

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
SUBACUÁTICO MULTISENSORIAL DE LAGUNAS CRATÉRICAS PARA EL
ESTUDIO DE SU ESTRUCTURA INTERNA Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA.**

LISBETH LUCÍA MARTÍNEZ ORTEGA

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2006**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
SUBACUÁTICO MULTISENSORIAL DE LAGUNAS CRATÉRICAS PARA EL
ESTUDIO DE SU ESTRUCTURA INTERNA Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA.**

LISBETH LUCÍA MARTÍNEZ ORTEGA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniera Física

Director

Ing. Leonairo Pencue Fierro

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2006**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director Ing. Leonairo Pencue Fierro

Jurado Dr. Gilberto Bolaños

Jurado Ing. Horacio Coy

Fecha de sustentación: Popayán; Noviembre 10 de 2006.

DEDICATORIA

A mi brillante madre

A mis amados hermanos

A mi querido Diego TA

*Cuando uno cree que sabe un poco más
se da cuenta que no sabe nada.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Agradecimientos	IV
Índice de Tablas	V
Índice de Figuras	VI
Resumen	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. LAGUNAS CRATÉRICAS	3
2.1 El desastre de 1979.....	7
2.2 Laguna Cratérica de Kelud.....	8
2.3 Laguna Cratérica de Ijen.....	11
2.4 Situación de Lagunas Cratéricas en Colombia.....	11
3. MARCO CONTEXTUAL	17
3.1 Sensores.....	17
3.1.1 Presión.....	17
3.1.2 Sensor de Temperatura.....	18
3.1.3 Sensor de Imagen.....	18
3.2 Fuentes y Esquemas de Iluminación.....	20
3.2.1 Esquema Básico de Iluminación.....	20
3.2.2 Esquema con Luz Polarizada.....	21
3.2.3 Iluminación Direccional.....	22
3.2.4 Tipos de Lámparas.....	23
3.2.4.1 Lámpara Halógena.....	23
3.2.4.2 Lámparas de diodos.....	23
3.2.4.3 Lámpara Fluorescente.....	24

3.3	Conversión Análoga – Digital.....	25
3.4	Multiplexación.....	27
3.5	Microcontrolador PIC 18F452.....	28
3.5.1	Arquitectura del PIC 18F452.....	29
3.5.2	Procesador.....	30
3.5.3	Contador	30
3.5.4	Puertos de <i>Entrada/Salida</i>	30
3.5.5	Puerto de Comunicación.....	31
3.6	Amplificador Lineal.....	31
3.6.1	Transistor NPN.....	32
3.7	Medio de Transmisión.....	32
3.7.1	Cable Coaxial.....	33
3.8	Transmisor/Receptor Multicanal RS-232.....	34
3.9	<i>LabVIEW</i> – National Instruments.....	34
4.	DISEÑO Y MONTAJE DEL DISPOSITIVO.....	36
4.1	Sistema Sensorial.....	36
4.1.1	Sensor de Presión.....	37
4.1.1.1	Calibración y Compensación de Temperatura en el Chip.....	37
4.1.2	Sensor de Temperatura.....	40
4.1.3	Cámara de Video.....	40
4.2	Sistema de Iluminación.....	41
4.3	Sistema de Comunicación de Datos y Video.....	41
4.3.1	Procesamiento de los Datos Sensados.....	41
4.3.1.1	Digitalización y Multiplexación.....	42
4.3.1.2	Amplificación.....	43
4.3.1.3	Medio Físico de Transmisión.....	43

4.3.1.4	Transmisor/Receptor Multicanal RS-232.....	43
4.3.1.5	Adaptador de Puerto USB a Serial.....	43
4.3.1.6	Circuito General para el Sistema de Comunicación de Datos.....	44
4.3.2	Transmisión de Video.....	45
4.4	Cámara Hermética.....	45
4.5	Interfaz Gráfica.....	48
4.5.1	Programa de Aplicación para los Datos Sensados	49
4.5.1.1	Panel Frontal.....	49
4.5.1.2	Diagrama de Bloques.....	52
4.5.2	Aplicación Gráfica de Video.....	56
4.5.2.1	Capturadora de Video Externa USB con su Software correspondiente.....	56
5.	EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO Y PRUEBAS DE CAMPO.....	58
5.1	Evaluación del Dispositivo.....	58
5.2	Adquisición de Imagen y Datos Sensados.....	62
5.2.1	Adquisición de Imagen.....	63
5.2.2	Datos Sensados.....	64
5.3	Procesamiento Digital de Imágenes.....	65
5.3.1	Segmentación de Imágenes.....	65
5.4	Tratamiento de los Datos Sensados.....	66
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	74
	ANEXOS.....	77

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

Al Grupo de Investigación de Óptica y Láser GOL de la Universidad del Cauca por la prestación de sus laboratorios y su instrumental.

Al director de este Trabajo de Grado Leonairo Pencue Fierro, docente del departamento de Física de la Universidad del Cauca por todo el conocimiento intelectual, el esfuerzo y el tiempo que hicieron posible finalizar con éxito este trabajo de investigación.

