualización en un display LCD	66
4.1.2.7.	Subprograma que calcula la salida de control	68
4.1.2.8.	Programa principal	68
4.1.2.9.	Programa de visualización en LabVIEW	74
4.1.3.	Características eléctricas frente a condiciones climáticas	74
4.1.4.	Selección del electrodo empleado	75
4.2.	Resultados	76
4.2.1.	Correspondencia del escalamiento y el pH	76
4.2.2.	Certificación	80
4.2.3.	Intervalo	81

4.2.4.	Resolución	81
4.2.5.	Exactitud	82
4.2.6.	Condiciones de uso	82
4.2.7.	Compensación de temperatura	82
CONCLUSIONES		83
RECOMENDACIONES		85
FUENTES		87

INTRODUCCIÓN

En el Perú las truchas se distribuyen en casi todos los ambientes de la sierra, al haberse adaptado a los ríos, lagunas y lagos de las zonas alto andinas. Su distribución en los ríos se halla continuamente alterada por su gran movilidad, pues migran de una zona a otra, dependiendo de la estación del año, estadio biológico, de las horas del día, del tipo de alimento, épocas de reproducción, etc.

Sin duda la crianza de esta especie ofrece un gran número de posibilidades en cuanto a la producción de truchas, específicamente de manera artesanal; este tipo de crianza se realiza en la gran mayoría de casos con asistencia de organizaciones no gubernamentales que brindan apoyo técnico a los campesinos.

El objetivo del presente trabajo de tesis es el diseño e implementación de un instrumento de medición de pH para la crianza de truchas, cuya implementación, puesta en marcha y operación represente una alternativa económicamente viable para la entidad.

Para el desarrollo del trabajo se requirió en primer lugar cumplir con una fase de observación y análisis del sitio que se tomó como muestra para el diseño de nuestro sistema que es el centro de crianza de Ingenio en la región Junín. Posteriormente fue necesario determinar los requerimientos y características del equipo para garantizar funcionalidad del diseño. La primera etapa del trabajo de desarrollo en sí, consistió en el estudio y determinación de la estrategia para llevar a cabo la medición del pH. Prosiguiendo con el trabajo se tuvo la fase de investigación de los principales dispositivos y sistemas para la lectura del pH. En las etapas siguientes se hizo el diseño electrónico a nivel de circuitos, lógica y programación; así como la implementación, para que de esta

manera se garantizara el funcionamiento del sistema y se tomaran un conjunto de medidas correctivas para mejorar el diseño permitiendo así su optimización.

En el primer capítulo se muestra el panorama y condición actual de la acuicultura dentro de la región Junín. Así mismo, el mercado en el cual se desarrollan, especificando las ventajas y competencias. Además de identificar el centro acuícola donde se desarrolla esta tesis.

En el segundo capítulo se mostrará el estado del arte del asunto de estudio donde expondremos los conceptos y las diversas teorías involucradas en el desarrollo de esta investigación que hasta el momento se emplean, mostraremos las diferentes maneras empleadas para medir el pH. También se analiza el proceso de medición de pH, y las formas además de los elementos involucrados e indicadores necesarios para el desarrollo. Además explicaremos la influencia del pH en un estanque de crianza de truchas siendo esta es una de las variables a tener en cuenta para un adecuado crecimiento y desarrollo de la especie.

En el tercer capítulo se expone el asunto de estudio donde resalta la hipótesis la cual fue motivo para el desarrollo de esta tesis, además de contar con los objetivos principales, secundarios y las etapas de desarrollo del sistema.

En el cuarto capítulo se muestra el sistema de medición y la propuesta en la cual se exponen los diseños, algoritmos, problemas y soluciones presentadas al elaborar sistemas donde la presencia de ruido o interferencia al trabajar con sistemas que proporcionan señales muy bajas es indeseada al momento de tomar datos del proceso y en donde la calibración del equipo de medición es fundamental para la correcta medición y tratamiento del parámetro a medir. Además de presentar las conclusiones y observaciones al momento del desarrollo de las pruebas.

CAPÍTULO 1: LA CRIANZA DE LA TRUCHA COMO UNA NUEVA ALTERNATIVA DEL SECTOR ACUICOLA

INTRODUCCION

En el primer capítulo se muestra el panorama y condición actual de la acuicultura dentro de la región Junín donde analizaremos el entorno donde se desarrollan las truchas y la ubicación geográfica de la región que nos permitirá conocer las ventajas y desventajas que tienen los centros de crianza de truchas. Además se mostrará las condiciones fisicoquímicas en la región Junín que hacen que sea un lugar adecuado para la crianza.

Así mismo, también expondremos el mercado en el cual se desarrollan, especificando las ventajas y competencias dentro del mercado local y nacional, expondremos a los clientes reales y a los clientes potenciales. Además de identificar el centro acuícola donde se desarrolla esta tesis y analizaremos e identificaremos la infraestructura con el fin de diseñar el equipo idóneo para el centro de crianza.

Mostraremos las condiciones de crianza en donde la reutilización del agua de los estanques es de hasta 4to uso en algunas etapas de crecimiento. Expondremos características y condiciones del agua como el caudal que ingresa a los estanques y la manera de como controlan este parámetro que es importante por cuanto ayuda a metabolizar y digerir los alimentos al ingresar mayor cantidad de oxígeno, lo que permite convertir de manera más eficaz el alimento en energía y que a su vez produce cambios de pH. Así mismo, la tasa de mortandad en todas las etapas de crecimiento, el tipo de alimento que consumen los peces y los proveedores; además del control sanitario y los procesos de desinfección de los estanques.

1 Condiciones para la actividad de crianza de truchas en la Región Junín

1.1.1 Medio geográfico

El Departamento de Junín se encuentra ubicado en la zona central de los Andes peruanos **Latitud sur:** 10° 41' 55", **Longitud oeste:** entre los meridianos 75° 1' 8" y 76° 31' 8". Cuenta con 9 provincias y 123 distritos. Por su situación geográfica tiene zonas de sierra y selva. Cuenta con un clima que en la sierra es frío y seco, con marcadas diferencias de temperatura entre el día y la noche, siendo la época de lluvia entre noviembre y abril [28]. Esta limita con Pasco, Ucayali, Cusco, Ayacucho, Huancavelica y Lima.

El departamento está dotado de todos los climas y riquezas, aunque en general, su clima es templado. Su temperatura promedio es de 11°C. En Tarma, la época lluviosa va de octubre a abril. La zona de selva, San Ramón y La Merced, tienen clima tropical con lluvias intensas de noviembre a marzo [28].

1.1.2 Calidad del agua

Las aguas frías, limpias y cristalinas; totalmente aptas para la crianza y producción de truchas son características naturales con las que cuenta la región, de tal manera que los recursos hídricos son abundantes.

1.2 Mercado

1.2.1 Clientes reales y potenciales

Clientes Potenciales

El mercado Europeo importa solo el 5 % del total de su demanda, por lo tanto existe la oportunidad de exportar a diferentes países como a Suecia, Alemania,

Reino Unido, etc. El mercado de los Estados Unidos de Norteamérica importa sólo el 10 % del total de su demanda, por lo tanto representa para nuestro proyecto una primera oportunidad dada la cercanía del mercado. El mercado del Brasil es otro país potencial para exportar.

La acuicultura mundial representa el 30% del valor de la producción pesquera y viene creciendo rápida y constantemente en los últimos años a una tasa anual del 10 %, especialmente por la preferencia al consumo de productos hidrobiológicos, por su alto valor nutritivo y otros factores positivos para la salud de la población [29].

Clientes reales

El principal mercado es el local, toda la producción del centro de crianza de truchas esta destinada a la producción y comercialización en la región. La venta de la producción está destinada a la ciudad y en ocasiones fuera de esta; con 180 toneladas al año de producción, con pesos de 200 y 300 gramos entre 26cm a 29 cm [30].

1.2.2 Competencia

La producción mundial de la trucha arco iris para 2005 fue de más de 600,013 toneladas. Así mismo, la producción de truchas en cada comunidad y país son las siguientes [31].

UNION EUROPEA: La producción de truchas en promedio es 230 mil toneladas, la importación es 24 mil toneladas y su consumo en promedio es 250 mil toneladas anuales.

ESTADOS UNIDOS: Ofrece oportunidades para el producto fresco y congelado. La importación de truchas ha bajado en 6 % de 1998 a 2002, siendo su consumo promedio 29,500 Toneladas.

PERU.- Las exportaciones al año 1999 han caído en más del 300 % con relación al año 1994 (de 443 Toneladas a 181 Toneladas), principalmente por las debilidades en las técnicas de producción, debilidades en la comercialización y escasa solvencia económica financiera de los productores que en su mayoría son artesanales.

1.2.3 Proveedores

Si bien es cierto la importación de ovas y alevines es mínima debido a la producción de ovas producida por el centro de Crianza en Ingenio.

El principal proveedor de ovas y alevines es TROUTLODGE, INC. Ubicado en P.O. Box 1290, Sumner, Washington 98390 USA. Así mismo, el principal proveedor de alimentos es Alicorp.

1.2.4 Marco legal

El centro de crianza esta dirigido directamente por la Dirección Regional de Producción – PRODUCE y este por el Gobierno Regional de Junín.

1.2.5 Ventajas competitivas

Si bien es cierto existe una gran oportunidad de satisfacer la demanda insatisfecha de trucha arco iris a los mercados de Europa, EE.UU. y Brasil debido al incremento del consumo de esta especie. Estos mercados se encuentran libres de derechos arancelarios [31]. Así mismo, abastecer la demanda del mercado nacional y regional, aprovechando las grandes posibilidades que los recursos naturales de la zona del proyecto nos brinda, principalmente por las aguas de los ríos frías, limpias y cristalinas; totalmente aptas para la crianza y producción de trucas.

Dar a la producción el mayor valor agregado como un potencial de crecimiento y sobre todo auto sostenido. Se está contribuyendo a la generación de empleo y a la vez evitar la migración.

Los productos hidrobiológicos están siendo cada vez más cotizados por su alto valor nutritivo y condiciones para la salud (omega 3) para la población mundial.

La población mundial sigue en crecimiento, especialmente en los países en desarrollo, por lo que se requiere de alimentos de alto valor nutritivo, con preferencia a los pescados, así como la preocupación por la salud por el relativo envejecimiento de la población por el consumo de productos hidrobiológicos (complementos nutricionales, omega 3)

La demanda mundial crecerá en un 70 % en los próximos 30 años mientras que la pesca tradicional extractiva estará estancada e incluso declinará [29]. Frente a estas proyecciones se vislumbra excelentes perspectivas de la actividad acuícola, cuya demanda será cubierta con una creciente producción de truchas.

1.3 Ingenio

El criadero de Truchas de Ingenio ubicado en el departamento de Junín en la provincia de Huancayo en Concepción a 3,245 m.s.n.m. cuenta con muchos años de experiencia, abastece a la población del valle del Mantaro, La Oroya y Lima siendo estos últimos su principal mercado con una capacidad para 2 millones de ovas, 1.8 millones de alevines y 154,000 Kg. de truchas [30].

Entre los principales parámetros que monitorean son el oxígeno disuelto O₂, cantidad de dióxido de carbono presente en el agua, la temperatura con una mínima de 11 grados centígrados y una máxima de 14 grados centígrados y con una temperatura promedio de 12,5 grados centígrados al medio día y el pH

presente en cada uno de los estanques de crianza con mediciones periódicas [31]; con respecto a otros parámetros fisicoquímicos no son analizados frecuentemente y no se tiene ninguna variación importante de estos.

Las dimensiones de los estanques están en relación a la etapa de crianza de los peces y en dos tamaños estándar (con ligeras modificaciones) de 5m de ancho, 15m de largo y 1,2 metros de profundidad total y de 5m de ancho, 25m de largo y 1,2 metros de profundidad total, además no cuentan con estanques de reserva.

El monitoreo del pH y análisis físico químico lo realiza la bióloga del centro en Ingenio y los informes de los análisis son realizados por el personal de Huancayo que realiza visitas periódicas al centro de crianza.

La reutilización del agua de los estanques es de hasta 4to uso en la etapa de comerciales y de 2do uso en la etapa de reproductores.

El caudal del agua que ingresa a los estanques es constante por lo que en época de lluvias solo controlan el volumen que ingresa al centro mas no la turbidez; sin embargo la cantidad de caudal es importante por cuanto ayuda a metabolizar y digerir los alimentos al ingresar mayor cantidad de oxígeno, lo que permite convertir de manera más eficaz el alimento en energía y se desarrolle físicamente más rápido el pez a un tamaño adecuado, esto genera mayor producción de desechos orgánicos que a su vez provoca cambios en el pH.

Tasa de mortandad en todas las etapas desde el proceso de oclusión es de hasta de un 20% del total [31].

El alimento balanceado proviene de Lima por parte de Purina; sólo usan alimento extruido de flotación lenta debido al proceso de gelatinización de

mejor acabado y para disminuir la contaminación del agua, además de mantener un 90% de proteínas, grasas y vitaminas.

La tasa de alimentación y costos de alimento decrecen a medida que los peces crecen. La talla comercial es entre 8 y 9 meses [31].

El control sanitario sólo se basa en el recambio de aguas y procesos de desinfección periódicas de los estanques, además de realizar un mantenimiento preventivo del centro con recambios y limpieza de los estanques cada 12 días aproximadamente [31].

1.4 Declaración

El objetivo de esta tesis es diseñar e implementar un instrumento de medición de pH y contribuir a que la producción de truchas cuente con un nivel de sofisticación adecuado para la comercialización en estado fresco para el mercado de la región y en diferentes presentaciones para los mercados de Lima y el extranjero.

Una de las funciones principales es el de tener un adecuado sistema de control de calidad, que otorgará mayor tecnificación a la producción para cumplir con los niveles exigidos de competitividad cumpliendo las normas internacionales de producción.

El resultado de la producción debe corresponder a una oferta uniforme, es decir establecer el mismo tamaño, color, forma y un peso determinado.

CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE PH EN UN ESTANQUE DE CRIANZA DE TRUCHAS

INTRODUCCION

En el presente capítulo se expondrá el estado del arte del asunto de estudio donde expondremos los conceptos y las diversas teorías involucradas en el desarrollo de esta investigación que hasta el momento se emplean. Mostraremos el estado actual de la trucha en el Perú, características, ventajas y calidad del agua inmersas en el campo de la acuicultura.

Así mismo, se analizará el proceso de medición de pH, además de los conceptos involucrados e indicadores necesarios para el desarrollo. Se exponen las diversas tecnologías utilizadas para el desarrollo del diseño electrónico y las consideraciones necesarias para la adquisición de datos, así como las características del electrodo de pH y su tratamiento.

Presentaremos el modelo en la cual el pH (potencial de Hidrogeno) es una de las variables a tener en cuenta en la crianza de truchas, una de las más importantes a monitorear en tanto es necesario para un adecuado monitoreo del agua. De modo tal que se hace necesaria una etapa de conversión de variables analógicas en variables digitales para ser manipuladas a través de un microcontrolador.

Debido a esto es necesario contar con dispositivos capaces de transformar magnitudes físicas a eléctricas de modo que sean útiles.

2.1 Estado del arte.

PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO

La crianza de truchas en nuestro país forma parte de una alternativa al sector agropecuario, este tipo de crianza se realiza en la gran mayoría de casos con asistencia de ONG's que brindan apoyo técnico a los campesinos que ven como alternativa económica la crianza de esta especie. Así mismo, se perfila como un producto de consumo nacional y de exportación. El cultivo de especie utilizando la tecnología como medio de control se nuestra como una opción interesante para alcanzar mayores estándares de producción y calidad aminorando las perdidas que conforman hasta un 20% del total a producir [30].

El contar con un adecuado sistema de medición de parámetros vitales, podría mejorar la producción y crianza de la especie; siendo uno de los parámetros a monitorear el pH que consiste en medir la cantidad de acidez en una sustancia esto a consideración de controlar la calidad del agua para un adecuado desarrollo de la especie. El rango optimo para las truchas se sugiere entre 6.0 y 8.0 siendo el ideal de 7.6 con un máximo tolerable de 9.2 pero en un rango de más de 5.5 y menor de 8.5 según el lugar donde se críen [44], considerando valores fuera de este rango se considera contaminación de los habitat.

Los cambios de pH afectan directamente a la actividad metabólica de los peces puesto que a valores fuera de este rango son perjudiciales para los peces llegando a ser contaminantes para la especie lo cual influirá de manera directa en el crecimiento, la reproducción y hasta en la alimentación sino se tiene un control adecuado. Una variación fuera del rango permitido será a causa de falta de mantenimiento del agua, excesivo alimento vertido en las posas, alto contenido de amoniaco (NH_4), residuos orgánicos de los peces y agentes

externos como el agua que ingresa u otros organismos en descomposición ajenos al agua.

El monitoreo del pH es usado en diferentes procesos para controlar la calidad del agua siendo este ya un aspecto muy utilizado en la gran mayoría de industrias. Pero un factor a favor es tener un grado de precisión adecuado con el que se quiere medir este parámetro. Por ello es necesario contar con un adecuado sistema que nos permita monitorear y supervisar de manera eficaz esta variable.

En las líneas siguientes se procederá a analizar las causas, consecuencias al tener un estanque alcalino o ácido, además de las diferentes formas empleadas para medir el pH.

EL ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

El control del pH es utilizado en diversos procesos, el grado de precisión con el que se quiere controlar y el algoritmo de control a utilizar dependen de la aplicación que se le quiera dar al asunto de estudio. Muchos son los factores que afectan al pH de la solución de nutrientes, uno de los más importantes es la relación de absorción de nutrientes negativamente cargados (aniones) y nutrientes cargados positivamente cationes. En general, un exceso en la absorción de cationes sobre aniones, provoca un descenso del pH, mientras que un exceso en la absorción de aniones sobre cationes produce un incremento del pH.

[9] Cuando se trata de unidades hidropónicas experimentales de reducido tamaño, la utilización de buffers pueden ser añadidos a la solución nutritiva para mantener estable el pH. Uno de ellos es el ácido etanosulfónico 2-N-morfolino (MES). Así mismo; el empleo de una solución ácida (pH 3-4) pasando

lentamente durante una noche por las líneas de riego, se puede emplear para limpiar las incrustaciones y precipitados formados y devolver así las redes de riego a su funcionamiento habitual, resolviendo los problemas de pérdidas de uniformidad y obstrucciones provocados por el elevado pH del agua de riego y restableciendo las condiciones normales del agua.

La posibilidad de controlar el pH de la disolución nutritiva, de acuerdo con los requerimientos óptimos del cultivo y de las condiciones ambientales. El pH idóneo suele oscilar en 5.5 y 6.5 para algunos casos, de forma que se puede ajustar su disolución nutritiva a estos valores mediante la adición de NaOH para aumentar el pH, o HCl (ácido clorhídrico) para disminuirlo. En este tipo de cultivos tradicionales nos muestra que el ajuste de pH resulta bastante más complicado.

A continuación se muestran las diferentes formas en que se puede medir el pH de una sustancia.

Indicador de pH

Un indicador de pH es una sustancia que permite medir el pH de un medio. Habitualmente, se utiliza como indicador sustancias químicas que cambian su color al cambiar el pH de la disolución. El cambio de color se debe a un cambio estructural inducido por la protonación o desprotonación de la especie o sustancia [11]. Los indicadores ácido-base tienen un intervalo de viraje de unas dos unidades de pH aproximadamente, en la que cambian la disolución en la que se encuentran de un color a otro, o de una disolución incolora, a una coloreada aunque de forma cualitativa, lo que conlleva a que la medición sea imprecisa.

Los indicadores más conocidos son el naranja de metilo, que vira en el intervalo de 3,1 - 4,4, de un color rojo a uno naranja, y la Fenolftaleína, que vira desde

un pH 8 hasta un pH 10, transformando disoluciones incoloras en disoluciones con colores rosados o violetas.

Los indicadores de pH tienen una constante de protonación, K , que informa sobre el desplazamiento de la reacción de protonación de la forma básica del indicador.

$$K = \frac{[HI]}{[H^+][I^-]}$$

El cambio de color de un indicador es apreciable cuando la concentración de la forma ácida o de la forma básica es superior o igual a 10 veces la concentración de la forma básica o la forma ácida respectivamente.

Papel tornasol

Este método es más barato, pero no es más inexacto que los otros.

$$\frac{[HI]}{[I^-]} \geq 10, \frac{[I^-]}{[HI]} \geq 10$$

Cuando la concentración de la especie ácida del indicador es igual a la concentración de la forma básica del indicador, la constante de protonación es igual a la inversa de la concentración de protones.

$$K = \frac{[HI]}{[H^+][I^-]} \Rightarrow [HI] = [I^-] \Rightarrow K = \frac{[HI]}{[H^+][HI]} = \frac{1}{[H^+]}$$

En este punto del pH, el color del indicador es una mezcla entre el color de la forma ácida y el color de la forma básica. Para obtener solamente el color de la forma básica, se debería aumentar 10 veces la concentración de la forma básica respecto a la de la ácida, y para obtener el color de la forma ácida, se debería aumentar 10 veces la concentración de la forma ácida respecto a la de la básica. Con esto se tiene que el cambio de color de una forma a otra

equivale a un factor de 100. Hablando en términos logarítmicos, equivale a 2 unidades de pH. Por tanto, la zona de viraje de un indicador suele estar entre una unidad por arriba y una por abajo del logaritmo de K [11].