Al Ingeniero Javier Cortés, Docente del departamento de Física de la Universidad del Cauca por la asesoría técnica y científica que tuvo en el sistema de comunicación de datos.

Al Departamento de Física de la Universidad del Cauca por los conocimientos brindados a lo largo de la carrera.

Al Fisicoquímico Gustavo Garzón, Director del Grupo de Investigación: Fisicoquímica de Geogases y Aguas Termales del Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS por la asesoría y colaboración prestada para el buen desarrollo del trabajo de investigación.

Al Observatorio Vulcanológico de Pasto por la prestación del laboratorio de electrónica y sus equipos.

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Composición de laguna cratérica Telaga Warna (ppm).....	8
2.2. Medición de elementos químicos y variables físicas en lagunas cratéricas colombianas.....	13
2.3. Principales lagunas cratéricas en Colombia.....	14
5.1. Relación de los valores sensados para Temperatura.....	67
5.2. Relación de los valores sensados para Presión.....	67
5.3. Datos de temperatura y presión sensados en la Laguna El Cumbal.....	67
5.4. Datos de profundidad de la laguna a partir de los datos de presión sensados.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Modelo de la desgasificación que se presenta en una laguna cratérea.....	4
2.2. Estado de equilibrio en una laguna cratérea.....	5
2.3. Variaciones del nivel de la laguna cratérea en dos erupciones volcánicas y sistema de drenaje del volcán Kelud.....	10
2.4. Algunas Lagunas Cratéreas colombianas.....	15
3.1. Esquema básico de iluminación.....	20
3.2. Esquema que utiliza luz polarizada.....	22
3.3. Esquema de conversor A/D de aproximaciones sucesivas.....	26
4.1. Tensión de salida en función de la diferencia de presión.....	38
4.2. Diagrama de la sección de cruce.....	38
4.3. Esquema del circuito que acompaña al sensor de presión MPX2100.....	39
4.4. Curvas de corriente – voltaje características del LM35.	40
4.5. Esquema del procesamiento de los datos sensados.....	42
4.6. Circuito recolector y transmisor de los datos sensados.....	44
4.7. Circuito para la comunicación de los datos al computador.....	45
4.8. Diagrama de los componentes del dispositivo y su cámara hermética.....	46
4.9. Cámara hermética.....	47
4.10. Panel frontal de la interfaz gráfica.....	50
4.11. Ventana configuración VISA.....	51
4.12. Diagrama de la interfaz gráfica para los datos sensados.....	52
4.13. Diagrama de bloques de la interfaz gráfica implementada.....	53
4.14. Configuración de los datos sensados.....	55
5.1. Diagrama del dispositivo implementado.....	58
5.2. Sistema de monitoreo subacuático multisensorial para lagunas cratéreas.....	59
5.3. Laguna El Cumbal.....	63
5.4. Pruebas con dispositivo en la Laguna El Cumbal.....	63

5.5. Imágenes de la vegetación existente en el fondo de la Laguna El Cumbal.....	64
5.6. Umbralización de la imagen del banco de truchas a 8 m de profundidad.....	66
5.7. Umbralización de la imagen del banco de truchas a 10 m de profundidad.....	66
5.8. Gráfica Profundidad vs. Profundidad medida en cuerda.....	70

RESUMEN

En el presente trabajo, se presenta el diseño e implementación de un sistema de monitoreo subacuático de lagunas cratéricas para visualizar su estructura interna por medio de imágenes captadas con una cámara de video y que a su vez permite adicionar elementos de evaluación de la actividad volcánica por medio de un conjunto de sensores.

En primera instancia se realizaron los circuitos para el correcto funcionamiento de los sensores de temperatura y presión hidrostática.

Se dio paso a desarrollar el sistema de comunicaciones que permitiera trasladar imagen y datos desde el sitio de medida hasta el computador desde donde la persona está sensando.

Más adelante se construyó la cámara hermética con la característica de soportar altas presiones debido a que su objetivo principal era resguardar de posibles daños a los componentes sensoriales que permitieron llevar a cabo las mediciones.

Posteriormente se realizaron las pruebas pertinentes para captar las imágenes dentro de la laguna cratérica y obtener los respectivos valores de temperatura y presión hidrostática del lugar.

Como paso final se hizo un tratamiento digital a las imágenes capturadas que permitió obtener información de interés, realizando una inspección del entorno subacuático relacionado con la estructura y composición interna de la laguna cratérica, además de abrir un campo acción para monitoreo de la actividad volcánica que se presenta en la zona de estudio.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La comunidad vulcanológica en general, y en especial los observatorios vulcanológicos de INGEOMINAS en su continua investigación y monitoreo de la actividad volcánica del territorio colombiano, han dedicado enormes esfuerzos y recursos para la implementación de sistemas que permitan obtener información en tiempo real de factores volcánicos para la prevención de desastres ambientales y pérdida de vidas humanas.