Como se mide el pH

Una manera simple de determinarse si un material es un ácido o una base es utilizar papel de tornasol. El papel de tornasol es una tira de papel tratada que se vuelve de color rojo cuando está sumergida en una solución ácida y azul cuando está sumergida en una solución alcalina o básica. Sin embargo, actualmente existen papeles de pH que pueden proporcionar una estimación más exacta del pH pero no son muy útiles para medir el pH de líquidos coloreados o turbios.

Para medir el pH, se selecciona el papel que dé la indicación en la escala aproximada del pH que se requiera medir. Si no se conoce la escala aproximada, es necesario determinarla por ensayo y error, usando papeles que cubran varias escalas de sensibilidad al pH.

En la tabla 1 se muestran algunos indicadores ácido-base, o de pH, con sus intervalos de viraje (intervalos de pH en los que cambian de color) y sus distintos colores según se encuentren en medio ácido o básico.

NOMBRE	INTERVALO DE pH	COLOR ÁCIDO	COLOR BÁSICO
Azul de bromofenol	3,0 - 4,6	Amarillo	Púrpura
Anaranjado de metilo	3,1 - 4,4	Rojo	Amarillo
Rojo de metilo	4,2 - 6,2	Rojo	Amarillo
Azul de bromotimol	6,0 - 7,6	Amarillo	Azul
Tornasol	5,8 - 8,0	Rojo	Azul
Fenolftaleína	8,0 - 9,8	Incoloro	Rojo-violeta
Amarillo de alizarina	10,1 - 12,0	Amarillo	Violeta

Tabla 1. Indicadores ácido-base o de pH [24].

Para medir el pH se sumerge varios segundos en la solución el papel tornasol u otro similar, que cambiará de color según el pH de la solución. Los papeles tornasol no son adecuados para usarse con todas las soluciones. Las soluciones muy coloreadas o turbias pueden enmascarar el indicador de color. Ciertas soluciones pueden requerir mayor precisión que la que ofrecen los papeles tornasol.

El método más exacto y comúnmente más usado para medir el pH es usando un medidor de pH electrónico y un par de electrodos. Un medidor de pH es básicamente un voltímetro muy sensible, los electrodos conectados al mismo generarán una corriente eléctrica cuando se sumergen en soluciones. Un medidor de pH tiene electrodos que producen una corriente eléctrica; ésta varía de acuerdo con la concentración de iones hidrógeno en la solución. La principal herramienta para hacer las mediciones de pH es el electrodo de bombilla de vidrio. Tal vidrio tiene una composición especial, sensible a los iones hidrógeno. Un tipo de voltímetro conectado a los electrodos relaciona con el pH la corriente eléctrica producida en la membrana de vidrio. Para cerrar el circuito y brindar una referencia estable y reproducible, se requiere un segundo electrodo. El medidor debe estar calibrado con una solución de pH conocido, llamada "amortiguador", solución tampón o buffer. Los amortiguadores resisten las variaciones de pH y tienen valores de pH específicos a temperaturas determinadas [12].

Dos tipos de electrodos se utilizan para medir el pH, y cada electrodo tiene un propósito específico. El electrodo de vidrio o cristal tiene un bulbo hecho de un cristal especial que es muy selectivo y sensible a los iones de hidrógeno. Cuando este bulbo de cristal se sumerge en una solución, el voltaje generado en la superficie de los bulbos se relaciona con el pH de la solución. La determinación del pH con el medidor es mucho más precisa que con los papeles tornasol. Sin embargo, se debe dar mantenimiento y usar correctamente el medidor así como preservar el electrodo en una solución de

almacenamiento que ayuda a conservar las características del electrodo al paso del tiempo.

El otro electrodo se llama " electrodo de referencia " y proporciona un voltaje estable y reproducible cuando se sumerge en una solución. Cuando los dos electrodos están conectados con un medidor de pH, la diferencia de voltaje generada permite acoplar dispositivos electrónicos y visualizar en un indicador analógico o digital la lectura del pH. Un electrodo que combine el bulbo de cristal sensible al pH y una celda de la referencia en un cuerpo de electrodo se llama " electrodo de combinación " y se utiliza de la misma manera que un par de electrodos para realizar una medición.

Para obtener exactitud y buena consistencia en el medidor, se debe calibrar el instrumento de medición con soluciones de valores de pH conocidos llamados buffer.

Para las lecturas exactas y confiables del pH es necesario mantener y calibrar el instrumento de medición y los electrodos con periodicidad. Se debe también medir las soluciones en la temperatura correcta o hacer la compensación a la temperatura realizada.

Medidor de pH electrónico

El metro de pH debe ser capaz de calibraciones en dos puntos con un control ajustable de pendiente o ganancia o una lectura de los valores de la ganancia. Una legibilidad de hasta 0,01 unidades de pH y exactitud de hasta 0,02 unidades se requiere como mínimo [12].

Electrodos

Calibre siempre el medidor con amortiguadores precisos. Use amortiguadores próximos al valor de pH de las soluciones que vaya a medir. Revise la pendiente y ajústela de ser necesario, para compensar la antigüedad de los electrodos. Enjuagar y llenar los electrodos de referencia con 3,5 M en lugar de

una solución saturada de cloruro del potasio. La concentración más baja de sal produce menos cristalización dentro de los electrodos y en la junta de referencia [12].

SÍNTESIS SOBRE EL ASUNTO DE ESTUDIO

- Existen varias formas de medir el pH, sin embargo el método más eficaz es empleando un electrodo de combinación y la adaptación hacia un equipo electrónico para garantizar que el valor medido sea el correcto.
- El monitoreo del pH nos permite mantener la calidad del agua en el estanque en condiciones adecuadas, no necesariamente con un alto grado de precisión pero sí con niveles controlables.
- Se debe contar con un equipo que sea capaz de monitorear esta variable de manera eficaz, para este caso existen diversos tipos de instrumentos ya comercializados y de diferente tipo pero será necesario contar alguno con funciones de acuerdo a las condiciones de uso que se le quiera dar, por ello diseñar el equipo que sea el de menor costo posible para poder tener tecnología viable al alcance de la industria y la realidad nacional.
- Para la elaboración de este equipo de medición de pH se necesita contar con algoritmos convencionales y se debe desarrollar un modelo y el procedimiento que describa el funcionamiento del sistema de medición, luego realizar las pruebas necesarias para verificar su funcionamiento dentro del proceso.
- Para el monitoreo del pH se utilizará un sistema de posas para realizar en intercambio de agua de tal manera que permita reestablecer el pH adecuado.

2.2 Definiciones y tecnologías aplicadas

2.2.1 Acuicultura

Es el conjunto de actividades destinadas al desarrollo de animales y al cultivo de plantas en el medio acuático. Orientado hacia el conocimiento de los ecosistemas y de los organismos que viven en un ambiente acuático. Así mismo se presenta como el cultivo controlado y la cosecha de plantas y animales acuáticos. Hay una gran similitud entre la agricultura y la acuicultura, en ambos casos se pretende cubrir las demandas alimenticias de una población mundial en crecimiento y con recursos naturales limitados.

Según los tipos se tiene:

1) Según el número de especies:

Monocultivo:

Cultivo único o predominante de una especie.

Policultivo:

Cultivo en una determinada región, de gran variedad de especies.

2) Según su densidad de carga y el manejo:

Extensiva:

Siembra o resiembra en un cuerpo de agua, cuya alimentación se sustenta en la productividad natural del ambiente, pudiendo existir algún tipo de acondicionamiento.

Este tipo de cultivo se desarrolla por lo general con muy baja inversión, en donde se espera proporcionar a la población un alimento de bajo costo, tampoco es importante la talla final del pez, en tanto alcance tamaño comercial; y mucho menos el tipo de alimento utilizado en su producción. En este sistema se utilizan densidades bajas de peces por metro cuadrado, dependiendo del tamaño del pez que se quiere.

Semi-intensiva:

Cultivo en ambientes naturales o artificiales, se utiliza alimentación suplementaria además de la alimentación natural, existe un mayor nivel de manejo y acondicionamiento del medio.

En este sistema de producción se utilizan estanques más grandes y con aireadores dependiendo del grado de intensidad de siembra del sistema. Las densidades utilizadas son muy variables y se encuentran en un rango mayor que el de la crianza extensiva obteniendo una producción en el rango mayor de toneladas por hectárea al año. En este sistema es muy importante el monitoreo de los niveles de amonio, pH, temperatura y el nivel de oxígeno disuelto.

Intensiva:

Se utiliza avanzada tecnología y un mayor nivel de manejo y control que permita obtener elevado rendimiento por unidad de área, empleando además como alimentación principal dietas balanceadas. Para el éxito del cultivo bajo este sistema es sumamente importante la cantidad y calidad del agua suministrada a los peces; así como el cuidado y atención que se le debe proporcionar al sistema. En un sistema intensivo se pueden producir en un rango muy elevado de toneladas de pez por metro cúbico / año.

Superintensiva:

Para este sistema se requiere estanques de concreto de 100 a 400 metros cúbicos, requiere un recambio de agua de constante, la producción es de 500 toneladas métricas por hectárea al año, y se debe tener un excelente sistema de monitoreo y tecnología aplicada al desarrollo de la especie.

Truchas. Ventajas y Desventajas

En el Perú las truchas se distribuyen en casi todos los ambientes dulces acuícola de la sierra, al haberse adaptado a los ríos, lagunas y lagos de las zonas alto andinas. Su distribución en los ríos se halla continuamente alterada por su gran movilidad, pues migran de una zona a otra, dependiendo de la estación del año, estadio biológico, de las horas del día, del tipo de alimento, épocas de reproducción, etc.

Sin duda la crianza de esta especie ofrece un gran número de posibilidades en cuanto a la producción de truchas específicamente en gran parte de nuestro territorio de manera artesanal, este tipo de crianza se realiza en la gran mayoría de casos con asistencia de organizaciones no gubernamentales que brindan apoyo técnico a los campesinos.

Sin embargo el cultivo artesanal que se viene desarrollando en nuestro país sin contar con herramientas tecnológicas, no facilita un adecuado control de la especie en cuanto a producción llegando a tener pérdidas de un 35% hasta la comercialización. Es por ello que si se llegase a monitorear y controlar parámetros vitales en la producción se podría mejorar la calidad del producto y desarrollar tecnología propia.

Estado actual de las Truchas en los centros de crianza del Perú.

Sin duda esta especie representa una alternativa para el desarrollo, sin embargo es necesario la realización de la solución de problemas para el cultivo de esta especie; una de ellas es la del proceso de monitoreo de pH que se presenta en los centros de crianza de truchas, puesto que se realiza con una limitada tecnología y eso evita que se pueda obtener un rango adecuado para el nivel de pH presente en los estanques de crianza de esta especie.

La importancia de esta investigación se impone, ya en que es necesario monitorear el nivel de pH, pues ésta juega un papel importante en la crianza de la trucha, ya que los peces son animales dependientes y sensibles a los cambios de la calidad del agua, por ello surge la necesidad de realizar el control del pH para un mejor cultivo de la trucha

Condiciones y parámetros de cultivo para la adecuada crianza de las Truchas.

El cuerpo de agua a utilizar, debe poseer características adecuadas en cuanto a su cantidad (caudal) y calidad (factores físico – químicos y biológicos). Las propiedades físicas pueden estar sometidas a variaciones bruscas por la influencia de factores externos, fundamentalmente a cambios atmosféricos y climáticos. Las propiedades químicas, sin embargo son mucho más estables y sus variaciones son mínimas, salvo casos excepcionales en los que una contaminación pueda producir efectos irreversibles. La calidad del agua desde el punto de vista biológico, está condicionada a la ausencia o presencia de organismos vivos en el ecosistema acuático, así como a la mayor o menor presencia de agentes patógenos.

Esta especie se caracteriza por tener el cuerpo cubierto con finas escamas y de forma fusiforme, la coloración de la trucha varía de acuerdo al ambiente en que

vive, edad, estado de maduración sexual y otros factores, como por ejemplo la influencia del ambiente en riachuelos sombreados presentan color plomo oscuro mientras que en un estanque bien expuesto a los rayos del sol ofrece una tonalidad mucho más clara, verde oliva en su parte superior luego una franja rojiza para finalizar con el abdomen blanco; además posee gran número de máculas negras en la piel, a manera de lunares, por lo que en otros lugares se le llama también trucha pecosa. La denominación de trucha arco iris se debe a la presencia de una franja de colores de diferentes tonalidades, con predominio de una franja rojiza sobre la línea lateral en ambos lados del cuerpo [44].

La tabla 2 muestra las condiciones fisicoquímicas del agua para la crianza de las truchas.

CONDICIONES FISICO QUIMICAS DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE ESTANQUES	
PARAMETRO	OPTIMO
Turbidez	<400 mg/lit.
Color	Aguas claras
Temperatura	9-11 °C para reproducción 11-15 °C para crecimiento y engorde
Oxígeno disuelto	Óptimo 6,5 – 10 ppm.
Anhídrido carbónico	Óptimo 2.0 ppm.
PH	Óptimo 6,5 - 8,5 Tolerable 6.0 – 9.0
Alcalinidad	20 – 200 ppm.
Amoniaco	< 0.02 ppm
Dureza	60 – 300 ppm.

Acido sulfhídrico	< 0.0002 ppm.
Nitrito	0.055 ppm.
Nitrato	<100 ppm.
Nitrógeno amoniacal	0.012 ppm.
Fosfato	< 500 ppm
Sulfatos	< 45 ppm.
Fierro	< 0.10 ppm.
Cobre	< 0.05 ppm. Y 0.5 ppm. En aguas duras
Sólidos en suspensión	25 – 80 ppm.
Cadmio	3 ppm. En agua dura 0.4 ppm. En agua blanda
Mercurio	0.05 ppm.
Níquel	0.02 xLc 50 del agua
Zinc	0.05 xLc 50 del agua
Cianuro	0.005 ppm

Tabla 2. Parámetros físico químicos de la calidad del agua en la crianza de Truchas [44].

2.2.2 Herramientas para el análisis y monitoreo.

En base a todo el análisis que se realice se desarrollará el algoritmo necesario para el monitoreo de nuestro sistema de medición. Habiendo ya realizado el algoritmo de funcionamiento se procederá a realizar el software de la calibración digital en el microcontrolador elegido y así proceder al desarrollo del prototipo.

2.2.2.1 Electrodo de pH

El agua y las soluciones acuosas se pueden considerar consistentes de partículas cargadas (o iones) y partículas no cargadas (o moléculas). Los iones pueden ser positivos o negativos. En cualquier caso, las cargas positivas y negativas deben estar en igual cantidad, de modo que la solución no presente carga neta.

El agua pura se disocia en hidrógeno ionizado o protones H^+ e hidroxilos OH^- y el hidrógeno varía normalmente en concentraciones que van desde 1,0 molar hasta 10^{-14} molar. Naturalmente, es más fácil referirse al logaritmo base diez de tales concentraciones, generando así la escala "pH", donde "p" significa potencial y se expresa como el inverso aditivo del logaritmo base diez de una concentración molar; en este caso de hidrógeno ionizado. Se debe enfatizar que no se debe confundir la *concentración* de iones hidrógeno con la *acidez* de una solución, la que está dada por la concentración molar de protones, mientras que el pH está dado sólo por su actividad.

En el año 1909 se propuso la utilización de la escala de pH en lugar de la concentración de hidrógeno. De manera que propuso la expresión "potencial de hidrógeno" que se debía expresar de la siguiente forma:

$$pH = -\text{Log}([H^+]) \quad (\text{ec.1})$$

El pH de una solución se debía determinar midiendo el potencial de una celda voltaica, conformada por dos alambres de platino, uno inmerso en la solución a pH desconocido y el otro en una solución a pH conocido y con las dos soluciones conectadas mediante un puente salino convencional y con gas hidrógeno en ambos electrodos (los alambres son los *electrodos*) a una presión conocida. El voltaje de tal celda de modo similar a cualquier celda voltaica estándar será dado por la ecuación de Nernst, ecuación 2 [43]:

$$E_H = \frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{[H^+]_C}{\sqrt{[H_2]_C}} \right\} - \frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{[H^+]_M}{\sqrt{[H_2]_M}} \right\} \quad (\text{ec.2})$$

Donde el subíndice C se refiere a la celda de concentración conocida mientras que el sub índice M a la muestra de pH desconocido. Los paréntesis cuadrados indican actividad molar. Obviamente, si las actividades de H^+ y de H_2 en la celda de composición conocida "C" fuesen unitarias, se estaría trabajando con el electrodo estándar de hidrógeno, así que el primer término de la ecuación 2 se hace cero. Además, si la presión del hidrógeno gaseoso fuese 1 atmósfera, el denominador del término bajo logaritmo sería 1 y el potencial es solamente dependiente de la concentración de hidrógeno ionizado en la celda que contiene la muestra [43]. Así de la ecuación 2 se obtiene:

$$E_H = -\frac{RT}{F} \ln [H^+]_{C\text{-ESTANDAR}} = -0,0591 \text{ i.e. } E_H (\text{a } 25^\circ \text{C}) = 0,0591 \text{pH}$$

Es decir:

$$\text{pH} = \frac{E_H}{0,0591} \text{ a } 25^\circ \text{C} \quad (\text{ec.3})$$

Donde:

R: Constante del gas e igual a 8.314 J/K Mol.

T: Temperatura en grados Kelvin.

F: Constante de Faraday e igual a 9.648×10^4 coulomb/mol.

Dado que la constante de ionización del agua es 10^{-7} , se podrá medir también la actividad del Ion hidroxilo.

Hoy en día, el electrodo de pH se ha estandarizado hasta lograr sistemas simplificados en que la referencia puede ser dada por un electrodo de mercurio y el electrodo activo se encuentra dentro de un vidrio polarizable [33].

2.2.2.2 Electrodo de vidrio y electrodo de plástico

Los electrodos de pH se construyen, usualmente, en vidrio o con cuerpo de plástico pero el electrodo activo sigue siendo de vidrio. Los electrodos de vidrio se construyen con dos tipos de vidrio distintos.



Figura 1. (a) electrodo de vidrio, (b) electrodo de plástico [10].

La varilla de soporte del electrodo es de vidrio común (o plástico), no conductor de cargas eléctricas mientras que el bulbo sensible, al extremo sensible del electrodo, se construye con un vidrio de formulación especial, conocido como "vidrio sensible al pH" o vidrio polarizable. El vidrio de pH es conductor de cargas eléctricas porque tiene óxido de litio dentro del cristal, además de óxido de sílice, de calcio y algunos otros. La estructura del vidrio es tal que permite el intercambio de iones litio por iones de hidrógeno en solución acuosa, de modo que se forma una capa fina hidratada. Se crea así un potencial del orden milivoltios a través de la interfase creada entre el vidrio y la solución acuosa. El voltaje creado hacia el interior del bulbo es constante porque se mantiene su pH constante mediante una solución tampón o buffer de $\text{pH} = 7$ de modo que la diferencia de potencial depende sólo del pH del medio externo. La

incorporación de un alambre usualmente de Ag/AgCl permite conducir este potencial hasta un amplificador [35].

El tiempo de vida del electrodo típico varía de acuerdo al uso, al tiempo y a las condiciones en que se trabaje, en la tabla 3 se muestra la duración promedio en que dura un electrodo de acuerdo a la temperatura en que se trabaje, siendo este un factor importante a tener en cuenta para la conservación del electrodo.

Temperatura de ambiente	1 a 3 años.
Temperatura a 90°C	Menor a 4 meses.
Temperatura a 120°C	Menor a 1 mes.

Tabla 3. Tiempo de vida del electrodo típico [35].

2.2.2.3 Características de funcionamiento del electrodo

La temperatura debe ser considerada con cierto cuidado. La mayoría de los amplificadores para electrodos de pH tienen la posibilidad de corregir las desviaciones debidas a la temperatura, ya que la ecuación de Nernst es dependiente de T (a través del término RT/F). Sin embargo, un proceso a temperatura constante podría no requerir corrección en el electrodo y, más bien, ser calibrado con soluciones tampón a la temperatura de proceso.

La evaluación de la ecuación de Nernst a cualquier pH para soluciones acuosas, arroja un potencial de 59,1 mV por unidad de pH a 25°C. Sin embargo, por características de fabricación, los electrodos presentan un "potencial de asimetría" que implica que no se obtienen 0 voltios en pH 7,00 (a pH 7,00, $[H^+] = [OH^-]$ de modo que el potencial debería ser cero). Tampoco es el caso que un electrodo entregue la misma respuesta a lo largo de su vida; incluso tenues modificaciones de la calidad de la superficie de la membrana de vidrio hacen que la respuesta esté en torno a la teórica pero no exactamente.