Actualmente en el ámbito mundial, diferentes institutos de investigación han comenzado el estudio de las lagunas que se forman dentro de los cráteres volcánicos, llamadas *Lagunas Cratéricas*; las calderas y cráteres son lugares naturales donde se forman dichas lagunas, debido a que éstas son depresiones cerradas que colectan el agua de lluvia y la producida por procesos de desglaciación. La especial mezcla entre el agua superficial con el magma representa una amenaza violenta y explosiva; el grado de riesgo de estos procesos en ambientes volcánicos es hasta el momento difícil de evaluar. La sobresaturación de algunos gases en las capas profundas de las lagunas cratéricas es un aspecto que debe ser considerado, pues las grandes diferencias de presiones entre las profundidades y la superficie facilitan la violenta desgasificación, lo cual ha provocado la muerte de habitantes que viven en las cercanías de estas lagunas volcánicas.

Este tipo de lagunas es un campo de investigación completamente nuevo en Colombia, el desconocimiento de la estructura y composición interna de las mismas genera gran dificultad por falta de información en los sistemas encargados de la vigilancia volcánica, además, el hecho de que aún no se hayan estudiado parámetros internos básicos como profundidad, presión hidrostática y temperatura, hace que no se pueda dar un bosquejo general de la amenaza límnic que se está presentando a través de la laguna y que permita realizar un tipo de monitoreo de estos factores.

En este Trabajo de grado se plantea una solución práctica, con conocimiento en ingeniería y física que permite, a través de un conjunto multisensorial de componentes, conocer la estructura y composición interna de la laguna cratérica además de monitorear en forma in situ para analizar las características volcánicas que se están presentando en la zona de estudio.

En el capítulo dos se realiza una descripción del sector de aplicación, se presenta información vulcanológica de las Lagunas Cratéricas y el impacto que han tenido sobre la población que las rodea.

En el capítulo tres se presenta el soporte teórico para la ciencia y tecnología utilizada en la conformación del dispositivo multisensorial.

En el capítulo cuatro se presentan las consideraciones para el diseño y montaje del dispositivo: sistema sensorial, sistema de iluminación, sistema de comunicación de datos y video, cámara hermética e interfaces gráficas de datos y video.

En el capítulo cinco se presentan los resultados del dispositivo fabricado, con imágenes y datos sensados en la profundidad de la laguna investigada, el procesamiento digital realizado a algunas imágenes y el tratamiento de datos sensados para su mejor comprensión.

En el capítulo seis se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro de la investigación realizada.

Capítulo 2

LAGUNAS CRATÉRICAS

Una laguna cratérica es un sistema altamente dinámico y complejo donde ocurren varios procesos simultáneamente.

La laguna actúa como una enorme trampa de muchas reacciones químicas presentando desgasificación volátil en la superficie debido al cuerpo magmático que hay en su interior, además es químicamente afectada por interacción de fluido de rocas, dilución por agua meteórica, evaporaciones, inundaciones, y todo el sistema superficial hidrotermal. . Por consiguiente ésta representa un ambiente ideal para largos monitoreos de temperatura, gasificación y flujos de calor emitidos por el cuerpo magmático [1].

El impacto que tiene el agua de la laguna dentro del sistema hidrotermal es necesario para un eficiente transporte del calor y sustancias químicas desde el magma dentro de la laguna hasta la superficie de la tierra. En la figura 2.1 se observa un modelo general y simplificado de una laguna cratérica [1], se muestra la interacción entre el cuerpo magmático y la superficie de la laguna cratérica, esto se realiza a través de un conducto de calor que va directamente a la laguna y por donde también se produce desgasificación de Dióxido de Azufre (SO_2), Ácido Clorhídrico (HCl), Ácido Sulfúrico (H_2S), entre otros.

Externamente en la laguna se depositan sedimentos de roca volcánica rica en Aluminio (Al), Hierro (Fe), Magnesio (Mg) y otros elementos. Además el agua lluvia cumple parte importante en el nivel de agua de la laguna.