De allí que los electrodos de pH requieren de un amplificador con ajuste de cero y ajuste de pendiente. Esto permitirá calibrar el instrumento.

La impedancia de los electrodos de pH es del orden de los $1,5 \times 10^6$ ohmios. Un amplificador para tal electrodo debiera tener una impedancia de, al menos, unos 10^8 ohmios.

La señal proveniente del electrodo es "ruidosa", debido a la actividad de los protones en solución a la temperatura del caso. En el caso específico de los electrodos de pH, no es creíble una medición con mayor precisión que unas décimas de pH debido al efecto de la temperatura, al menos mediante electrodos hasta hoy conocidos [33].

La conexión del electrodo al equipo de medición se realiza a través de un cable y un conector de modo que garanticen la fidelidad de la señal medida, en la tabla siguiente se aprecia las diferencias existentes entre el uso de conectores BNC y el estándar americano.

Conector BNC	Conector US estándar
<ul style="list-style-type: none"> - Más pequeño y encaja mejor en pH metros portátiles. - Más barato y ampliamente usado. - Mejor sujeción. 	<ul style="list-style-type: none"> - ofrece menor sujeción.
Electrodos con cuerpo de vidrio	Con cuerpo de plástico (Epoxy)
<ul style="list-style-type: none"> - Más fácil de limpiar. - Disponibles en más formas para determinadas aplicaciones. - Soportan temperaturas por sobre los 100°C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Más rugoso y el vástago de electrodo con el bulbo están mejor protegidos. - Cuesta menos que el de vidrio. - Soporta hasta 80°C.
Electrodos rellenos de gel	Electrodos recargables
<ul style="list-style-type: none"> - Requiere menos mantenimiento y no se recargan. - Resisten alta presión (15 – 30 psi). 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede durar más el electrodo si el electrolito es cambiado. - Se puede usar diferentes electrolitos para usos específicos.
Juntura de referencia doble	Juntura de referencia simple
<ul style="list-style-type: none"> - Protege la muestra de alguna contaminación del electrolito. 	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente cuesta menos.

- Larga duración.	
Juntura de cerámica	Juntura abierta
<ul style="list-style-type: none"> - De larga duración. - Cuesta menos. - Soporta altas temperaturas por sobre los 80°C. - Soporta alta presión. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se atora por lo tanto ideal para algunos casos. - Respuesta más rápida. - Soporta hasta 50°C.

Tabla 4. Diferencias de los conectores BNC y el US estándar de un electrodo de pH [42].

2.2.3 Microcontroladores

Para el desarrollo de esta aplicación se ha elegido el microcontrolador Atmega8l de la corporación Atmel [27], este integrado cumple con las especificaciones y requerimientos deseados para el desarrollo del sistema, este circuito integrado es parte importante para el desarrollo de las etapas de acondicionamiento y adquisición de datos; las características que nos proporciona este circuito integrado se muestran a continuación:

- 32 x 8 registros de propósito General.
- True Read-While-Write Operation.
- 512 Bytes EEPROM.
- 1K Byte Internal SRAM.
- Real Time Counter.
- Tres Canales de PWM.
- 8-canales ADC en encapsulado TQFP y MLF.
- 6-canales ADC en PDIP de 8 y 10 bits.
- Programable Serial USART.
- Master/Slave SPI Interface serial.
- Comparador analógico.
- Fuentes de interrupción interna y externa.
- Voltaje de alimentación de 2.7 a 5.5 voltios.
- Frecuencia de reloj de 0 a 8 MHz.

2.2.4 Sensores.

Para el desarrollo de esta aplicación el sensor fundamental para el control de nuestro sistema es el que nos proporciona los niveles de voltaje según el nivel de acidez o alcalinidad, este medidor de pH está constituido fundamentalmente de un electrodo tal como se explica a continuación:

Este sensor es básicamente un voltímetro muy sensible que tiene conectados dos electrodos que producen una corriente eléctrica según la solución en que están sumergidos ya sea ácida o básica. Este cuenta con los siguientes elementos:

Electrodo de Vidrio: El bulbo es de un tipo de vidrio especial que es sensible a los iones de H⁺.

Electrodo de referencia: Da un voltaje estable y reproducible.

El electrodo de vidrio se aparea con un electrodo de referencia que completa el circuito eléctrico de medición. Estos dos electrodos se unen para crear un electrodo de combinación de manera que este se conecta a nuestro sistema de adquisición de datos, el cual lee el voltaje, lo procesa, y envía el resultado para poder visualizarlo [33].

Sin embargo el sistema necesita de un proceso de calibración de manera que siempre se tenga la certeza de que se efectuó una adecuada medición. Esto se calibra con soluciones patrón de pH 4,00, 7,00 y/o 10.00 utilizando un par de ellos.

Se empleará las normas técnicas STD para calibrar con las soluciones $\text{pH} = 7.01$ y $\text{pH} = 4.01$ (a 25°C) y no las NBS que utiliza los valores de $\text{pH} = 6.86$ y $\text{pH} = 9.18$ [35].

2.2.5 Pantalla LCD.

La pantalla lcd que se empleará nos permitirá poder visualizar los datos y comando necesarios para poder manipular el medidor de pH. El modelo de ésta pantalla es el DMC16249, además puede ser reemplazado por la mayoría de pantallas pertenecientes a la familia DMC; este cuenta con 14 pines que corresponden a pines de configuración y alimentación.

2.3 Tipos de ruido eléctrico

Un ruido eléctrico puede aparecer de dos maneras diferentes:

- Por el exterior: Otra fuente de señal u otro circuito que cause cambios en una señal /línea de potencia introduce su señal o sus cambios en nuestro circuito. Esto se llama interferencia.
- Lo genera el propio circuito, esos tipos de ruido se llaman ruidos aleatorios, y se dividen en:
 - Ruido térmico o de Johnson.
 - Ruido de disparo.
 - Ruido de baja frecuencia o *Flicker noise*.
- Una mala conexión a tierra es lo que genera ruidos.

2.3.1 Ruidos aleatorios

2.3.1.1 Ruido térmico o de Johnson

Es un ruido aleatorio que se genera por la agitación térmica de los portadores. Su espectro de frecuencias es plano, es un ruido blanco. Se genera en cualquier elemento que se comporte como una resistencia. Se mide como un voltaje y es el límite inferior de ruido alcanzable para cualquier elemento con resistencia [58].

Depende directamente de la resistencia y de la temperatura (en °K).

$$V_{n(RMS)} = \sqrt{4kTRB}$$

K es la constante de Boltzman y B en ancho de banda.

2.3.1.2 Ruido de disparo.

Se genera en todas las uniones semiconductoras por el hecho de que la carga es discreta. Para grandes corrientes (1A) sus efectos son completamente despreciables, pero para intensidades del orden de 1pA, puede suponer un 5.6% de la señal. Su espectro es plano.

$$I_{n(RMS)} = \sqrt{2qI_{DC}B}$$

q es la carga de un electrón, y B el ancho de banda.

2.3.1.3 Ruido de baja frecuencia.

Se genera por la inhomogeneidad de la materia. A diferencia de otros tipos de ruidos, su espectro decae inversamente proporcional a la frecuencia ($1/f$), es un ruido rosa.

$$I_{n(RMS)} = \sqrt{KI_{DC}B/f}$$

Es un ruido añadido al ruido Johnson y al de disparo que depende del tipo de resistencia.

- Carbon-composition 0.1mV a 3.0mV
- Carbon-film 0.05mV a 0.3mV
- Metal-film 0.02mV a 0.2mV
- Wire-wound 0.01mV a 0.2mV

El ruido de la base de un transistor BJT también es un ruido de baja frecuencia.

2.4 Modelo de un equipo de medición de pH.

El potencial de Hidrogeno es un parámetro utilizado en la crianza de truchas para el análisis del agua, esta es una de las más importantes a controlar en tanto es necesario para un adecuado monitoreo del agua, ya que esta forma parte importante del hábitat del pez influyendo directamente en la reproducción y cría de la trucha arco iris, con el fin de obtener resultados satisfactorios es necesario tener en cuenta mecanismos y técnicas necesarias para lograr este objetivo. El desarrollo y avance de la tecnología digital, ha permitido el uso de microcomputadoras para el monitoreo y medición. De modo tal que se hace necesaria una etapa de conversión de variables analógicas en variables digitales para ser manipuladas a través de un microcontrolador y un software.

Es por ello que es necesario contar con dispositivos capaces de transformar magnitudes físicas a eléctricas de modo que sean útiles y viables de controlar. Utilizar sensores adecuados es muy importante al momento de una implementación. Así mismo, estas señales necesitan pasar por un proceso de acondicionamiento de señal debido a que el transductor o sensor proporciona niveles de corriente y tensión baja tal es el caso del sensor de pH que para su acondicionamiento será necesario utilizar amplificadores operacionales. Una vez establecida una señal eléctrica dentro de niveles eléctricos manejables esta pasa por la tarjeta de Adquisición de datos que es la encargada de convertir la señal analógica en una señal digital la cual podrá ser tomada por el microcontrolador y este mediante un algoritmo se encargará de mostrar el valor de pH correspondiente. A continuación se muestra el grafico del sistema propuesto.

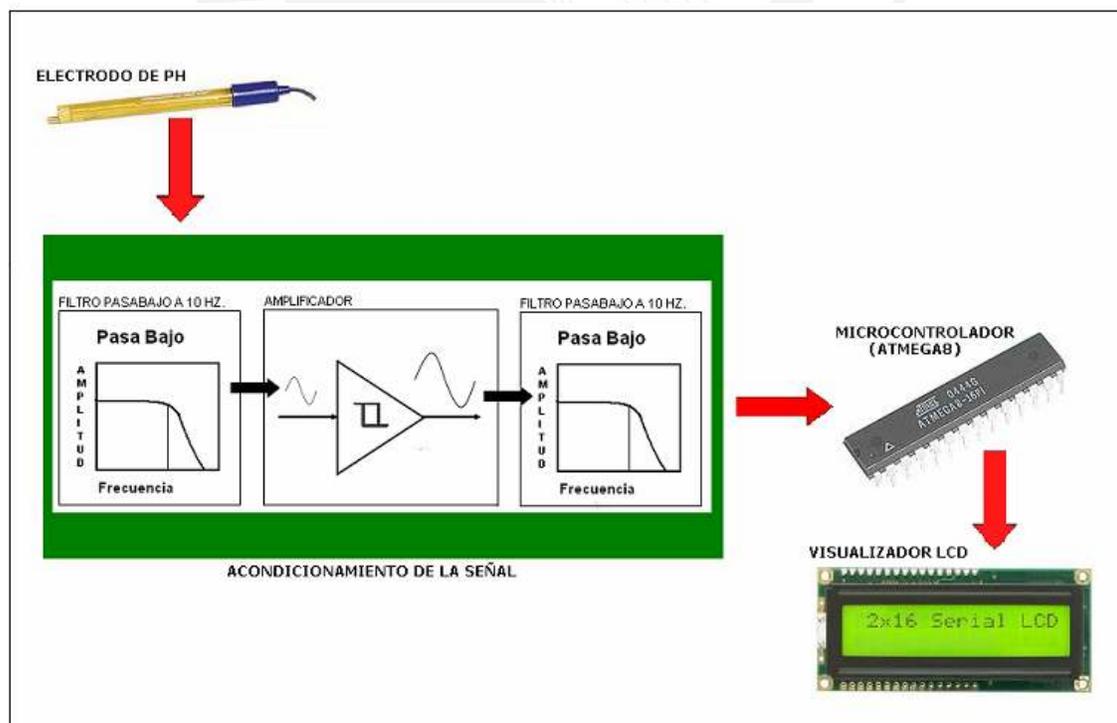


Figura 2. Gráfico del sistema propuesto
(Elaboración propia).

CAPÍTULO 3: SISTEMA DE MEDICIÓN EN UN ESTANQUE DE TRUCHAS

INTRODUCCION

En éste capítulo se expone el asunto de estudio donde resalta la hipótesis de la investigación, parte fundamental de la problemática involucrada la cual fue motivo para el desarrollo de ésta tesis, además de contar con los objetivos principales, donde el contribuir a establecer tecnologías propias para el desarrollo de la Trucha y alcanzar estándares de calidad para la producción y comercialización nacional e internacional de este cultivo se perfilan como principal objetivo. Se presenta a su vez la metodología de la investigación, universo y muestra.

Así mismo, resalta que una adecuada investigación preliminar que nos permita la identificación del lugar y habitat de la investigación, terreno, infraestructura, fuentes hídricas, recursos humanos, datos climáticos, etc. Nos permite delimitar las condiciones y requerimientos del diseño. Se muestra el procedimiento para el análisis de los datos en la que separados por etapas nos permite disgregar en etapas el desarrollo de esta tesis, desde el desarrollo de una investigación preliminar del asunto de estudio, realizar el análisis del proceso a diseñar, etapa fundamental para poder obtener un sistema de acorde a las necesidades, el desarrollo de la solución que nos abre paso hacia la implementación y puesta en marcha del instrumento de medición y así poder realizar las pruebas necesarias.

3.1 Hipótesis de la investigación

Debido a que en la crianza de truchas no presenta un adecuado monitoreo y control del pH y de otros parámetros necesarios para el desarrollo de la trucha Arco Iris, esta nos lleva a una producción de bajo nivel limitando la comercialización al no cumplir con los estándares de calidad necesarios para la exportación, por ello es primordial el equipamiento y/o implementación de un sistema de medición de pH, de manera que para el desarrollo de esta es necesario contar con las siguientes etapas dentro del cual se tiene: el sensor de pH, circuitos electrónicos encargados del acondicionamiento de señal basado en amplificadores y limitadores de señal, una tarjeta de adquisición de datos y un microcontrolador el cual cuenta con el algoritmo de operación necesario para el medidor del pH. Este sistema de medición basado en un microcontrolador debe de medir el pH del agua dentro de un rango determinado de manera que la calidad del agua se mantenga siempre dentro de los niveles óptimos para un adecuado crecimiento de la especie a cultivar.

HIPOTESIS SECUNDARIA:

- 1) El uso inadecuado de las tecnologías actuales y en muchos casos inexistentes para el análisis del pH en la crianza de truchas. Estas constituyen un factor que no permite el adecuado desarrollo de la especie.
- 2) El medidor de pH se basará en un sistema digital, este diseño nos brindara la capacidad necesaria para medir el pH dentro del estaque, esta señal pasará por varias etapas que pasan por un acondicionamiento de señales luego por una tarjeta de adquisición de datos y al microcontrolador.

3.2 Objetivos de la investigación

- 1) Poder contribuir a establecer tecnologías propias para el desarrollo de la Trucha para alcanzar los estándares de calidad para la producción y comercialización nacional e internacional de este cultivo.
- 2) Construir el equipo de medición de pH con una resolución de 0.01 grados de pH que permita al usuario final una medida real del parámetro sensado.

3.2.1 Objetivo General

- 1) Diseñar el sistema de medición de pH necesario que permita al usuario monitorear la calidad del agua en los estanques de crianza de truchas.
- 2) Establecer mecanismos necesarios para futuros trabajos de investigación y poder mantener un desarrollo sostenido de la tecnología dentro de nuestra casa de estudio.

3.2.2 Objetivos Específicos

- 1) Generar tecnologías propias para el desarrollo de la industria acuícola.
- 2) Realizar pruebas de medición con diferentes muestras patrón y verificar el buen funcionamiento del equipo.
- 3) Comparar los datos medidos con un equipo de medición de pH comercial.

4) Visualización del valor medido de pH en una PC mediante el puerto serial RS232 desarrollando un programa en Labview como programa de visualización.

3.3 Universo y Muestra

El universo de la investigación del cual trata esta tesis está ubicado en el centro de crianza de truchas en Ingenio, provincia de Concepción Huancayo, departamento de Junín. La muestra que se tomará y llevará a cabo en el presente trabajo de investigación está enfocado en el estanque de crianza de las Truchas en cualquiera de las etapas de su desarrollo a partir del momento en el que pasan a ser juveniles con prioridad en la etapa de reproductores en donde el monitoreo del pH es importante.

3.4 Procedimiento para el análisis de los datos.

Etapas 1: Investigación Preliminar

- Identificación del lugar y hábitat de la investigación del cual se obtendrán datos del terreno, infraestructura, fuentes hídricas, recursos humanos, datos climáticos.
- Diálogo con biólogos especializados en el tema (Fondo de Desarrollo Pesquero), y con los operarios encargados del Centro de crianza dado que cuentan con la experiencia necesaria para el desarrollo del equipo a realizar.
- Investigación del sensor a implementar así como el funcionamiento y desempeño a determinadas condiciones de trabajo.
- Investigación del sistema de acondicionamiento de señal que permitirá el tratamiento de la señal.
- Seleccionar de acuerdo a la investigación previa el Microcontrolador adecuado para el desarrollo del algoritmo de operación.
- Definición de objetivos y límites de la investigación.

Etapas 2: Análisis del proceso a diseñar

- Identificar los parámetros involucrados en el algoritmo que gobierna el instrumento de medición para mantener el nivel de pH dentro de los límites requeridos.
- Identificar los circuitos integrados involucrados en el diseño del prototipo a realizar.
- Establecer el rango de funcionamiento del equipo de medición.
- Limitar la influencia de los elementos del medio ambiente que influyen en el sistema que impidan el correcto funcionamiento del sistema en el proceso del diseño.
- Seleccionar los elementos de filtrado de la señal para eliminar el ruido y las interferencias que pudiesen ocasionar una mala lectura del pH de parte del microcontrolador.
- Reconocer los procesos y etapas involucrados en el menú del sistema de medición para garantizar el correcto funcionamiento de equipo de manera que se cuente con un modo de calibración y visualización de datos, así también ajustar efectos externos como el de la temperatura en las muestras buffer de calibración.

Etapas 3: Desarrollo de la Solución:

- Implementación del prototipo de medición.
- Pruebas del sistema de medición de pH.
- Ajustes del programa que gobierna el equipo de medición para obtener el funcionamiento requerido.
- Pruebas del equipo realizado frente a factores externos de interferencia y comparación con los datos teóricos.
- Comparación con un instrumento de medida convencional usado en los laboratorios y el equipo diseñado.

Etapa 4: Implementación y puesta en marcha:

- Elaboración de la documentación del sistema de medición de pH.
- Implementación del sistema de medición de pH.
- Elaboración de un manual de usuario (véase anexo 6)
- Capacitación al personal que opere este equipo



CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE PH Y ANALISIS DE RESULTADOS

INTRODUCCION

En el presente capítulo se expone el diseño del sistema de medición de pH, de manera que se muestran los diseños empleados para la realización del equipo de medición de pH. En ésta abarcan diferentes etapas de desarrollo que van desde el diseño del amplificador del electrodo, manejo del ruido presente en el circuito al trabajar con señales muy pequeñas susceptibles a interferencias electromagnéticas en donde la impedancia del electrodo es un factor decisivo para la realización del circuito amplificador. Así mismo, se muestran los diseños del circuito encargado de la adquisición de datos y gestión que gobiernan el funcionamiento del equipo y la fuente de alimentación

Se realizará una descripción del programa principal y las subrutinas empleadas que permiten usar al instrumento de medida de pH. Así entonces, se expondrán las subrutinas de toma de datos del conversor analógico – digital, la calibración del equipo, la compensación de la temperatura del reactivo a emplear para la calibración y el programa principal donde se encuentra el algoritmo que permite reunir las subrutinas y poder utilizar el instrumento. Además, se describirá el programa de visualización desarrollado en Labview (empleando una computadora personal para el manejo de la variable medida), las características climáticas y la selección del electrodo y la propuesta de control. Por consiguiente se describirán los resultados del diseño de manera que se expondrá la correspondencia del escalamiento y el pH empleados al momento de la calibración. Además se expondrán parámetros de referencia del instrumento diseñado siendo estas condiciones y características de uso como el intervalo de funcionamiento, la resolución, la exactitud, condiciones de uso, compensación de temperatura y calibración.

4.1 Diseño del equipo de medición

4.1.1 Diseño electrónico

4.1.1.1 Diseño del circuito amplificador del electrodo de pH.

(Véase anexo 1)

Debido a que vamos a utilizar una sonda de pH estándar esta proporciona a la salida una tensión inversamente proporcional al pH del líquido, teniendo como voltaje cero el pH neutro. Es decir, para $\text{pH} = 7$ la tensión de salida es aproximadamente 0V; cuando el pH es mayor que 7, la tensión de salida es negativa y cuando el pH es menor que 7 positiva, siendo los cambios de aproximadamente 60mV por grado de pH (ecuación 3), esta relación es directamente proporcional con el voltaje.

Para una muestra con un buffer o tampón de $\text{pH} = 5$, la tensión de salida sería aproximadamente 120mV y para una muestra con un buffer de $\text{pH} = 8.5$ sería aproximadamente -90mV. Sin embargo estos valores dependen de la calidad y envejecimiento de la sonda, temperatura, etc.

Es posible que no dé exactamente 0V para $\text{pH} = 7$ ó que los incrementos de tensión no sean de 60mV por grado de pH (esto se explicará más adelante). Por todo ello, el circuito tendrá que ser calibrado periódicamente para que la medida sea fiable.

El electrodo de pH proporciona una tensión que se rige por la siguiente fórmula de una aproximación empleada según la fórmula de Nernst (ecuación 3):

$$V_{IN} \approx 0.060 \cdot (7 - \text{pH}) \quad (\text{ec. 4})$$

Donde el valor de pH puede estar en el rango de 0 a 14

Esta fórmula sólo representa de manera teórica el valor de la tensión en la sonda, sin embargo no nos proporciona la salida real la sonda, debido a que ésta es afectada por la temperatura, sin embargo esta diferencia es de apenas milésimas de voltaje que se puede demostrar en la ecuación 2 donde variaciones de temperatura generan pequeñas variaciones de tensión.

En las pruebas se pudo observar la presencia de ruido en la señal de salida de la sonda siendo la frecuencia más cercana la de 60 Hz, además de apreciar también frecuencias altas, debido a estas frecuencias es necesario el uso de filtros para atenuarlas y obtener una señal continua para su posterior tratamiento en el circuito de adquisición.

La frecuencia de 60 Hz surge debido a que se está empleando corriente alterna para energizar los circuitos que proporcionan la potencia necesaria para la fuente regulada de corriente continua y esta se acopla a la señal.

Debido a la presencia de ruido en nuestra sonda se añadió un filtro pasa bajos a una frecuencia de 10Hz para atenuar estas señales y debido a que se requiere una señal continua se eligió una frecuencia muy baja; para atenuar esta señal se emplea un filtro RC pasivo y no amerita un filtro activo debido a la simplicidad y características de la atenuación de 20 dB por década.

Como se mencionó líneas atrás, el electrodo tiene ciertas características de funcionamiento entre las cuales la más importante es la impedancia de esta que es muy elevada, debido a ello es necesario hacer una selección de amplificadores operacionales que permitan acoplar estas impedancias y obtener la medida o valores proporcionados por la sonda de pH.

El amplificador INA141 es un amplificador de instrumentación cuya impedancia de entrada es de 10^{10} ohmios [50], ésta magnitud no es suficiente para poder

acoplar las impedancias entre la sonda y el amplificador y que no haya efecto de carga.

Un parámetro a considerar es la tensión de desplazamiento (offset) a la entrada (V_{io}) cuando a esta se aplica la misma tensión [36]. Si se aplicara una tensión de cero voltios a la entrada del amplificador este nos daría una tensión diferente de cero. Por ello es necesario tener un amplificador operacional que proporcione un valor bajo de V_{io} . En un amplificador operacional de propósito general (LM741) el nivel de voltaje de desplazamiento es elevado [51], en comparación con un amplificador operacional de entrada JFET cuyos valores de tensión son menores.

En la tabla 5 se muestra la comparación entre los diferentes tipos de amplificadores operacionales:

	LF356	INA141	OA741
Impedancia de entrada (ohmios)	10^{12}	10^{10}	10^6
CMRR	100dB	117dB	90dB
PSRR	100dB	110 dB	96 dB
Temperatura máxima	70°C	125°C	125°C
Slew Rate	12 V/ μ s	4 V/ μ s	0.5 V/ μ s
Nivel de ruido de corriente a la entrada	0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	0.9 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	0.9 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ f=10hz
Nivel de ruido de voltaje a la entrada	12 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	22 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	22 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Ancho de banda	5Mhz	1Mhz	1.5Mhz
V_{io} (offset)	3mV	50uV	15mV
Derivada de voltaje	5uV/°C	0.5uV/°C	15uV/°C

Tabla 5. Comparación entre diferentes tipos de amplificadores operacionales.

Existen diferentes amplificadores JFET en el mercado, a continuación se muestra dos de los más comunes en la tabla 6:

	LF356	TL071
Impedancia de entrada (ohmios)	10 ¹²	10 ¹²
CMRR	100dB	100dB
PSRR	100dB	100 dB
Temperatura máxima	70°C	85°C
Slew Rate	12 V/μs	13 V/μs
Nivel de ruido de corriente a la entrada	0.01 pA/√Hz	0.01 pA/√Hz
Nivel de ruido de voltaje a la entrada	12 nV/√Hz	18 nV/√Hz
Ancho de banda	5Mhz	3Mhz

Tabla 6. Comparación entre los amplificadores JFET LF356 [49]y el TL071 [53].

Datos obtenidos de las hojas técnicas de los amplificadores operacionales LF356 [49], TL071 [53], INA141 amplificador de instrumentación [50] y LM741 amplificador de propósito general [51].

Debido a que se requiere un amplificador de ciertas características de funcionamiento. Se eligió al amplificador operacional LF356 que cuenta con una impedancia de entrada muy elevada de 10¹² ohmios, el amplificador TL071 también tiene una impedancia de entrada de 10¹² ohmios siendo este el factor más importante a considerar sin embargo el amplificador LF356 es de bajo costo (aproximadamente US\$5.00 dólares americanos) y fácil de conseguir en el mercado nacional. Así mismo, es necesario tener en cuenta la temperatura de operación del amplificador y este no va a trabajar a excesivas temperaturas o superiores a 50°C. El coeficiente de rechazo en modo común es otro factor a considerar y en los cuatro casos estos son elevados y no

representa un obstáculo al momento de la elección. El Slew Rate es también bajo en los cuatro amplificadores mostrados anteriormente.

En el amplificador operacional se amplifica la tensión de entrada para convertirla a un nivel adecuado y poder trabajar con las señales a una escala mayor. Este amplificador multiplica la tensión de entrada por 1.7 aproximadamente de manera tal que podamos contar con valores enteros de fácil acceso y manejo para futuros cálculos y operaciones de acondicionamiento de la señal, de esta forma a la salida del amplificador LF356 tendremos:

$$V \approx 1.7 \cdot [0.060 \cdot (7 - pH)] \approx 0.1 \cdot (7 - pH) \quad (\text{ec. 5})$$

El voltaje obtenido es en proporción al voltaje de la sonda en factores o escalas de 0.1 grados de pH. Sin embargo aun tenemos valores negativos para valores de pH por debajo de 7, debido a esto es necesario desplazar los voltajes al lado positivo para que esta pueda ingresar al conversor analógico-digital. De la ecuación 5 se aprecia que para obtener una salida positiva es necesario desplazar la señal al lado positivo, esto se logra el restar de 0.7 el resultado de la amplificación anterior mediante un amplificador operacional cuya configuración sea de restador con una referencia de 0.7 voltios. A continuación tenemos la representación de la operación matemática que realiza el circuito:

$$V \approx 0.7 - [0.1 \cdot (7 - pH)] = 0.7 - (0.7 - 0.1 \cdot pH) = 0.1 \cdot pH \quad (\text{ec. 6})$$

De esta manera la salida del pH está en proporción a 0.1 grados de pH solo con valores positivos y listo para la conversión de analógica a digital en el microcontrolador.

$$V = 0.1 \cdot pH \quad (\text{ec. 7})$$

Con esta amplificación tenemos 100mV por grado de pH como se muestra en la ecuación anterior, de ser necesario se puede amplificar aun más.

Ubicaremos una serie de dos filtros paso-bajo con una frecuencia de corte de aproximadamente 10Hz para eliminar el ruido y las interferencias para atenuar el ruido y que pueda ingresar al conversor analógico digital para su posterior tratamiento.

Para atenuar las señales se emplea filtros RC con una atenuación de 20dB/dec y no amerita un filtro activo debido a las características de la atenuación [25].

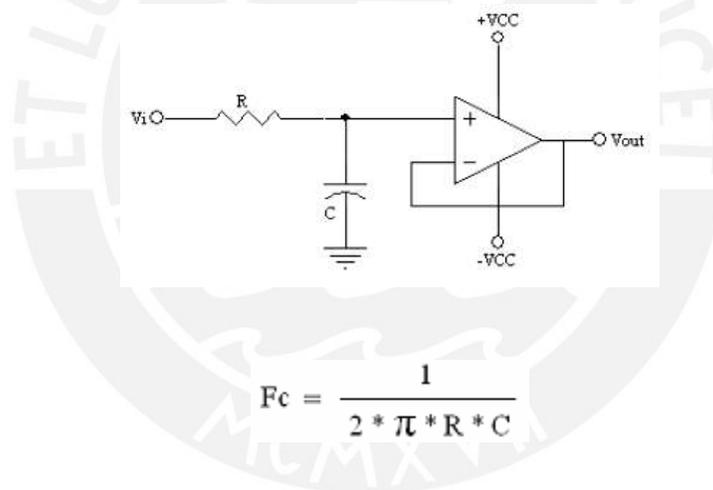


Figura 3. Filtro pasa bajos RC [25].

El amplificador operacional. Sirve de acoplador de impedancias entre la fuente de señal de entrada y la carga del filtro ya que posee alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida.

Descripción del circuito amplificador (véase anexo1):

La salida de la sonda va conectada al amplificador a través de un filtro paso bajo de 10Hz. Estos componentes y las pistas que los unen al primer amplificador y al conector de la sonda, constituyen una parte delicada del circuito por cuanto es susceptible a las ondas electromagnéticas, por lo que la longitud de las pistas debería reducirse al mínimo y estar lo más cercano posible al amplificador operacional [36]. Este primer amplificador operacional está configurado como un amplificador no inversor de muy alta impedancia de entrada y de ganancia ajustable entre 1.5 y 2.5 aproximadamente y deberá estar protegido con un blindaje para minimizar al máximo el ruido.

Se ha elegido este modelo de amplificador operacional LF356 y esta configuración debido a su gran impedancia de entrada, mayor que un Teraohmio. Los condensadores C2 y C3 que se aprecian son una protección contra ruido debido a la auto oscilación que se podría generar y es recomendada por el fabricante del circuito integrado LF356. Todo este bloque se ha blindado de interferencias mediante una cajita metálica conectada a masa.

El divisor de tensión formado por R3, R4 Y R8 (véase anexo1) constituye una referencia de tensión ajustable entre 405mV y 810mV. Puesto que la corriente que circula por él es mínima; la temperatura de las resistencias dependerá casi exclusivamente de la temperatura ambiente, y al tener coeficientes de temperatura iguales, su relación, y por tanto la referencia de tensión, se mantendrán estables.

Esta tensión de referencia se lleva a través del seguidor de tensión (IC2D) a la entrada positiva del restador (IC2A). La finalidad del seguidor de tensión es independizar la referencia de tensión del resto del circuito. A la entrada negativa del restador se aplica la salida del amplificador de entrada (IC1). Para

mantener la precisión de este restador es conveniente que las resistencias sean del 1% de precisión para óptimos resultados. La linealidad del circuito depende de la igualdad de estas resistencias.

La siguiente etapa es un filtro paso-bajo constituido por dos filtros RC con acoplamiento por amplificadores operacionales (IC2B e IC2C), con una frecuencia de corte de unos 10Hz, para eliminar el ruido acumulado en los pasos anteriores. En este punto tenemos una tensión que puede variar en el rango de 0V a 5000mV producto de una amplificación en el amplificador restador sin embargo en la práctica no tomamos como valor máximo 5000mV sino hasta 1000mV con una ganancia unitaria en el restador.

4.1.1.2 Diseño del circuito de adquisición de datos, control y operación. (Véase anexo 2)

El microcontrolador Atmega8L es el encargado de realizar la conversión en la etapa de amplificación correspondiente a la adquisición de datos proveniente de la sonda de pH, para ello es necesario seleccionar el voltaje de referencia para el conversor así como para el número de bits para la conversión.

Es necesario tener la mayor cantidad de bits disponibles para poder realizar operaciones matemáticas con la mayor exactitud posible; debido a esto es necesario elegir un número adecuado de bits para poder realizar cálculos de división, multiplicación, suma y resta. Al realizar las operaciones aritméticas se tomo en consideración trabajar con 16 bits puesto que podremos trabajar con números de 0 hasta 65535. Para números negativos se usa un registro que nos sirve de bandera para poder identificar si la operación resultante es negativa o positiva y de esta manera emplear los 16 bits disponibles. Al trabajar con tal

cantidad de números estos pueden representar un valor escalado en un factor 100:1 de manera que si representamos un número como por ejemplo 234 en realidad estamos representando 2,34 y así obtener números decimales, al decidir trabajar con tal cantidad de bits se optó por el conversor analógico-digital de 10 bits para tener la mayor resolución posible y que las operaciones reflejen los cálculos lo más cercano a la realidad

Por medio de la entrada analógica de 10bits de resolución, la señal de la sonda ingresa por el pin PC0 del microcontrolador del conversor analógico – digital; el conversor tiene como voltaje de referencia a 5 voltios proveniente de una fuente regulada mediante un integrado LM317 para garantizar la referencia y alimentación del microcontrolador y asegurar un adecuado nivel de cuantización y evitar errores de conversión. Además de contar con un condensador de desacoplo (C18) para el voltaje de referencia y minimizar el ruido presente proveniente de la fuente de alimentación [48].

Así mismo, en el microcontrolador hay 11 pines de salida encargados de la visualización en el display LCD de modo tal que 8 pines del puerto B (PB0 al PB7) están destinado para datos y tres pines (PD5, PD6, PD7) están destinados para enviar comandos al display LCD.

Hay dos pines para la conexión vía comunicación serial a la computadora, el PD0 para la recepción de datos y el pin PD1 para la transmisión de datos a la computadora, estos mediante el circuito integrado max232 encargado del envío de las señales. Esta unidad integrada está configurada según lo recomienda el fabricante [52].

Se tiene tres entradas conectadas a pulsadores en configuración pull – up para controlar el menú del sistema de control y visualización de los datos en donde se usan los pines PC5, PC4 y PC3 del microcontrolador.

Tenemos cinco salidas disponibles, estas están conformadas por los pines PD2, PD3, PD4, PC2 Y PC1 para el desarrollo de alguna aplicación futura.

4.1.1.3 Diseño de la fuente de alimentación (véase anexo 2)

La fuente de alimentación se trata de una fuente simétrica de +12 Voltios y -12 Voltios de poca potencia para alimentar los amplificadores operacionales y de + 5 voltios para la referencia de voltaje del conversor analógico - digital y alimentación de los demás circuitos.

En la fuente simétrica el semiciclo positivo de la tensión proporcionada por el alimentador externo de 12 Voltios corriente alterna se filtra por medio de unos diodos en un rectificador de media onda y mediante unos condensadores electrolíticos y de poliéster que están a la entrada del regulador. La salida de éste se vuelve a filtrar mediante unos condensadores para minimizar los efectos del ruido y rizados. El semiciclo negativo proporciona el voltaje negativo necesario del mismo modo que se obtuvo el voltaje positivo. Los reguladores de voltaje trabajan muy por debajo de su potencia máxima a pesar de esto es necesario usar disipadores de calor para todos los reguladores.

Para obtener las salidas de +12 voltios y -12 voltios se utilizaron los reguladores 7812 y 7912 respectivamente de este modo obtenemos voltajes de poca potencia para alimentar los amplificadores operacionales; una segunda fuente de +5V regulable manualmente mediante el integrado LM317 [54] y de más potencia para alimentar los circuitos. Sin embargo, esta es solo para regular el voltaje de salida a +5V. Esta segunda fuente independiente de la otra y es para evitar las perturbaciones provocadas por los demás circuitos integrados en lugar del típico 7805 debido a la poca exactitud que tenía el integrado al no asegurar un nivel de voltaje de salida estándar en todos los reguladores (porcentaje de error a la salida) [55].

El LM317 es un regulador ajustable que no requiere de muchos componentes adicionales, como resultado se obtiene una salida precisa regulada al voltaje deseado. El potenciómetro (R1) fija la tensión de salida y esta es filtrada por unos condensadores [54].

4.1.1.4 Diseño del módulo de salida

En el desarrollo de esta tesis no está previsto conectar dispositivos externos pero de ser necesario y se requiera conectar un dispositivo externo, se hará siempre a través de un opto acoplador con la finalidad de evitar el ruido proveniente de dispositivos externos. Para conectar unidades de corriente alterna se utilizara el opto acoplador MOC3022.

El opto acoplador se conecta a un triac Q6004L4 de hasta 4 amperios o un triac Q6008L5 de hasta 8 amperios el cual me permite conectarlo a un dispositivo externo y activarlo, de esta manera se puede activar cualquier actuador externo. Ambos triacs soportan una tensión superior a 220 VAC.

4.1.1.5 Tratamiento de ruido e interferencias externas

El circuito de amplificación del electrodo es muy sensible al ruido electromagnético, por ello es conveniente tener un blindaje para el amplificador LF356 además de tener la cara de las pistas lo más delgadas posible y cortas a fin de evitar interferencias externas y asegurar que se tenga abundante superficie para la tierra o referencia del circuito.

La caja en la que se va a ubicar el circuito es metálica, habrá que asegurarse de que quede conectada a la masa del circuito para que actúe como blindaje. Si debido a condiciones climáticas no es posible usar una caja metálica debido al desgaste del metal es recomendable utilizar una caja de plástico aunque a cambio es necesario añadir una placa que actúe como blindaje bajo la placa

principal que contiene el circuito. Para asegurar la conexión eléctrica entre la masa del circuito y esta placa, es necesario un tornillo de fijación situado lo más cercano al conector BNC para fijarla al fondo de la caja con la cara de cobre hacia abajo. Debe asegurarse el correcto blindaje contra interferencias de, al menos, la zona del circuito que contiene los amplificadores operacionales.

4.1.2 Programa principal y subrutinas. (Véase anexo 5)

4.1.2.1 Subrutinas de inicialización

Se encarga de configurar los puertos de entrada o salida del microcontrolador tanto para poder mandar un mensaje al display LCD, leer las entradas de los pulsadores para ello es necesario configurar los pulsadores con resistencias pull - up, además de las salidas de control necesarias.

También nos permite configurar el conversor analógico – digital del Atmega8L para que trabaje con una señal de voltaje de referencia externa de 5 voltios con 10 bits de resolución, configuramos también el puerto de transmisión serial para transmitir información hacia la computadora y poder visualizar los datos en la pantalla de la computadora personal

4.1.2.2 Subrutina de toma de datos

Debido a que se definió tener una resolución de centésimas para el medidor de pH y de acuerdo al amplificador se obtuvo que cada 10mV de variación, la escala referente al pH se incrementa en 0.01 unidades de pH, por ello es necesario asegurar un adecuado nivel de cuantización y obtener una resolución para el conversor menor a 10mV. Al contar con una fuente y basándonos en la precisión que esta proporciona seleccionamos el voltaje de 5 voltios como referencia para el conversor analógico – digital por lo tanto si se requiere una

resolución menor a 10mV será necesario tener al menos 9 bits de resolución en el conversor, además se sabe que con 10 bits de resolución se obtiene un voltaje cercano a 4.88mV por lo tanto suficiente para esto.

Si V_{ref} es de 5 Vdc y con $n=10$ bits de resolución se tiene:

$$LSB = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \quad (\text{ec. 8})$$

$$LSB = 0.00488 \text{ mV}$$

Con este valor aseguramos que los niveles de cuantización en el conversor analógico – digital sean menores a las variaciones de los niveles de voltaje de la sonda de pH.

Esta subrutina nos permite leer los datos del registro ADCL y ADCH del conversor analógico – digital (ambos forman una palabra de 10 bits) para luego ser utilizados por las subrutinas encargadas del procesamiento del dato. Para poder usar el conversor analógico-digital del microcontrolador (conversor basado en el modelo de aproximaciones sucesivas) es necesario seleccionar el modo de funcionamiento del mismo puesto que esta puede ser configurada para convertir datos sucesivamente o sólo cuando se le es solicitado (simple conversión), además de seleccionar el tiempo de conversión mediante un registro de configuración.

Una conversión simple empieza cuando se escribe un uno lógico al bit de Start Conversión del ADC (ADSC) este bit permanece en alto mientras la conversión está en progreso y será puesta a cero por hardware cuando la conversión esté completa. Por defecto el circuito de aproximaciones sucesivas requiere una

frecuencia de reloj de 50 Khz. y 200Khz para obtener la máxima resolución si se trabaja a más de 8 bits. Si se necesita una resolución menor de 10 bits la frecuencia de entrada del reloj del ADC puede ser mayor a 200Khz.

El módulo del ADC contiene un pre-escalador el cual genera una frecuencia de reloj de trabajo adecuada para la conversión de los datos.