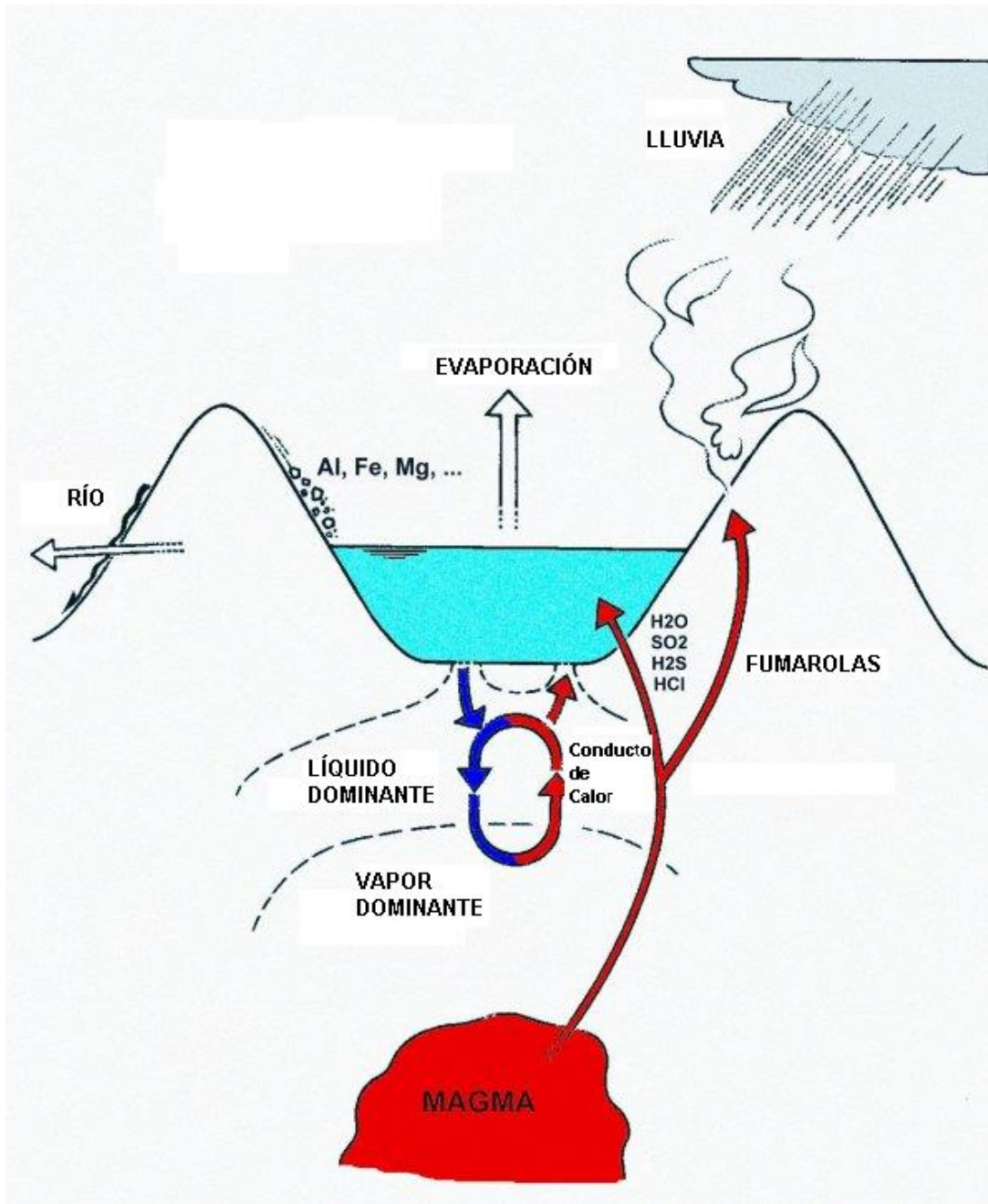


Figura 2.1: Modelo de la desgasificación que se presenta en una laguna cratérica

La laguna cratérica es una trampa calorimétrica que acumula calor emitido por el magma. Muchas de éstas están en constante estado de equilibrio. La temperatura de estas lagunas está forzada por un balance entre el calor de entrada y el de salida, esto se muestra en la figura 2.2.

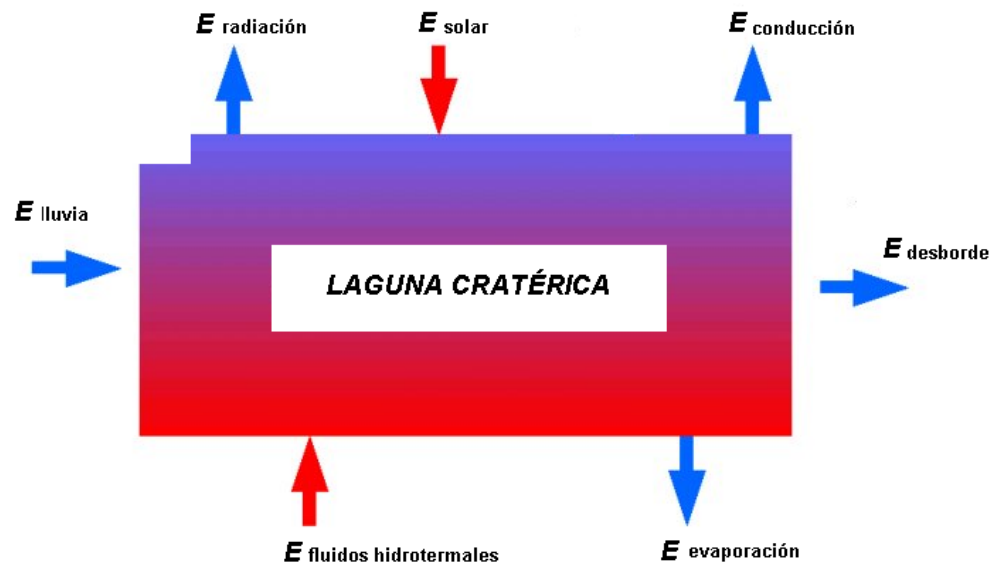


Figura 2.2: Estado de equilibrio en una laguna cratérica

El calor se deriva de la entalpía de la mezcla entre los fluidos termales de la laguna y la radiación solar y atmosférica. Por otra parte, el calor se va perdiendo en la evaporación, conducción, radiación, mezclado con el agua meteórica (lluvia) y el desborde del agua de la laguna.

La descarga de gases magmáticos (SO_2 , H_2S , HCl , HF) dentro de la laguna cratérica frecuentemente conduce a una alta acidez sulfato-clorhídrica en el agua. La desproporción de SO_2 magmático es el proceso más significativo responsable de esta acidez y de la formación de ácido sulfúrico.

Estas lagunas ácidas son depósito de CO_2 y de HCO_3^- (iones bicarbonato). Excepciones notables son las lagunas cratéricas de Nyos y Monoun (Camerún) donde la emisión de gases ácidos (SO_2 , H_2S , HCl) ahora se ha suspendido. Estas lagunas están casi completamente desprovistas de sulfatos y cloros pero contienen grandes cantidades disueltas de CO_2 [1].

El gas CO_2 emitido por la laguna Nyos en 1986 y por la laguna Monoun en 1984 tuvo como resultado pérdidas de aproximadamente 1800 vidas humanas que vivían alrededor de éstas. El cuerpo principal de la Comisión de Lagunas Volcánicas (CVL) fue creado inicialmente como el Grupo Internacional de Trabajo sobre Lagunas Cratéricas (IWGCL) en 1987 cuando se realizó en Yaounde (Camerún), la Conferencia Internacional sobre el Desastre de Gases en la Laguna Cratérica Nyos [2].

La CVL es hoy en día la encargada a nivel mundial de examinar y monitorear este tipo de lagunas. El monitoreo geoquímico de las lagunas Nyos y Monoun durante 13 años ha confirmado que la alta concentración de CO_2 en sus aguas profundas está incrementándose en ratas alarmantes.

Experimentos exitosos de desgasificación realizados en estas dos lagunas entre 1992 y 1995, proveen que la desgasificación en éstas puede ser acabada con la instalación de una especie de pipas (botones que absorben el gas) en su superficie. No obstante los sobrevivientes del desastre de la laguna Nyos fueron oficialmente trasladados a una región de evacuación.

En cada una de las lagunas(Nyos y Monoun) se instaló una pipa en el año de 2001, con la cual ciertamente se ha frenado el incremento de la concentración de CO_2 en la laguna Nyos y reducido la cantidad disuelta de éste mismo en Monous. De esta manera se ha controlado un poco el avance que venían teniendo estas lagunas catalogadas como asesinas[2].

2.1 El Desastre de 1979

La explosión de un letal gas acompañó las erupciones de los cráteres de Sinila y Sigludug ubicados en el complejo volcánico de Dieng (Java Central) en febrero de 1979 causando la muerte de 149 habitantes que vivían entre Kepucukan y Batur. Los reportes indican que el vapor blanco fue emitido después de la erupción inicial. Las víctimas fueron encontradas muertas. Reconstrucciones y medidas hechas posteriormente al desastre, demostraron que el gas causante de la muerte fue el CO_2 . El evento Dieng, como fue llamado este acontecimiento en 1989, tenía fuertes analogías con el gas letal emanado en la laguna Nyos en 1986. En ambos casos, el gas rico en CO_2 acumulado relativamente en bajas temperaturas, fue capaz de salir a superficie cuando la erupción en los cráteres ocurrió [3].

En términos de composición química, Telaga Warna es la más interesante laguna cratérica en el área de Dieng. La forma original del cráter pudo ser modificado por un flujo de lava. El agua ocupa menos de 1 Km², burbujas de gas pueden ser vistas emergiendo en la superficie de la laguna cratérica y en el aire se siente un hedor sulfuroso. Su apariencia de color (“warna” significa “color” en Indonesio) hace que esta laguna sea un interesante sitio turístico. Emisiones fuertes de gas CO_2 sobre el lugar ocasionalmente matan animales.

El agua tiene un pH cercano a 3, el cual fluctúa dependiendo de las variaciones estacionales, el contenido de sulfato y cloro son moderadamente altos como se observa en la tabla 2.1.

Dato	Jul-94	Jul-99	Oct-99
Temp. (°C)	21.5	18	22
pH	2.6	3.3	2.8
Na	4	1.9	2.0
K	-	0.3	0.3
Ca	8	6	7.8
Mg	3	2.7	3
NH₃	-	2	2
HCO₃	-	-	-
SO₄	215	134	240
Cl	11	86	97
B	0.02	0.7	3.8
SiO₂	13	15.3	17.9
H₂S	-	1.6	0.3

Tabla 2.1: **Composición de laguna cratérica Telaga Warna (ppm)**

2.2 Laguna Cratérica de Kelud

El volcán Kelud ubicado también en Java Central, es uno de los volcanes más peligrosos de este lugar debido a sus frecuentes erupciones. Sus actividades eruptivas son típicamente generadas por mortales lahares (coladas de barro originadas en las pendientes de los volcanes cuando capas inestables de cenizas y escombros se saturan de agua y fluyen siguiendo los cursos de los ríos), flujo piroclástico y oleaje que han cobrado ya más de 15.000 vidas desde el año 1500 A. C. causando fatalidad y destrucción. La laguna cratérica de Kelud es famosa por el potencial de emitir devastadores lahares siempre que ocurre una erupción [3].