Cuando inicializamos una conversión simple activando el bit ADSC en el registro ADCSRA la conversión comienza en el siguiente flanco de subida del ciclo del reloj del ADC. Una conversión normal toma 13 ciclos de reloj del ADC. Sin embargo, la primera conversión después de haber activado el ADC (ADEN esté activo) le tomará 25 ciclos de reloj para inicializar el circuito del reloj [48].

El circuito encargado de muestrear la señal (Sample and Hold) dura 1.5 ciclos de reloj del ADC después de comenzar una conversión normal (figura 5) y 13.5 ciclos de reloj del ADC después de empezar la primera conversión (figura 4).

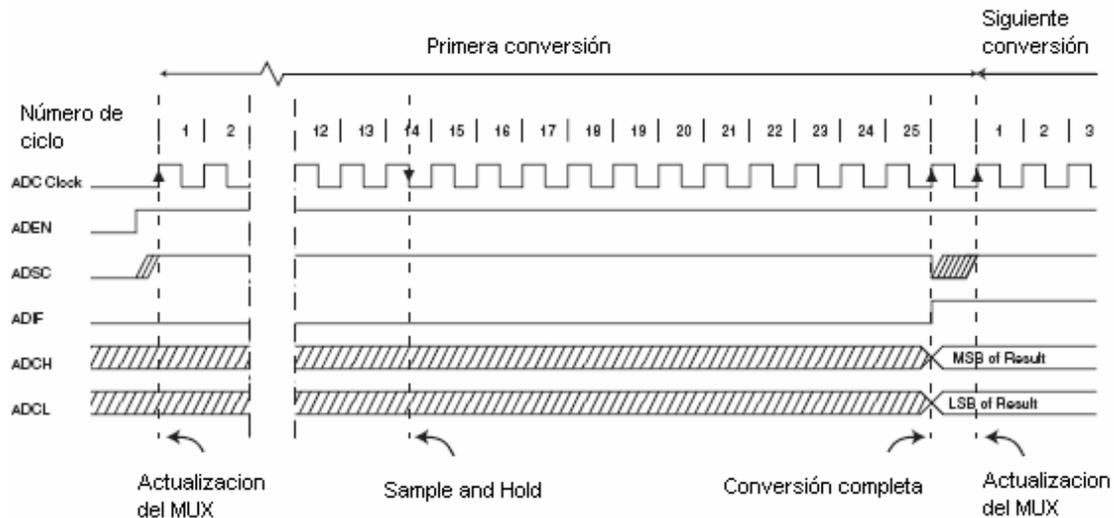


Figura 4. Diagrama de tiempo del conversor analógico-digital cuando se efectúa la primera conversión [48].

Ciclos que se demora el conversor cuando ya ocurrió la primera conversión.

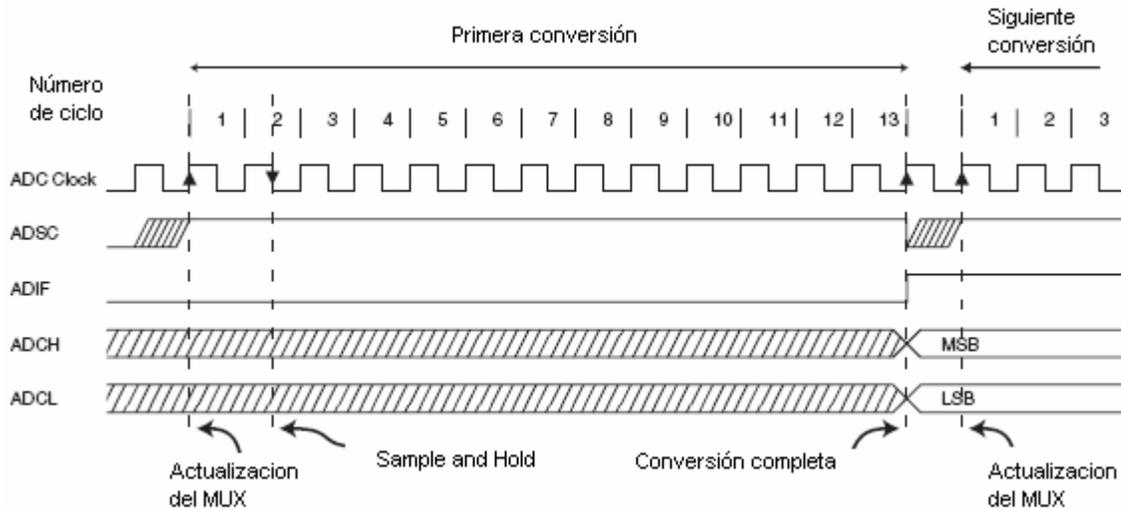


Figura 5. Diagrama de tiempo del conversor analógico-digital cuando ya ocurrió la primera conversión [48].

El pre-escalador del reloj del ADC está fijado a una frecuencia de 31.25Khz para garantizar la conversión. En la hoja técnica se sugiere una frecuencia baja cuando se trabaje con 10 bits para la conversión de datos y propone el rango de frecuencias de entre 50 Khz. y 200 Khz [48]. En la configuración del reloj del conversor se puede elegir una frecuencia de entre 7.8125Khz a 500Khz cuando la frecuencia del oscilador del microcontrolador es de 1Mhz. A la frecuencia fijada de 31.25Khz cuando se realice la primera conversión se tardará 0.8ms y en las posteriores conversiones sólo 0.416ms, de cuerdo a esto el periodo mínimo de toma de datos debe ser mayor a 0.8ms. Sin embargo, el algoritmo del programa principal del microcontrolador es mayor a este valor entre cada conversión.

Al momento de realizar una toma de datos es necesario activar el bit ADSC para iniciar la conversión en el registro ADCSRA, sin antes haber activado el habilitador ADEN (habilitador del conversor) en el mismo registro; una vez que se inicia la conversión esta demora 31,25 KHz debido a que ésta se configuró en el registro ADCSRA con los bits del ADMUX. Se lee el bit ADIF para preguntar si se termino la conversión del dato, una vez que el dato es leído y se haya terminado con la conversión es necesario desactivar el bit ADIF para

poder iniciar otra conversión de datos y repetir el proceso. El dato leído del ADC se almacena en los registros de la memoria RAM del microcontrolador y mediante 2 pasos es leído, primero se lee el registro ADCL y luego el registro ADCH de tal forma que no se pierda la información tomada con el conversor.

4.1.2.3 Subrutina de compensación de temperatura

Esta subrutina (figura 6) se encarga de compensar el efecto de la temperatura en los buffer patrón o muestras de pH con las que se realiza la calibración del instrumento. Este efecto se logra al variar la pendiente al momento del escalamiento para obtener el valor del pH cuando se tiene un dato proveniente del conversor analógico-digital, de modo tal que para cada cierto grado de temperatura los valores de pH = 4 y pH = 7 son ajustados a los valores mostrados en los buffer a la temperatura en la que se está realizando la calibración. La tabla 7 muestra los diferentes valores que puede tomar la muestra patrón de pH a diferentes temperaturas.

Temperatura		Valores de pH		
°C	°F	4.01	7.01	10.01
0	32	4.01	7.13	10.32
5	41	4.00	7.10	10.24
10	50	4.00	7.07	10.18
15	59	4.00	7.04	10.12
20	68	4.00	7.03	10.06
25	77	4.01	7.01	10.01
30	86	4.02	7.00	9.96
35	95	4.03	6.99	9.92
40	104	4.04	6.98	9.88
45	113	4.05	6.98	9.85
50	122	4.06	6.98	9.82
55	131	4.07	6.98	9.79
60	140	4.09	6.98	9.77
65	149	4.11	6.98	9.76

Tabla 7. Valores de pH para diferentes temperaturas de calibración del reactivo [35].

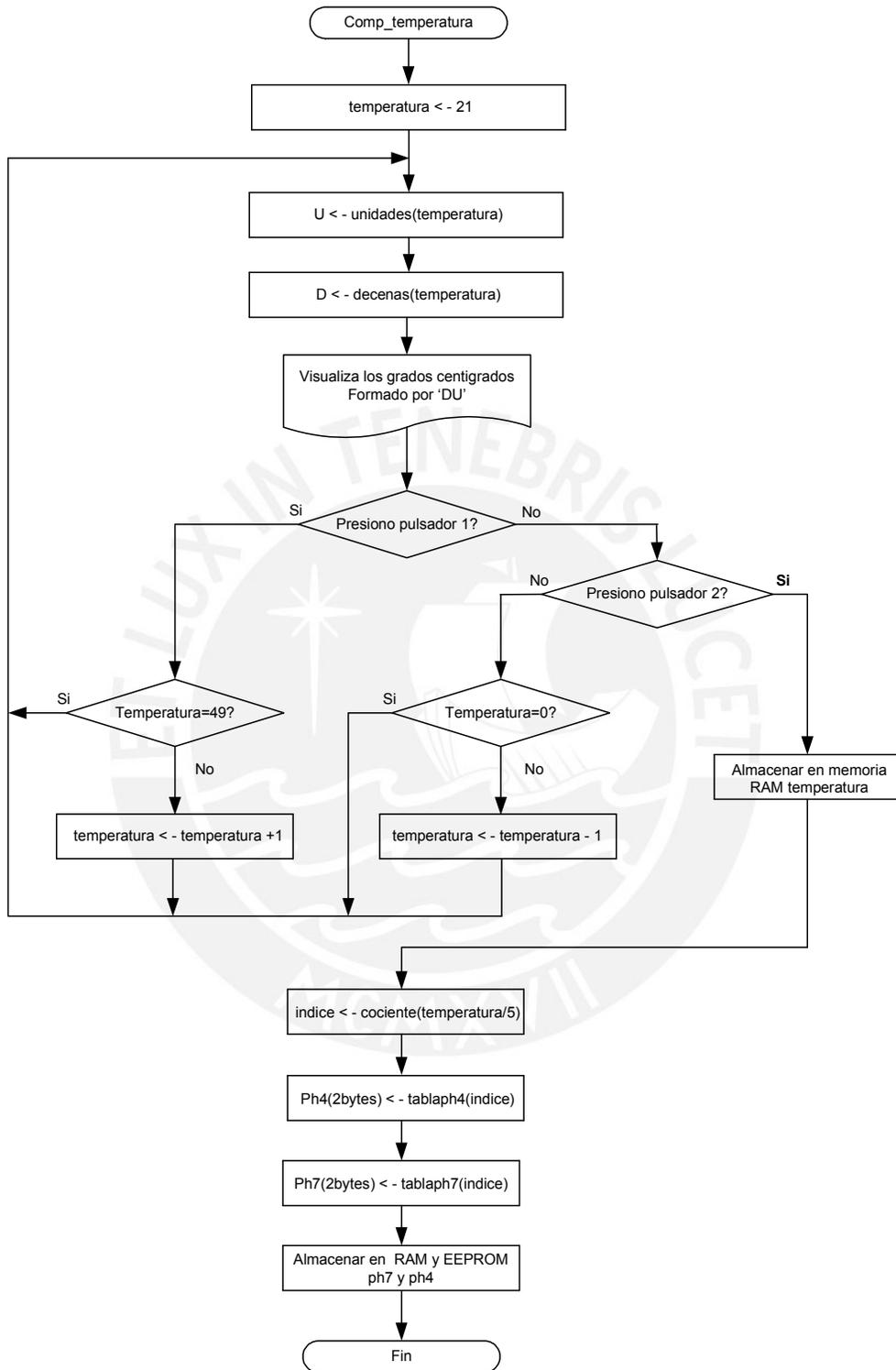


Figura 6, Subrutina que compensa el efecto de la temperatura al calibrar con muestras buffer.

La subrutina de compensación de temperatura muestra un mensaje de modo que pide que el usuario ingrese la temperatura a la cual se encuentra la muestra del buffer; una vez ingresado el valor, esta en función de la temperatura busca de la tabla almacenada en la memoria FLASH del microcontrolador el valor del pH = 4 y pH = 7 para tomarlos como referencia para la calibración y los almacena en la memoria RAM para usarlo por las subrutinas que se encargan del escalamiento del dato y en la memoria EEPROM para posteriores usos.

4.1.2.4 Subrutina de calibración

Como se menciona en líneas anteriores el electrodo de pH es susceptible al tiempo y la medida depende de la temperatura del buffer, es por ello que es necesario realizar calibraciones periódicas de acuerdo al tiempo de uso de ésta. El electrodo proporciona un nivel de voltaje de acuerdo a la ecuación de Nernst, sin embargo el tiempo y uso influyen a que el voltaje proporcionado no sea el mismo a lo largo de toda su vida útil pero sí la proporción respecto al pH medido es decir siempre va a haber una cantidad de tensión cercana a los 60 mV para cada cambio de pH. Para realizar la calibración en realidad se está haciendo un escalamiento de la entrada proporcionada por el electrodo en un nivel cuantizado codificado de modo que se tenga como salida el nivel de pH como se observa en la figura 7, Así también, la compensación de la temperatura.

La salida escalada representa el pH con centésimas de precisión de modo que esta usa una escala de 100/1 de manera que si se mide un pH de 4,34 se obtiene el dato a la salida del escalamiento de 434 decimal, por ello la necesidad de trabajar con 2 bytes para definir el número entero aunque sólo se utilicen 10 bits para un rango de pH de 0 a 9.99 (0 a 999 en decimal) y no los 16 bits existentes (figura 7).

Cuando se realiza el escalamiento de definen los parámetros de la recta que proporciona el valor de pH, estos parámetros son:

$$Y = m * X + b \quad (\text{ec. 9})$$

- m: pendiente de la recta.
- X: parámetro de entrada.
- b: término independiente.
- Y : parámetro de salida (pH)

Existen subrutinas que se encargan de calcular la pendiente y el término independiente y el valor del pH para poder realizar la linealización.

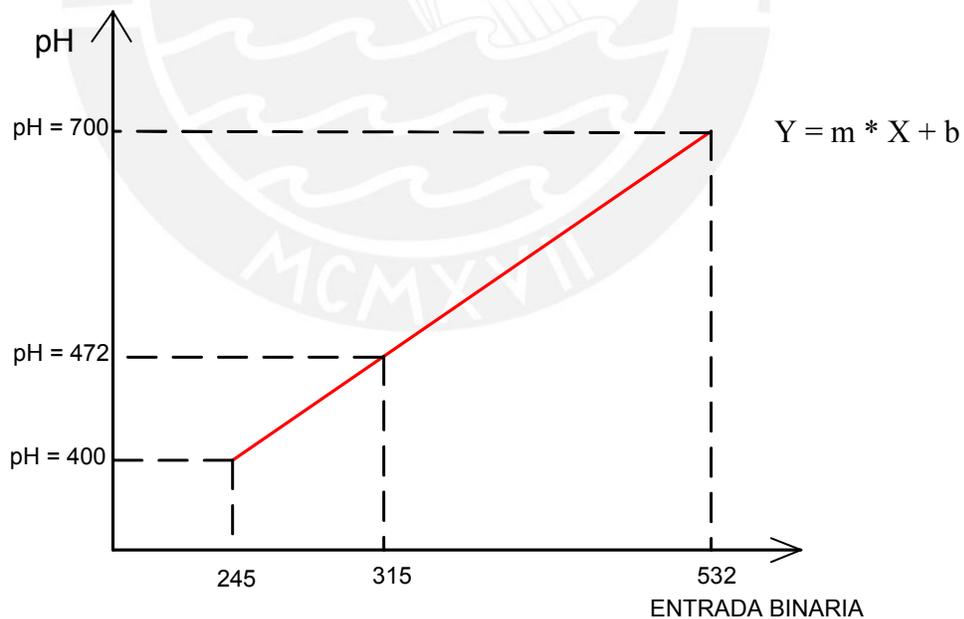


Figura 7, Recta que muestra el escalamiento de la entrada.

La subrutina encargada de realizar el cálculo de la pendiente (figura 8) toma dos puntos conocidos leídos de la memoria EEPROM y pasados a la memoria RAM provenientes de la subrutina que realiza la compensación de la temperatura, cada punto representa un nivel de pH establecido por la tabla almacenada en la memoria FLASH (Ph=4 y pH=7) y dos puntos obtenidos por el conversor analógico – digital. De este modo se restan los valores de pH y los valores del dato correspondiente a la entrada binaria (producto de la conversión de la señal proveniente del electrodo) y se dividen.

De esta forma al tomar datos del conversor analógico-digital solo dependen del nivel de tensión proporcionado mas no de la sonda ni de los efectos de la temperatura.

$$m = \frac{\text{diferencia de los valores de pH7 y pH4}}{\text{diferencia de los datos tomados por el conversor}} = \frac{700 - 400}{532 - 245}$$

Al momento de proceder al cálculo la pendiente obtenida es expresada en una escala de 100/1 por lo que resulta más fácil trabajar en esta escala para poder obtener las centésimas de precisión deseadas al momento de hacer los cálculos esto se realiza al tomar como la diferencia de medidas de pH (pH=7 – pH=400 es decir 700 - 400) no aproximadamente en 300 (este valor varia en función de la temperatura a la que ha sido calibrada) sino a una escala mayor de 30000 con lo que el resultado obtenido es el deseado a una escala de 100/1 como se mencionó en líneas anteriores. El diagrama de flujo del cálculo de la pendiente se muestra en la figura 8.

Las soluciones o muestras a calibrar pertenecen a este rango debido a que las aguas a medir son ligeramente ácidas por lo cual se recomienda la calibración

con muestras de $\text{pH} = 4$ y $\text{pH} = 7$, por el contrario si fueran básicas las muestras a medir, se recomienda calibrar con soluciones de $\text{pH} = 7$ y $\text{pH} = 10$; sin embargo, éste no es el caso [35].

En necesario contar con ciertas soluciones para poder realizar el proceso de medición y mantener en buen estado el electrodo:

Soluciones buffer de pH estándar [35].

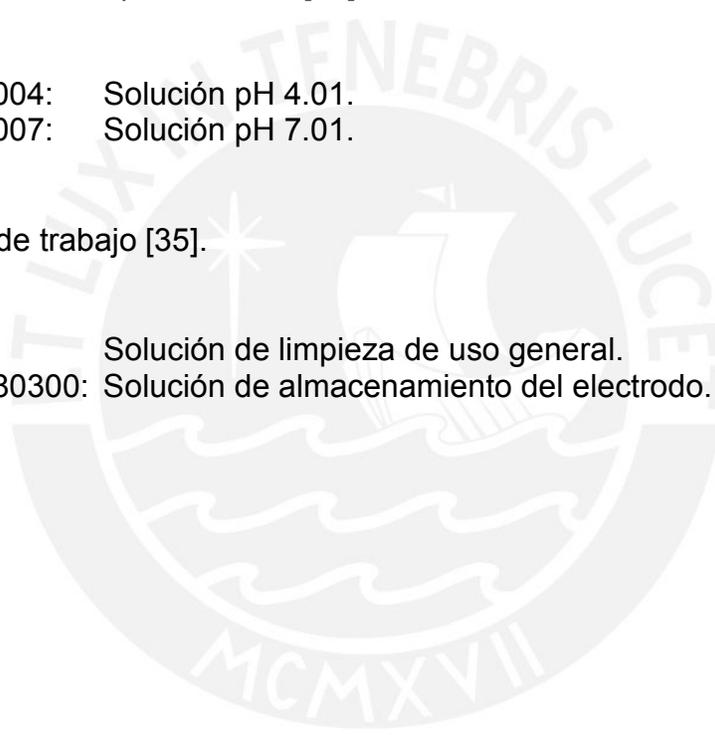
HI7004, HI8004: Solución pH 4.01.

HI7007, HI8007: Solución pH 7.01.

Soluciones de trabajo [35].

HI7061: Solución de limpieza de uso general.

HI70300, HI80300: Solución de almacenamiento del electrodo.



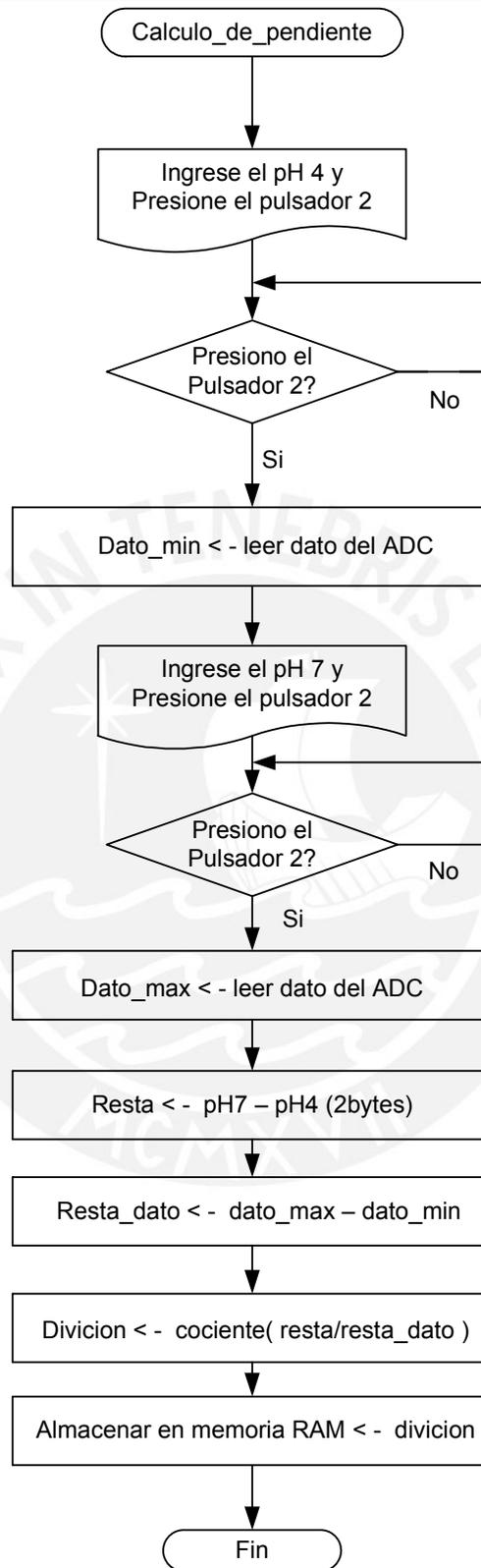


Figura 8. Subrutina que calcula la pendiente de la recta.