En 1586, este volcán produjo uno de los peores lahares en el récord histórico de las erupciones volcánicas y tomó la vida de cerca de 10.000 personas [3]. Se han realizado trabajos extensos para el control de lahares alrededor de este volcán.

Un sistema de drenaje de la laguna cratérica fue completado en 1926. Hoy en día es un firme túnel que trabaja y mantiene el nivel de la laguna a un bajo nivel (2 millones de m³).

Lahares primarios son frecuentes en Kelud y son producidos por la violenta explosión del agua de la laguna cratérica. Pero Kelud también produce lahares secundarios sin necesidad que haya erupción de por medio, debido a que los flancos del volcán son disecciones profundas hechas por el intenso sistema de drenaje y porque la presencia de material piroclástico abundante es fácilmente removible por una lluvia tropical durante la estación de lluvias.

Antes de 1875, el volumen del agua de la laguna era de 78 millones de m³, en 1875 un desastre no semejante a actividad volcánica alguna ocurrió, una intensa lluvia creó una fractura en el borde del cráter y el agua de la laguna se rebosó sobre el flanco suroeste del volcán produciendo 13 kilómetros de extenso lahar y causando la destrucción de los distritos de Sregat y Blitar. Después de este desastre, el volumen de la laguna se redujo a 40 millones de m³.

En 1919 se produjo otro lahar que viajó en menos de una hora una distancia de 38 kilómetros y devastó un área de más de 15.000 hectáreas, destruyendo unas 100 villas y matando 5.160 personas. Esta dramática erupción impulsó la creación en mayo de 1919 del Instituto Vulcanológico de Indonesia, el cual decidió cómo se debía drenar el agua de la laguna cratérica a través de un túnel. El trabajo ingenieril comenzó en Septiembre de 1919 y tardó varios años en terminar. Debido a altas temperaturas (46 °C) encontradas en los trabajos de excavación, el túnel se completó en 1967 con un exitoso bajo volumen de 2 millones de m³.

Kelud es probablemente uno de los primeros y más ambiciosos ejemplos del significativo trabajo ingenieril hecho en un volcán para reducir el riesgo que esta laguna cratérica producía. La figura 2.3 muestra un esquema del túnel construido en la laguna de Kelud.

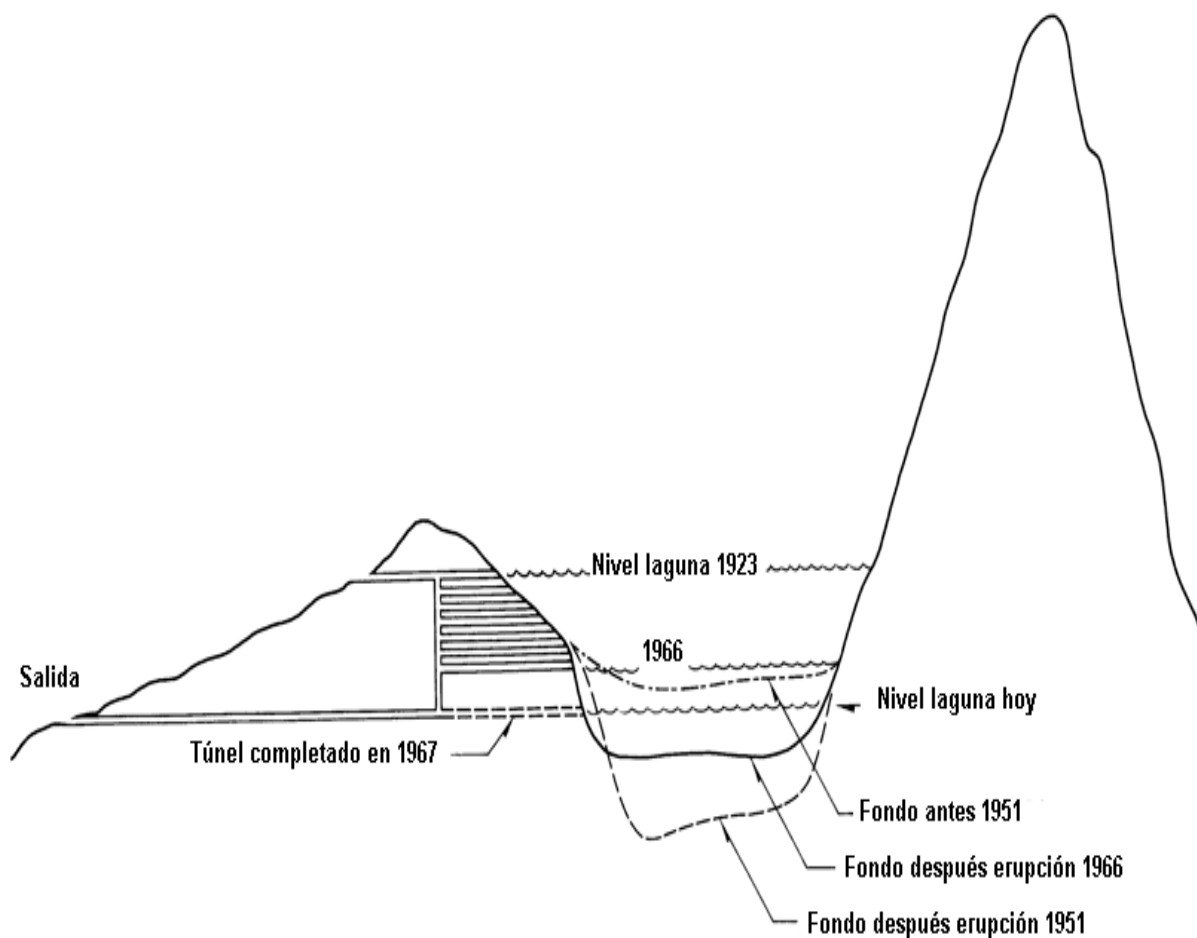


Figura 2.3: Variaciones del nivel de la laguna cratérica en dos erupciones volcánicas y sistema de drenaje del volcán Kelud

La laguna cratérica de Kelud es una laguna caliente. Siempre durante periodos de inactividad entre erupciones, una permanente desgaseificación desde sus fumarolas subacuáticas mantiene la temperatura de la superficie de la laguna con algunos grados cerca de la temperatura ambiente (19 °C). Monitoreando la temperatura de la laguna fue posible predecir la erupción de 1990. La superficie de la laguna se incrementa desde 30 a 39 °C durante los 3 meses antes de la erupción.

Al mismo tiempo del cambio en la temperatura, un monitoreo hidroacústico grabó un incremento en la actividad burbujeante en la laguna.

2.3 Laguna Cratérica de Ijen

Es otra de las lagunas de Java Central, tiene forma de óvalo regular (600 m x 1000 m), un área superficial de 41 millones de m², un volumen estimado entre 32 y 36 millones de m³. En 1996 se emitieron sonidos hacia el fondo de la laguna encontrando que tiene una profundidad máxima de 200 m. Un detallado monitoreo reveló clara relación entre *precipitación de lluvia, nivel de agua de la laguna y temperatura de la laguna*. La precipitación anual en el área de Ijen es variable con una cantidad máxima de 2.5 m. Hay fluctuaciones significantes entre las estaciones secas y lluviosas cuando el nivel del agua puede tener un aumento de hasta 4 m. La temperatura de la superficie de la laguna siempre está más alta que la temperatura del aire y generalmente decrementa en la estación de lluvia [3].

Entre 1980 y 1993 el rango de temperatura estuvo cercano a 40 °C con un máximo de 46°C y un mínimo de 32 °C. En general las temperaturas son homogéneas bajo actividad normal y no cambian significativamente con la profundidad.

2.4 Situación de Lagunas Cratéricas en Colombia

Si la investigación a nivel mundial sobre lagunas cratéricas tan sólo lleva algo menos de 20 años por parte de la CVL, en Colombia, el estudio relacionado con este tema empezó recién hace un par de años. Las lagunas cratéricas colombianas están localizadas en altitudes entre 3000 m y 4150 m sobre el nivel del mar. Los volcanes colombianos que poseen este tipo de lagunas tienen altitudes máximas entre 4070 m y 5250 m sobre el nivel del mar.

Las Lagunas del Buey y San Rafael ubicadas en el complejo volcánico Coconuco, tienen un área superficial de 0.64 Km² y 0.26 Km² respectivamente. Dos tipos de lagunas cratéricas son las más frecuentes en Colombia:

- Lagunas ácidas con temperaturas superiores a 25 °C y una conductividad eléctrica superior a 500 μS/cm.
- Lagunas neutrales con bajas temperaturas y conductividades eléctricas entre 12 μS/cm a 34 μS/cm.

Laguna Verde en el volcán Azufra y Laguna del Otún en el volcán Santa Isabel son clasificadas como típicas lagunas ácidas con bajo potencial de hidrógeno; Laguna Blanca en volcán Sotar y Laguna del Buey en complejo volcánico Coconuco están clasificadas como típicas lagunas neutrales, con un pH cercano a 7 y muy bajo contenido de cationes en sus aguas [4].

Los cationes que se encuentran en la superficie del agua de las lagunas anteriormente nombradas y la medición de algunas variables físicas, se observan en la tabla 2.2 [4].

Laguna	Volcán	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Si (ppm)	pH	T (°C)
Laguna Verde	Azufral	47.5	19	85	12.3	79	2.5	58
Laguna Blanca	Sotará	0.64	0.16	0.46	0.10	5	6.3	6
Laguna del Buey	Complejo Coconuco	0.38	0.16	1.74	0.36	0.6	7.2	9
Laguna del Otún	Nevado de Santa Isabel	22.5	11.5	20	7.4	88	2.6	49

Tabla 2.2: Medición de elementos químicos y variables físicas en lagunas cratéricas colombianas

Las principales lagunas cratéricas que se encuentran en Colombia se muestran en la tabla 2.3.