Para realizar el cálculo del término independiente 'b' (figura 9) el cual permite el desplazamiento de la recta sobre el eje que representa el pH es necesario resolver la siguiente operación.

$$b = Y - (m * X)$$

Sin embargo es necesario realizar una serie de pasos para poder obtener un resultado sin pérdida de información al sólo trabajar con 2 bytes para las operaciones matemáticas. De este modo el cálculo de este parámetro viene dada por las siguientes operaciones:

Se divide el dato obtenido por el conversor analógico – digital entre 2 con la finalidad de introducir el menor error posible en la operación al ser este un número grande en comparación con la pendiente y luego se multiplican ambos para poder realizar la operación y estar dentro de los 2 bytes disponibles para los cálculos, de este forma tenemos hasta un máximo de 65536 con lo cual podemos tener una pendiente de 0 a 127 (1,27 de pendiente) con una entrada máxima de 1024 como dato proveniente del conversor y no exceder los 2 bytes disponibles. Una vez realizada la operación anterior el número se divide entre 100 para poder tener un número real producto de la multiplicación de la pendiente que estaba a una escala mayor y por último se multiplica por dos puesto que previamente se dividió entre 2 para poder trabajar con 16 bits, esta serie de pasos de división entre 100 y multiplicación por 2 se realizó con la finalidad de poder tener un ajuste preciso si es que fuese necesario para las operaciones de la variable temporal puesto que nos permite variar el divisor de 100 a 99 en una unidad; por ello si al realizar la división entre 50 sólo se podría realizar el ajuste a 49 o 48 de modo que el ajuste es menos preciso ya que es el doble que el de realizarlo con el paso anterior, los pasos descritos antes se observan en la siguiente fórmula.

$$\text{Temporal} = m * X$$

$$\text{Temporal} = \frac{\left(\frac{\text{Dato ADC}}{2}\right) * \text{Pendiente}}{100} * 2$$

Donde: X representa el Dato ADC.

Al tener el resultado de la multiplicación de la pendiente por el valor del conversor analógico – digital solo falta restar este valor con la salida conocida de pH para obtener el término independiente 'b'.

$$b = Y - (m * X)$$

En la subrutina los parámetros hallados son almacenados en la memoria EEPROM para su posterior uso; diagrama de flujo del subprograma que se encarga del cálculo del término independiente se muestra en la figura 9.

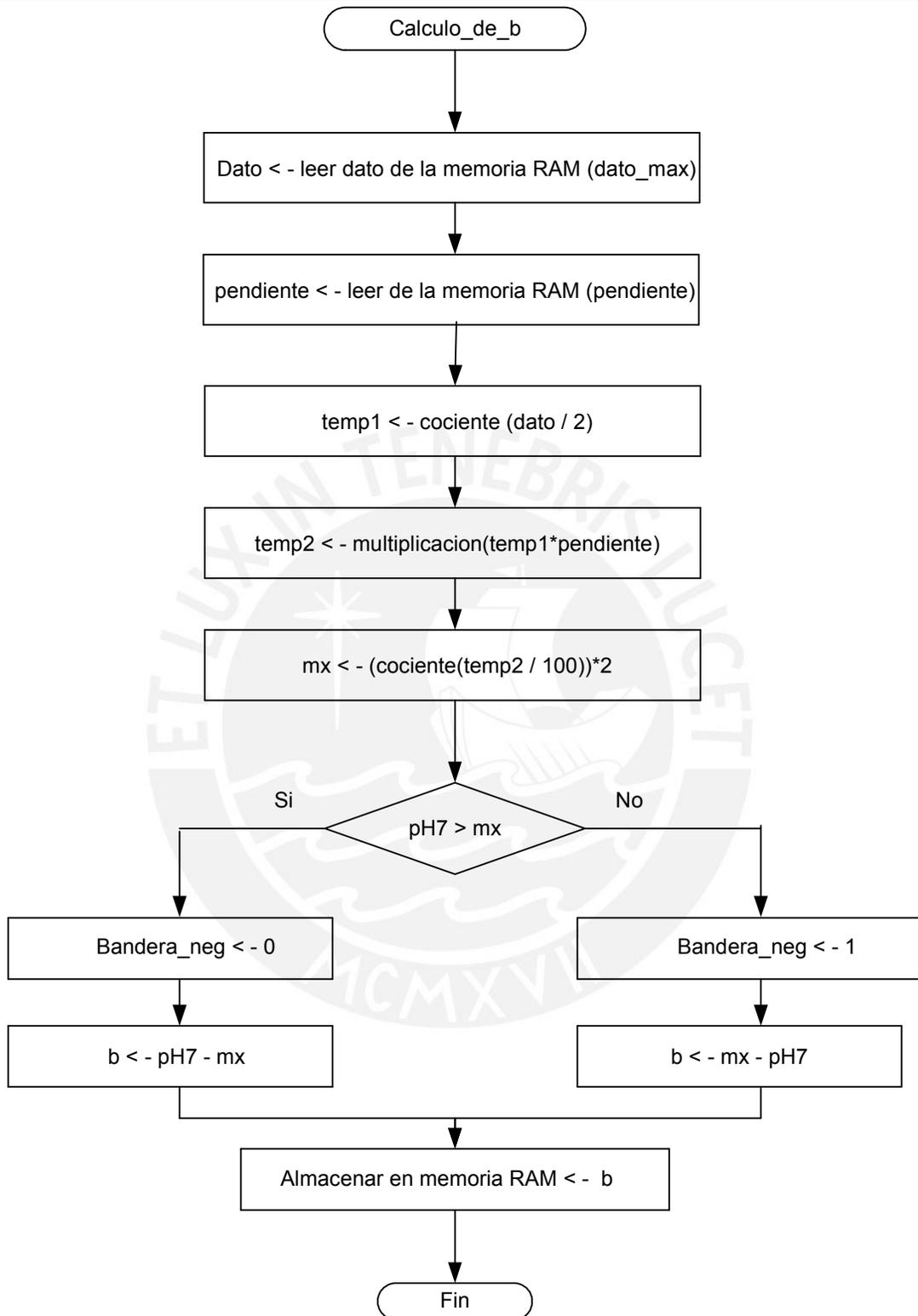


Figura 9, Subrutina que calcula el término independiente de la recta a calcular.

4.1.2.5 Subrutina que calcula el valor de pH medido

Debido a que los parámetros de pendiente y desplazamiento ya están calculados y almacenados en la memoria EEPROM del microcontrolador sólo es necesario recuperarlas una vez y luego mantenerlas en la memoria RAM. Con estos parámetros se procede a realizar las operaciones pertinentes y ya conocidas como son el obtener la multiplicación de la pendiente con el dato de entrada y la posterior suma con el termino independiente para obtener la salida de pH de manera similar a como ya se mencionó antes. En la figura 10 se puede apreciar el diagrama de flujo del subprograma que se encarga de este proceso.

4.1.2.6 Subrutina de visualización en un display LCD

Una vez inicializada la configuración y las rutinas necesarias para manipular la pantalla LCD se procede a recuperar de la memoria FLASH los mensajes de visualización para luego ser llamadas en el orden en las que se los requiera.

De este modo se tienen dos máscaras principales en la que en la primera se muestra la medición del pH y la opción para pasar al modo de 'control' y en la segunda se muestran los datos de los rangos mínimo y máximo permitidos de pH, la medida actual y el error respecto al rango establecido.

Existen máscaras secundarias en las que se muestran mensajes de saludo, la compensación de la temperatura, pasos a seguir para la calibración del equipo y para establecer el rango máximo y mínimo de pH.

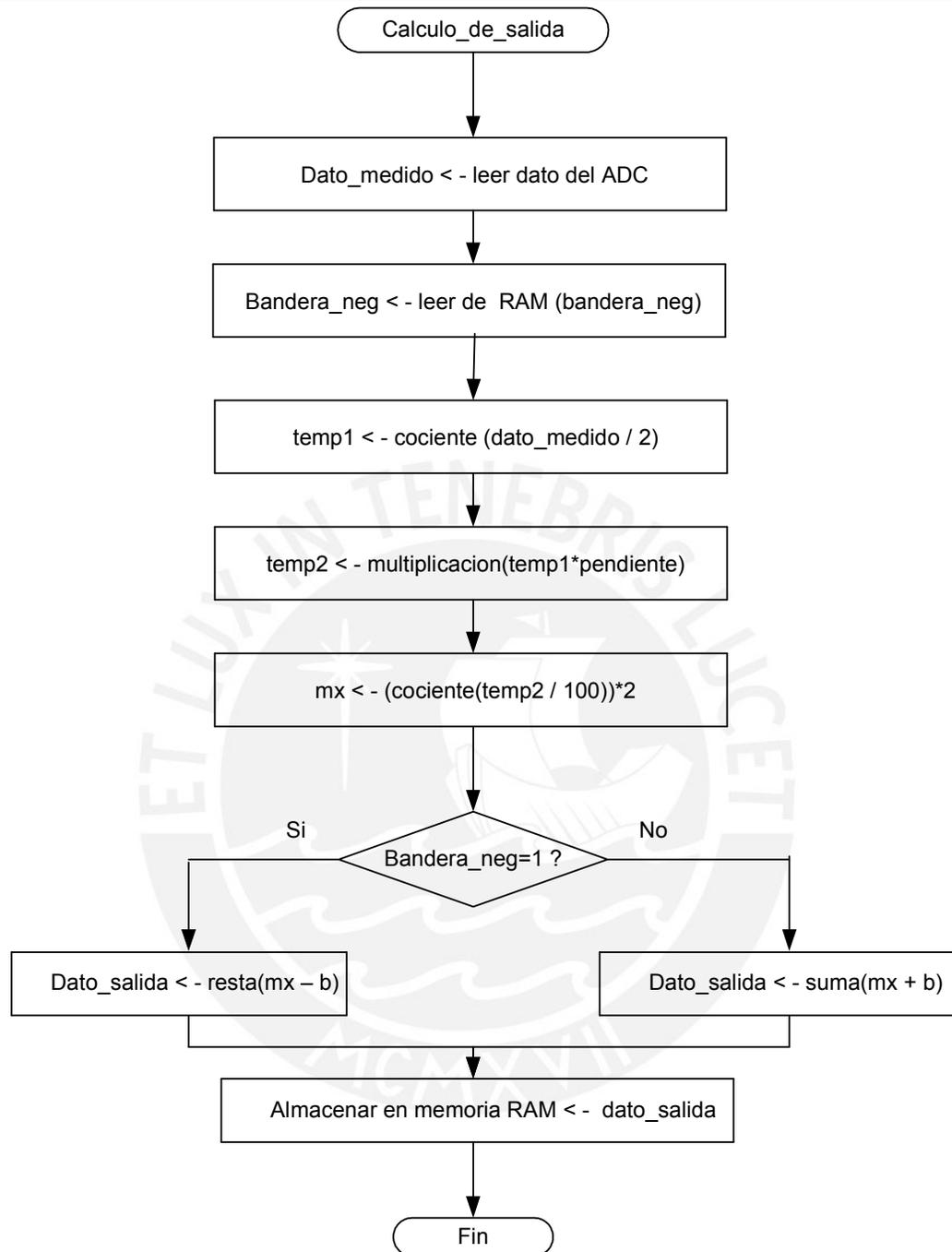


Figura 10, Subrutina que calcula el valor del pH

4.1.2.7 Subprograma que calcula la salida de control

Este subprograma es un módulo que se encarga de realizar el control del pH. El algoritmo analiza el error presente en las mediciones y en base a ellas envía una señal al puerto de salida cuando se está fuera del rango programado por el usuario y ésta se puede conectar a un dispositivo externo mediante un optoacoplador para poder activar una alarma.

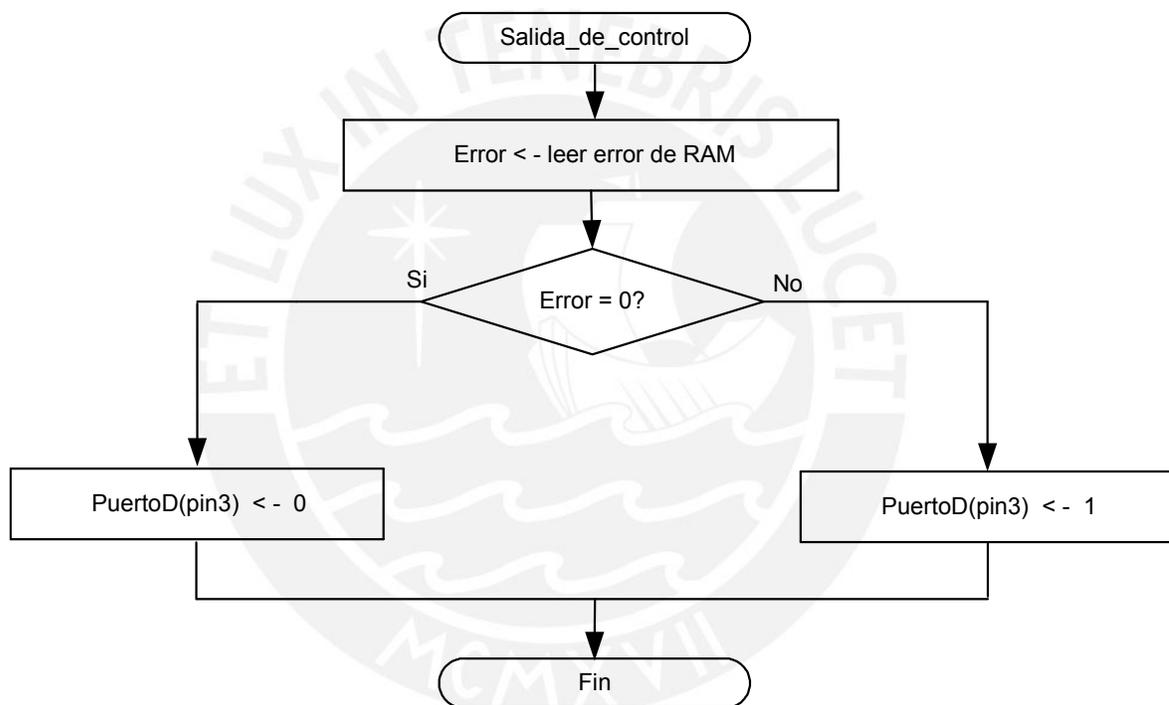


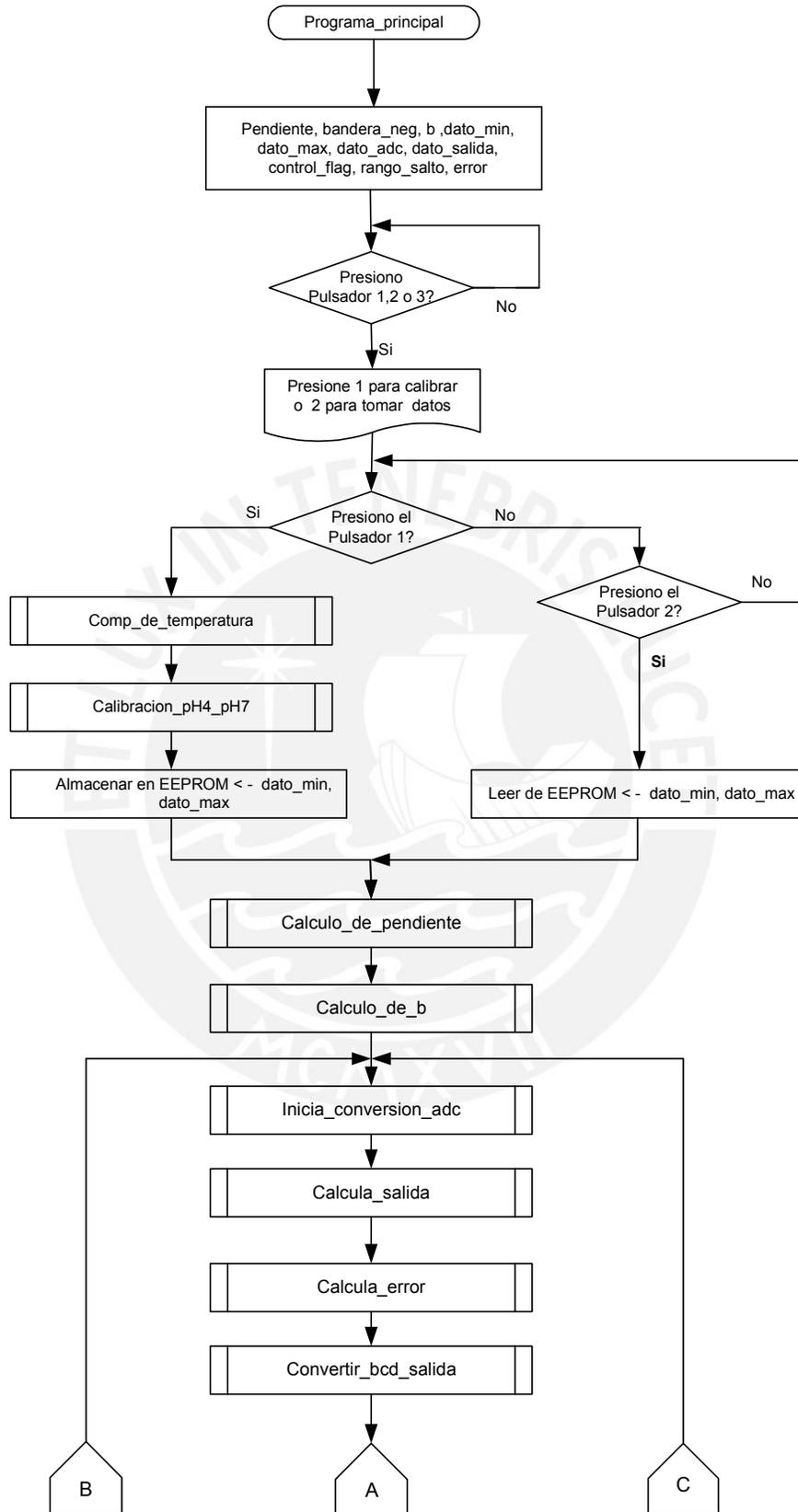
Figura 11, Subrutina de salida de control

4.1.2.8 Programa principal

El encargado de gestionar y organizar todos los subprogramas principales y secundarios es éste programa (Figura 12); consiste en una serie de etapas que explicaremos a continuación.

El programa comienza inicializando los puertos de entrada y salida, el conversor análogo – digital y la comunicación serial. Una vez realizada esta tarea el programa pregunta por sí el usuario desea calibrar el equipo y si fuese así se visualizan una serie de máscaras en el lcd haciendo la petición para que se ingrese la temperatura del buffer a calibrar y luego que se muestra otra máscara en la que se pide al usuario la toma de las muestras patrón de pH= 4 y pH= 7 para luego ser almacenadas en la memoria EEPROM para su posterior uso, inmediatamente después se calculan los parámetros de la pendiente y desplazamiento para el proceso de escalamiento, tomar un dato del conversor analógico - digital y obtener el valor de pH medido; con la máscara en pantalla mostrando el valor leído se muestra un mensaje preguntando si se desea realizar la supervisión del sistema, al entrar en ésta etapa se piden los rangos máximos y mínimos los cuales serán usados para poder establecer los niveles de error. Y una vez que se completan los datos de los rangos necesarios se visualiza en la máscara los rangos de funcionamiento almacenados previamente en la memoria EEPROM, la lectura de pH y el error actual; así mismo se envía vía el puerto serial las medidas de pH tomadas para poder ser visualizadas en la computadora personal y observar las tomas en el tiempo y ver las variaciones ocurridas.

En la Figura 12 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al programa principal.



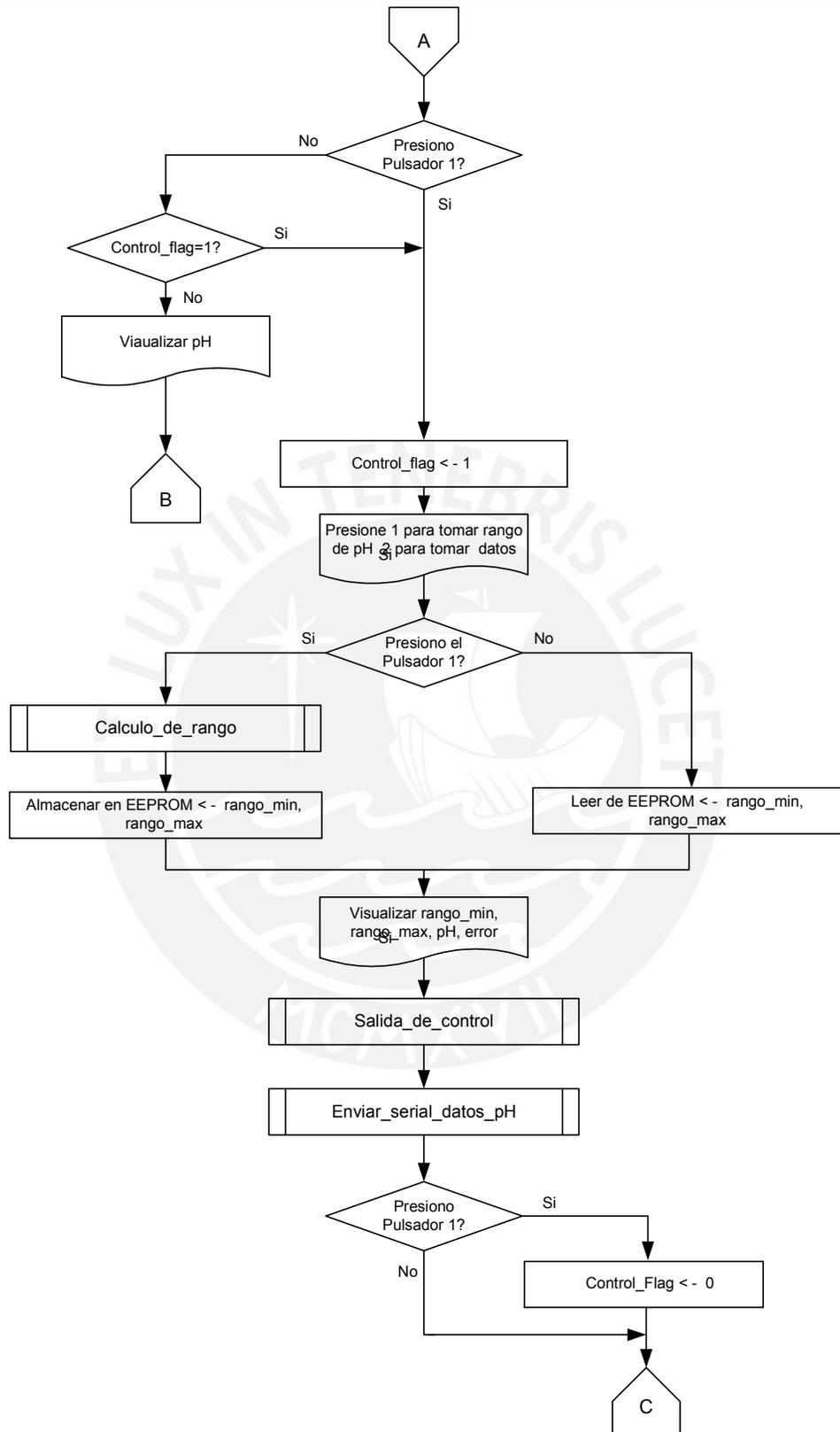


Figura 12, Programa Principal

También es necesario mencionar otras subrutinas en el programa principal que son importantes al momento del proceso de medición. Una de ellas es la subrutina que permite ingresar el rango de trabajo del pH como se aprecia en la figura 13.

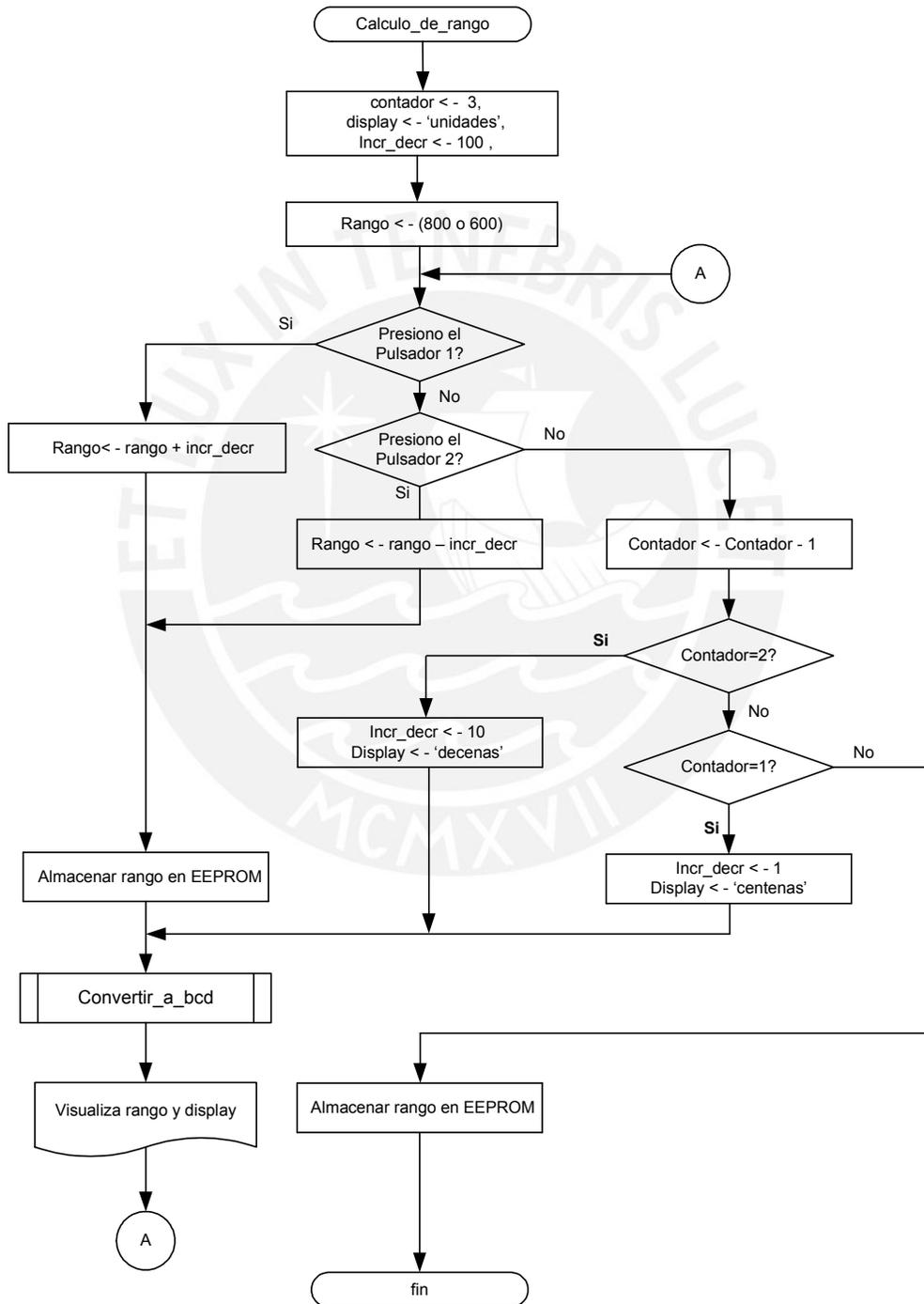


Figura 13, Subrutina que calcula en rango de valores de pH

Esta subrutina recibe el valor del rango inicial y en base a ese número que puede ser de 800 o 600 que representa al pH=8.00 o pH=6.00 (se ingresa en el programa principal al momento de realizar el proceso de descarga del programa al controlador ATMEGA8L) realiza la actualización del nuevo número o rango de trabajo. Además, de tener la dirección de la memoria EEPROM lista para almacenar el rango deseado, esta subrutina se llama 2 veces, una para el rango mínimo y el otro para el máximo. En el programa principal también se hace referencia al cálculo del error respecto al rango establecido por el usuario. En la figura 14 se muestra el diagrama de flujo de ésta.

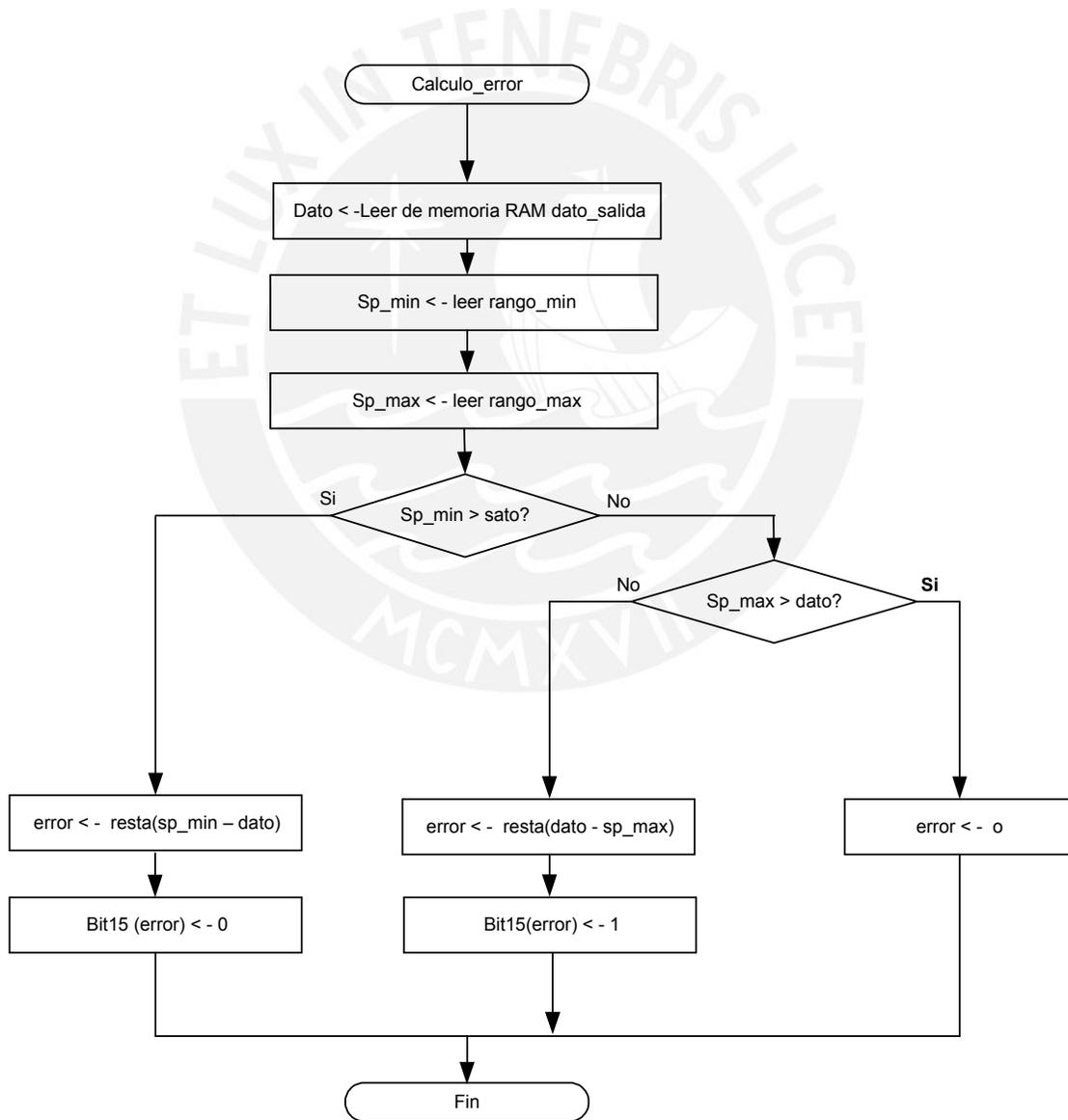


Figura 14, Subrutina que calcula el error respecto a la entrada medida y el rango de pH establecido

4.1.2.9 Programa de visualización en LabVIEW

(Véase anexo 3 y 4)

El programa escrito nos permite recibir los datos de pH enviados por nuestra tarjeta de adquisición, ésta transmisión se realiza en grupos de 4 bytes para poder recibir los caracteres en código ASCII a 4800 bps o baudios, un bit de parada y paridad par, de modo tal que cuando los datos son recibidos forman un número decimal con centésimas de aproximación. Cuando se tiene el número formado este se analiza y se verifica que pertenezca al rango de pH establecido de manera tal que si se pierden datos recibidos o incorrectos estos no ingresen a ser visualizados en pantalla y además se muestra una advertencia visual al momento de recibir un dato que no corresponde, por último se visualiza en la pantalla de la computadora personal en una curva en el tiempo.

El programa escrito está realizado en la versión 7.0 por lo tanto es necesario abrirlo en una versión igual o superior además de contar con la librería NI-VISA para poder usar el puerto serial de la computadora.

4.1.3 Características eléctricas frente a condiciones Climáticas

Todos los circuitos integrados comprenden un amplio nivel de funcionamiento frente a la temperatura como se puede observar en la tabla 8.

Circuito integrado	CARACTERISTICAS	
	Temperatura de almacenamiento	Temperatura de ambiente TA
LF356	-65°C a 150°C	0°C a 70°C
TL084	-40°C a 125°C	0°C a 70°C
ATMEGA8L	-55°C a 125°C	-55°C a 125°C
MOC3020	-40°C a 150°C	-40°C a 100°C
LM317	-65°C a 125°C	0°C a 125°C
Q6004L3	-65°C a 150°C	-65°C a 125°C

Tabla 8. Rango de temperatura de funcionamiento de los integrados del equipo de medida.

El instrumento de medición será utilizado en el departamento de Junín en la provincia de Huancayo en Concepción a 3,245 m.s.n.m. donde la temperatura promedio es de 12.5°C (véase capítulo 1) y este no excede el rango de funcionamiento.

4.1.4 Selección del electrodo empleado

El electrodo empleado es el HI 1230B de Hanna, electrodo de combinación de pH de uso general y laboratorio, de doble unión de cerámica rellena de gel con cuerpo de plástico en el rango de 0 a 13 para medir el pH, rango de funcionamiento de 0 a 80 °C. 12 mm. de diámetro y 120 mm. de longitud. De uso con conector BNC y cable coaxial. El electrodo HI 1332B es recargable con la mismas características que el electrodo HI 1230B de uso en acuarios [37] sin embargo las pruebas realizadas se usó el electrodo HI 1230B.

Las características de estos electrodos se muestran en la tabla 9 (electrodo HI 1230B [39] y electrodo HI 1332B [40]).

Especificaciones	HI 1230B	HI 1332B
Referencia	Doble, Ag/AgCl.	Doble, Ag/AgCl
Juntura	Cerámica simple	Cerámica simple
Electrolito	Gel	KCl, 3.5M
Máx. Presión	2 bar.	0.1 bar.
Rango de pH	0 a 13	0 a 13
Rango de temperatura	0 a 80°C	0 a 80°C
Forma de la punta	Esférica (D=7.5mm.)	Esférica (D=7.5mm.)
Sensor de temperatura	No	No
Amplificador	No	No
Material del cuerpo	PEI® (plástico)	PEI® (plástico)
Cable	Coaxial, 1m.	Coaxial, 1m.

Tabla 9. Comparación de los electrodos HI 1230B [39] y el electrodo HI 1332B [40].

Ambos electrodos tienen características muy similares por lo que el trabajar con alguno de ellos resultaría lo mismo para efectos del desarrollo del prototipo.

4.2 Resultados

4.2.1 Correspondencia del escalamiento y el pH

Para obtener el valor de pH se realizó el escalamiento para una entrada analógica, el cálculo de la pendiente y el desplazamiento ya se mencionaron y las operaciones realizadas fueron con dos bytes para poder realizar los cálculos. El resultado de este escalamiento es un valor de 200 a 999 de manera tal que el número 200 corresponde a 2.00 y el número 999 corresponde a 9.99, este rango está definido para establecer el rango de funcionamiento del conversor solo para tener límites y establecer los máximos.

Para obtener el número que representa el valor del pH se realizaron pasos u operaciones intermedias para los cálculos; estos cálculos no influyeron significativamente en el valor del escalamiento debido a que se realizaron operaciones con los números que representan en módulo el valor más alto de manera que la aproximación fuera la más exacta. La tabla 8 muestra el

resultado real con centésimas de aproximación y el valor obtenido producto del escalamiento en el microcontrolador.

Los resultados mostrados se obtuvieron al tomar para la calibración los valores siguientes a una temperatura de aproximadamente 21°C.

Con pH = 7.01 se tiene a la entrada del conversor 3.2 Voltios

Con pH = 4.01 se tiene a la entrada del conversor 1.6 Voltios

Con lo cual los valores teóricos para la pendiente (m) y el desplazamiento (b) son:

$$m = 0.916422287$$

$$b=100$$

La tabla 10 muestra el valor del voltaje leído por el conversor analógico – digital y los datos calculados con una hoja de cálculo para la pendiente, el desplazamiento y el dato codificado obtenido del conversor correspondiente a la entrada expresado en base decimal.

	Voltios	Dato en decimal	Dato en bits
pH = 7	3.20	655	1010001111
pH = 4	1.60	327	101000111
Pendiente	0.916422287		
b (offset)	100		

Tabla 10. Resultados teóricos obtenidos de la calibración con pH=4 y pH=7 cuando el voltaje de entrada al conversor es alto.

La tabla 11 muestra la entrada en voltios al conversor A/D, el dato generado por el conversor del microcontrolador en base decimal y mediante la pendiente y desplazamiento se obtiene el valor de pH teórico escalado utilizando una hoja de cálculo; también el valor del pH medido utilizando la tarjeta de adquisición elaborada y las subrutinas que calculan la pendiente y el desplazamiento, la diferencia del valor teórico con el real y el pH mostrado en la pantalla de equipo

de medición a escala real, esta diferencia nos permite comparar el grado de desviación de las medidas tomadas y observar que las operaciones realizadas en el microcontrolador se acercan a los resultados hallados con una hoja de cálculo.

Entrada en voltios	Dato en decimal	pH Teórico	pH Medido	Diferencia	pH
1.00	205	287.87	286	-1.87	2.86
1.20	246	325.44	326	0.56	3.26
1.40	286	362.50	362	-0.50	3.62
1.60	327	401.00	400	-1.00	4.00
1.80	368	437.50	436	-1.50	4.36
2.00	409	475.00	476	1.00	4.76
2.20	450	512.50	512	-0.50	5.12
2.40	491	550.00	550	0.00	5.50
2.60	532	587.50	586	-1.50	5.86
2.80	573	625.00	626	1.00	6.26
3.00	614	662.50	662	-0.50	6.62
3.20	655	701.00	700	-1.00	7.00
3.40	696	737.50	736	-1.50	7.36
3.60	737	775.00	774	-1.00	7.74
3.80	777	812.50	811	-1.50	8.11
4.00	818	850.00	849	-1.00	8.49
4.20	859	887.50	886	-1.50	8.86
4.40	900	925.00	926	1.00	9.26
4.60	941	962.50	960	-2.50	9.60

Tabla 11. Valores teóricos y medidos de la respuesta del amplificador cuando los valores de voltaje utilizados para la

La siguiente prueba es realizada con otros niveles de voltaje a la entrada del conversor cuando la amplificación en el circuito restador es diferente a la anterior, para ello se tiene.

Se realiza la calibración con siguientes valores de tensión baja.

Con pH = 7 se tiene a la entrada del conversor 0.7 Voltios

Con pH = 4 se tiene a la entrada del conversor 0.4 Voltios

Con lo cual los valores teóricos para la pendiente (m) y el desplazamiento (b) son:

$$m = 4.887585533$$

$$b=0$$

La tabla 12 muestra el valor del voltaje leído por el conversor analógico – digital y los datos calculados con una hoja de cálculo para la pendiente, el desplazamiento y el dato codificado obtenido del conversor correspondiente a la entrada expresado en base decimal.

	Voltios	Dato en decimal	Dato en bits
pH = 7	0.70	143	10001111
pH = 4	0.40	82	1010010
Pendiente	4.887585533		
b (offset)	0		

Tabla 12. Resultados teóricos obtenidos de la calibración con pH=4 y pH=7 cuando el voltaje de entrada al conversor es bajo.

La tabla 13 muestra la entrada en voltios al conversor A/D, el dato generado por el conversor del microcontrolador en base decimal y mediante la pendiente y desplazamiento se obtiene el valor de pH teórico escalado utilizando una hoja de cálculo; también el valor del pH medido utilizando la tarjeta de adquisición elaborada y las subrutinas que calculan la pendiente y el desplazamiento, la diferencia del valor teórico con el real y el pH mostrado en la pantalla de equipo de medición a escala real, esta diferencia nos permite comparar el grado de desviación de las medidas tomadas y observar que las operaciones realizadas en el microcontrolador se acercan a los resultado hallados con una hoja de cálculo.

Entrada en voltios	Dato en decimal	pH Teórico	pH Medido	Diferencia	pH
0.20	41	200.39	200	0.39	2.00
0.24	49	239.49	239	0.49	2.39
0.28	57	280.00	279	1.00	2.79
0.32	65	320.00	319	1.00	3.19

0.36	74	360.00	359	1.00	3.59
0.40	82	400.00	399	1.00	3.99
0.44	90	440.00	439	1.00	4.39
0.48	98	480.00	479	1.00	4.79
0.52	106	520.00	519	1.00	5.19
0.56	115	560.00	559	1.00	5.59
0.60	123	600.00	599	1.00	5.99
0.64	131	640.00	639	1.00	6.39
0.68	139	680.00	678	2.00	6.78
0.72	147	720.00	718	2.00	7.18
0.76	155	760.00	758	2.00	7.58
0.80	164	800.00	798	2.00	7.98
0.84	172	840.00	838	2.00	8.38
0.88	180	880.00	878	2.00	8.78
0.98	201	980.00	978	2.00	9.78

Tabla 13. Valores teóricos y medidos de la respuesta del amplificador cuando los valores de voltaje utilizados para la calibración son bajos.

Todos los datos a la entrada del conversor analógico – digital fueron simulados con una fuente de voltaje variable y medido con un multímetro Fluye 75 para comprobar el voltaje usado en el conversor.

4.2.2 Certificación

El instrumento de medición de pH se comparó con un medidor de pH empleado en el laboratorio de la Sección de Química de la empresa Hanna Instruments. En la tabla 14 se muestra la correspondencia de los valores medidos con el equipo del laboratorio y el desarrollado en esta tesis. Algunos valores de pH mostrados fueron obtenidos mediante la combinación de las soluciones buffer pH=4, pH=7 y pH=10.

Equipo de laboratorio	Equipo diseñado
4.01	4.03
5.74	5.77
7.01	7.00
8.93	8.91
10.00	9.97

Tabla 14. Cuadro que muestra los valores obtenidos con un equipo de medición en el laboratorio y el diseñado en la tesis.

Como se observa en la tabla 14 estas comparaciones solo cubren el rango de pH de 4 a 10 debido a que en las pruebas de campo bastará con este rango.

4.2.3 Intervalo

El instrumento cubre un rango de 2.00 a 9.99 niveles de pH debido al uso de 2 bytes para el almacenamiento del dato el cual puede ser como máximo de 10.23 sin embargo solo usamos el intervalo ya mencionado por considerar más que suficiente para la aplicación.

4.2.4 Resolución

Está dada cada 0.01 grados de pH, esto debido al uso del microcontrolador ATMEGA8L que permite obtener este grado de resolución al incrementar o disminuir en una unidad el valor almacenado en esta variable y solo depende de las operaciones realizadas en él. Como se mencionó en líneas anteriores el valor de 0.01 en realidad es 1 en los registros de almacenamiento del microcontrolador y al incrementar en una unidad sería 2 equivalente a 0.02.

4.2.5 Exactitud

El grado de exactitud es de ± 0.02 según los datos hallados en las tablas 13 y 11, éste rango obtenido se debe en gran parte a las operaciones realizadas para calcular la medida del pH; las variaciones de pH dependen directamente en la respuesta final de la medición debido a aproximaciones realizadas mediante las subrutinas.

4.2.6 Condiciones de uso

El equipo está diseñado para poder trabajar en un rango amplio de temperaturas debido a las características de los componentes involucrados, el nivel de impermeabilidad depende de la carcasa en la que se encuentre, sin embargo no se ha podido probar el funcionamiento en climas donde se presenten situaciones extremas de temperatura, humedad y presión.

4.2.7 Compensación de temperatura

Si bien es cierto el efecto de la temperatura afecta el funcionamiento del electrodo y de la medición. Sin embargo, este sólo afecta la proporción de voltaje por cada grado de pH de modo que para solucionar este efecto que también puede ser producido por el desgaste del electrodo de pH es necesario realizar la calibración con muestras patrón o 'buffer' con valores de pH conocidos como los reactivos HI7004 para un valor de $\text{pH}=4.01$ o con la solución HI7007 para un $\text{pH}=7.01$ (a 25 grados centígrados).

Otro efecto influyente es el reactivo o buffer a usar para realizar la calibración, éste sí varía con la temperatura de modo que para realizar una correcta calibración es necesario saber la variación de la muestra de referencia.

De modo tal que para poder usar las soluciones es necesario saber la temperatura a la cual están éstas. La temperatura promedio diaria en el centro de crianza es de 12.5°C casi todo el año [31], con lo cual en realidad la muestra patrón no es de 4.01 sino de 4.00 y para la solución neutra el pH no es 7.01 sino de 7.06 aproximadamente. Es por ello que se necesita realizar la compensación a la temperatura de funcionamiento.

La tabla 15 muestra un resumen de las características del instrumento de medición.

ESPECIFICACIONES

Intervalo	0.00 a 9.99
Resolución	0.01
Exactitud (21°C)	± 0.02
Calibración de pH	Automática
Compensación de temperatura	Compensación manual de 0 a 45°C
Condiciones de uso	0 a 49°C
Sonda	HI1230B o HI1332B

Tabla 15. Especificaciones del instrumento de medida de pH diseñado.

CONCLUSIONES

1. En los procesos de medición de pH, existen diferentes formas de medir el pH de una solución; sin embargo, existen métodos y formas de medición que garantizan la medida real y con precisión del pH. Si bien es cierto existen sustancias que permiten identificar si una solución es ácida o básica mediante el color (usando papel tornasol o reactivos químicos), este análisis es realizado de manera cualitativa pero con limitaciones al presentarse con sustancias opacas o turbias. Por ello se concluyó que la mejor forma de medir el pH es mediante un instrumento de medición como el desarrollado de la presente tesis.
2. Los instrumentos de medición presentan algoritmos plasmados en los microcontroladores que gobiernan las funciones del sistema y ellos procesan

información sobre la lectura de los datos proveniente de la sonda o electrodo de pH. De nuestro análisis se concluyó que era factible producir mediciones de pH mediante el microcontrolador empleado para el desarrollo de esta tesis y poder realizar procesos de calibración en el instrumento. Del modelo del sistema de medición y del análisis del proceso se concluyó que al momento de realizar el escalamiento de la variable medida se obtuvo un alto grado de confiabilidad al momento de hacer las operaciones aritméticas que calculaban la medida producto del escalamiento.

3. A pesar de las etapas de filtrado en la etapa de adquisición de señales de nuestro sistema la señal proveniente del electrodo aun presenta algunas variaciones en el voltaje leído por el conversor. Durante las investigaciones se encontró que existen factores externos que influyen en la señal del electrodo. Se concluyó que aun con el diseño actual del instrumento de medición es necesario filtrar la señal medida mediante un promedio aritmético con el valor anterior de pH antes de mostrarlo en el visualizador LCD y de ésta manera disminuir el efecto que pudiese ocurrir al variar la medida del pH, estas variaciones ocurren entre ± 0.02 grados de pH.

4. La modularidad del software del equipo permite llevar a cabo las tareas de manera independiente, estos módulos están separados en subrutinas de manera que es una alternativa importante de considerar, pues permite el fácil control del algoritmo que gobierna al instrumento de medición. Lo que además permite la adaptación de nuevas subrutinas para mejorar el equipo.

5. Existe una gran variedad de electrodos de pH, basados en los mismos principios físicos, el método de medición de pH depende justamente de estas propiedades. Es muy importante seleccionar el principio o mecanismo de medición adecuado de acuerdo a la aplicación que se tenga, pues el hecho de no seleccionar un transductor adecuado puede implicar una mala medición.

6. También se concluyó que el desarrollar el programa en Labview nos facilita crear un entorno gráfico de manera sencilla al tener bloques ya desarrollados para utilizarlos en la programación, este tipo de algoritmo es más sencillo que otros lenguajes.

RECOMENDACIONES

1. El instrumento de medición de pH está desarrollado de manera que se pueda mejorar las funciones que se tienen o aumentar funciones al ya existente, es posible incorporar sistemas de control para poder tener un sistema con realimentación y establecer algún tipo de control de una planta.

2. El sistema de medición cuenta con una fuente de alimentación de 220VAC por lo que queda después mejorar el sistema para que sea portátil y solo emplear baterías.

3. Durante el uso del equipo de medición se recomienda siempre realizar una calibración por lo menos una vez a la semana para poder garantizar la fidelidad de la medida.

4. Siempre se debe de mantener almacenado el electrodo en caso de no utilizarlo en una solución adecuada, de esta manera el desgaste disminuirá considerablemente y por consiguiente se requerirán menos procesos de calibración.

5. Si se desea construir un chasis para el equipo se recomienda que éste sea metálico y así poder conectar el circuito a la estructura para poder minimizar los efectos del ruido electromagnético.

6. Al momento de diseñar la tarjeta es necesario que el conector BNC macho que se conecte a la tarjeta de amplificación debe ser de montaje en tarjeta de lo

contrario si es de montaje para el chasis los cables que unan el conector con la tarjeta deberán ser lo más pequeños posibles.



FUENTES

- [1] ALICORP
2000 CRIANZA DE TURCHAS [en línea]. [Consultado 2006/02/22].
<<http://www.nicovita.com.pe/paginas/esp/truchas.htm>>
- [2] MINISTERIO DE AGRICULTURA
2000 La Asistencia Técnica en la Crianza de Truchas por los
Campesinos del Sur Alto Andino [en línea]. [Consultado 2006/02/22]
<<http://www.fidamerica.cl/actividades/conferencias/extension/ivcon3ec.html>>
- [3] BOLETIN
Crianza de truchas en el Altiplano Andino [en línea]. [Consultado
2006/02/24]. <<http://www.caso10altiplano.htm>>.
- [4] FONCODES.
Informe sobre crianza de truchas [en línea]. [Consultado 2006/03/22]
<http://www.foncodes.gob.pe/boletin/ediciones_anteriores/anho2_nro20/inicio.asp>.
- [5] YAPUCHURA SAYCO, Angélica
2002 Producción y comercialización de truchas en el departamento de
Puno y nuevo. Paradigma de producción. Tesis (ing.) Universidad
Nacional de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. [en línea].
182 Pág. Escuela de Post-Grado. [Consultado 2006/03/22]
<http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Autores/yapuchura_sa.htm>

- [6] MINISTERIO DE PRODUCCIÓN
2000, Situación de la truchicultura en el Perú [en línea]. [Consultado 2006/04/01]<http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/005/C8312S/C8312S_02.htm>
- [7] ENVIRONMENTAL SERVICE LTD.
2000 piscicultura y desarrollo comunal [en línea]. [Consultado 2006/03/22]. <<http://www.rll.ca/spanish/services/aquatic.html>>.
- [8] YAPUCHURA SAYCO, Angélica
2002 Proyecto de dragado para el Terminal de Iquitos. Tesis (ing.)
Universidad Nacional de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas
[en línea] 112 páginas. [Consultado 2006/03/22].
<http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Basic/Yapuchura_S_A/t_completo.pdf>
- [9] TECNOCENCIA
2003 cultivos hidropónicos- utilización del agua. Control del pH. [en línea]. [Consultado 2006/02/12].
<http://www.tecnociencia.es/especiales/cultivos_hidroponicos/3.htm>
- [10] ELECTRODOS DE PH INDUSTRIALES
2003, Oakton [Consultado 2006/04/01].
<<http://www.4oakton.com/SellSheets/pHleleSP.pdf>>
- [11] INDICADOR DE PH
La enciclopedia en línea [en línea]. [Consultado 2007/04/01].
<http://es.wikipedia.org/wiki/Indicador_de_pH>

- [12] Aguamarket.
2005 ¿Qué es el pH? , Junio [en línea]. [Consultado 2006/04/01].
<http://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/198.asp>
- [13] Determinación de pH
2002 Método electrométrico [en línea]. [Consultado 2007/11/25].
< <http://www.avantel.net/~arbolag/html/ph.htm> >
- [14] RESPETO GIRALDO, Lina Maria
2002 Automatización del proceso de Dosificación de Químicos en la planta de aguas residuales de Colceramaica [en línea]. [Consultado 2006/11/22]
<http://electronica.udea.edu.co/academicos/proyectos/control/linam/pape_r.pdf>
- [15] J. MALONEY, Timothy
1983. Electrónica Industrial moderna. [Consultado 2006/11/22]
- [16] HD2156.1
2000, pHmetro, conductímetro y termómetro. Delta OHM [Consultado 2006/11/22] <<http://www.disheco.es/adjuntos/1188463618.pdf>>.
- [17] SCHOTT INSTRUMENTS
2006 Instrucciones de uso de electrodos para la medición de valores pH y del potencial Redox. [en línea]. [Consultado 2006/11/22].
<http://www.schottinstruments.com/fileadmin/upload//Gebrauchsanleitung/Elektroden/LabElektr_Science-Line/UK/pH%20and%20redox_650%20KB_Spanish-PDF.pdf>.

- [18] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, sección de electricidad y electrónica.
2005, Laboratorio de Sistemas de Control .Adquisición de datos, Guía número 1. [Consultado 2006/10/22].
- [19] NAVARRETE.
1998 Diccionario enciclopédico Océano Uno. [en línea]. [Consultado 2006/09/12].
- [20] SIMON, Dan.
2003 Fuzzy control. *Embedded Systems Programming* 16, 7; ProQuest Computing [en línea]. [Consultado 2006/11/22].
- [21] EL ACUARISTA.
Sección de datos [en línea]. [Consultado 2006/11/22].
<<http://www.elacuarista.com/secciones/pH.htm>>
- [22] K MCMILLAN, Gregory
1984, pH Control: a magical mystery tour. Intech September, Pág. 69 Monsanto. Co [en línea]. [Consultado 2006/11/22].
- [23] OMEGA ENGINEERING, INC
1995 The OMEGA environmental handbook: The ph and the conductivity handbook vol.29. [Consultado 2006/09/22].
- [24] Guía del laboratorio básico
2002 Guía del laboratorio básico [en línea] 26 páginas. [Consultado 2007/11/22].
Facultad de Química. Universidad de Alcalá

- [25] SAVANT, C.J.
2000 Diseño electrónico: Circuitos y Sistemas. México .D.F.
Pearson Education. [Consultado 2007/11/24].
- [26] DOCHERTY, Patrick J.
1972 Automatic pH Control: Neutralization of Acid Wastes by Addition of Lime Slurry. Tesis 129 paginas. Dartmouth [en línea]. [Consultado 2006/11/22].
- [27] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, sección de electricidad y electrónica.
2005, Manual del Atmega8l [en línea]. [Consultado 2007/02/12].
- [28] DEPARTAMENTO DE JUNÍN
[en línea]. [Consultado 2006/11/22].
<http://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Jun%C3%Adn>.
- [29] GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ – Resumen ejecutivo, PROINVERSION [en línea]. [Consultado 2006/01/12].
<<http://www.proinversion.gob.pe/oportunidades/Proyectos/SAP/0066-CE3-PES.pdf>>.
- [30] GOBIERNO REGIONAL DE JUNÍN – Dirección Regional de Producción – PRODUCE. [Consultado 2006/06/12].
- [31] Dirección Regional de Producción Junín. PRODUCE.
Biólogo Rubén Sánchez [entrevista]. [Consultado 2006/06/12].

- [32] GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS – Dirección Regional Agraria del Amazonas. Boletín Informativo [en línea]. [Consultado 2006/11/22] <http://www.amazonasagrario.gob.pe/documentos/estudios/items/BOLETIN_TRUCHA.pdf >.
- [33] UNIVERSIDAD DE CHILE – laboratorio de Instrumentación de Procesos Industriales, PH. D Leandro Herrera Z [en línea]. [Consultado 2006/02/12]. <[http://cabierta.uchile.cl/libros/l_herrera/iq54a/instru.htm#Electrodo%20para%20la%20medición%20de%20actividad%20de%20H+%200\(pH\)](http://cabierta.uchile.cl/libros/l_herrera/iq54a/instru.htm#Electrodo%20para%20la%20medición%20de%20actividad%20de%20H+%200(pH))>
- [34] HARVEY, GORDON.
2001. Como se citan las fuentes. España, Nuer Ediciones [en línea]. [Consultado 2006/02/12].
- [35] Manual de instrucciones HI8417 – HI8519 – HI8520 – HI8521, Hanna Instruments [en línea]. [Consultado 2007/02/12]. <<http://www.hannainst.com/downloads/instr/MANPHBNR3.pdf> >.
- [36] COUGHLIN, Robert F.
1999, Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. México. Pearson Educación. [Consultado 2006/11/22].
- [37] Guía de selección de electrodos, catálogos Lavallab.
[en línea]. [Consultado 2007/01/26]. <<http://www.lavallab.com/water-analysis/ph-electrodes.htm>>.
- [38] Selección de electrodos. Hanna Instruments
[en línea]. [Consultado 2007/02/12]. <<http://www.hannainst.com/products/prodline/electrod.cfm>>.

- [39] Sondas, Hanna Instruments.
[en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://www.hannainst.com/products/electro/electprobes.cfm?ProdCode=HI%201210%20-%20HI%201230>>.
- [40] Sondas, Hanna Instruments.
[en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<http://www.hannainst.com/products/electro/electprobes.cfm?ProdCode=HI%201312%20-%20HI%201332>>.
- [41] Mantenimiento y uso del electrodo, Guía. Hanna Instruments.
[en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://www.hannainst.com/products/electro/eleguid.cfm>>.
- [42] El mejor electrodo de pH para tu aplicación. Hanna Instruments.
[en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://www.hannainst.com/products/electro/bestelec.cfm#Glass>>.
- [43] Midiendo pH. Hanna Instruments.
[en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://www.hannainst.com/products/electro/measure.cfm>>.
- [44] PRODUCE. Ministerio de Producción
2004, Vice ministerio de pesquería, Dirección Nacional de Acuicultura.
[en línea]. [Consultado 2006/01/22].
<<http://www.produce.gob.pe/mipe/dna/doc/ctrucha.pdf>>.

- [45] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, sección de electricidad y electrónica.
2005, Laboratorio de Sistemas de Control. Control de Procesos Industriales, Guía número 2. [Consultado 2006/02/12].
- [46] KATSUHIKO, Ogata. Discrete – Time Control Systems.
1995, 2nd edition, Prentice – Hall. [Consultado 2006/02/12].
- [47] KUO, Benjamín C. Digital Control Systems.
1992, Editor Saunders Collage. [Consultado 2006/02/12].
- [48] ATMEL CORPORATION. Atmega8L.
2006 .8Bit with 8K Bytes In-System Programmable Flash [en línea].
[Consultado 2007/02/12]. <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf>.
- [49] LF356. NATIONAL SEMICONDUCTOR.
2001 LF156/LF356 JFET Input Operational Amplifiers, Diciembre [en línea]. [Consultado 2007/02/12]
<<http://www.national.com/ds/LF/LF156.pdf>>.
- [50] BURR-BROWN. INA141. Precision Low Power instrumentation Amplifier [en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/56690/BURRBROWN/INA141.html>>.
- [51] LM741. NATIONAL SEMICONDUCTOR.
Operational Amplifier. Amplificador de propósito general [en línea].
[Consultado 2007/02/12].
<<http://www.national.com/ds/LM/LM741.pdf>>.

- [52] MAX232. TEXAS INSTRUMENTS
2002, DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS. [en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/max232.html>>.
- [53] TL071. TEXAS INSTRUMENTS.
1996, TL071, TL071A, tl071b LOW-NOISE JFET-INPUT operational amplifiers, October [en línea]. [Consultado 2007/02/12].
<<http://www.linuxfocus.org/common/src/article251/TL071.pdf>>.
- [54] LM317. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
2005, 3-Terminal Positive Adjustable Regulator. . [en línea]. [Consultado 2007/02/12]. <www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM317.pdf>.
- [55] LM7805. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
2006, 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator
<www.fairchildsemi.com/pf/LM/LM7805.html>.
- [56] LM7812. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
2006, 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator [en línea]. [Consultado 2007/02/12]. <www.fairchildsemi.com/pf/LM/LM7812.html>.
- [57] MC7912. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
2002, 3-Terminal 1A Negative Voltage Regulator [en línea]. [Consultado 2007/02/12].<www.fairchildsemi.com/pfPrint/MC/MC7912.html>.
- [58] RUIDO EN AMPLIFICADORES
Ruido en amplificadores, [en línea]. [Consultado 2007/01/22]
<http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/Bajoruido/Bajoruido.html#Tipos>.