Laguna Cratérica	Altitud (m)	Volcán	Altitud (m)
Laguna Cumbal	3240	Cumbal	4780
Laguna Verde	3800	Azufra	4070
Laguna Barrosa	3810	Azufra	4070
Laguna Negra	3830	Azufra	4070
Laguna Telpis	3500	Galeras	4270
Laguna Mejía	3560	Galeras	4270
Laguna Negra	3000	Galeras	4270
Laguna El Silencio	3610	Doña Juana	4140
Laguna Blanca	3600	Sotará	4580
Laguna del Buey	3100	Complejo Volcánico Coconuco	4400
Laguna Azul	3550	Complejo Volcánico Coconuco	4400
Laguna Negra	3600	Complejo Volcánico Coconuco	4400
Laguna El Encanto	3750	Nevado del Tolima	5250
Laguna del Otún	3940	Nevado Santa Isabel	4960
Laguna Verde	4150	Nevado Santa Isabel	4960

Tabla 2.3: Principales lagunas cratéricas en Colombia

En la figura 2.4 se pueden observar algunas de las lagunas cratéricas colombianas [4].



Laguna Azul en el complejo volcánico Coconuco



Laguna del Buey en complejo volcánico Coconuco



Laguna Barrosa en volcán Azufral



Laguna Verde en volcán Azufral



Laguna Negra en volcán Azufral



Laguna Blanca en volcán Sotará

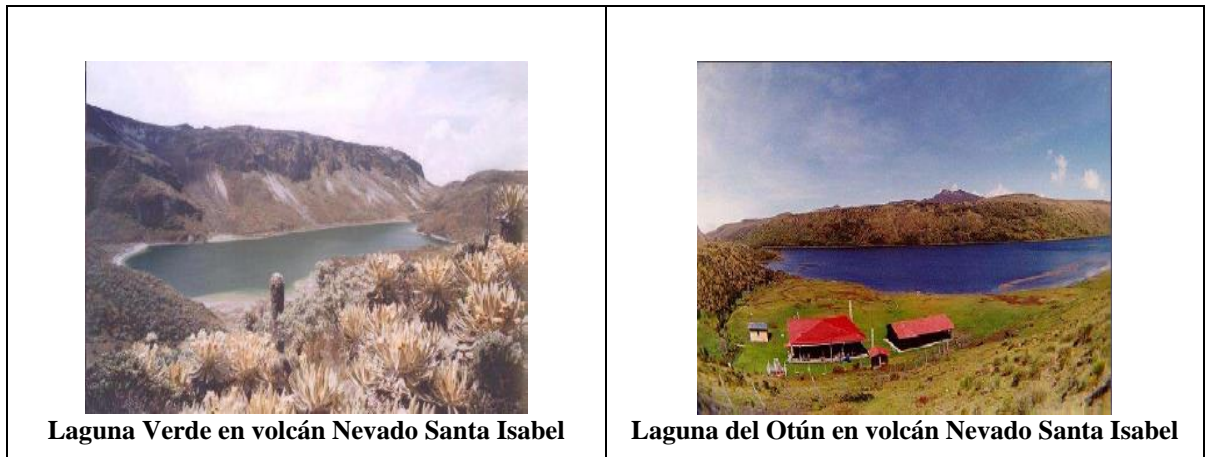


Figura 2.4: Algunas Lagunas Cratéricas colombianas

Aunque en las cercanías de estos volcanes no hay grandes ciudades, un significativo número de personas viven alrededor de éstos. En las proximidades del volcán Azufral están las poblaciones de Túquerres, Sapuyes, Espino y Tercan con una población en Túquerres de 17443 habitantes, y en los otros pueblos, un número de habitantes que sobrepasan los 20000, con una densidad de población de 87 a 4827 habitantes por Km².

Hasta el presente, en las lagunas cratéricas colombianas no hay evidencia de fatalidades humanas asociadas con erupciones cratéricas, ni por intoxicación con gases de las lagunas. Sin embargo, en el año 2000, fueron encontrados muertos animales similares a los conejos de montaña (*sylvilagus brassiliensis*) y águilas migratorias (*buteo platypteros*) alrededor de Laguna Verde en el volcán Santa Isabel. Esta laguna tiene un potencial de hidrógeno de 5.4; mientras que Laguna Verde del volcán Azufral se encuentra en la vecindad del domo activo y se clasifica en laguna ácida, con un potencial de hidrógeno de 2.6 y temperaturas entre 55 °C y 60 °C [4].

Capítulo 3

MARCO CONTEXTUAL

3.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo que detecta manifestaciones de propiedades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Contiene un transductor que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Puede ser de indicación directa o estar conectado a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador o un despliegue). Algunos ejemplos de estos dispositivos son: sensor de humo, termopar, ISFET (transistor de efecto de campo), fotodiodo, entre otros [5].

3.1.1 Presión

La presión puede definirse como fuerza por unidad de área o superficie, en donde la mayoría de los casos se mide por su equilibrio directamente con otra fuerza conocida, que puede ser la de una columna líquida, un resorte, un émbolo cargado con un peso, un diafragma cargado con un resorte, o cualquier otro elemento que pueda presentar deformación cualitativa cuando se aplica presión.

Presión Absoluta: es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas, lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó, debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar, por lo que un término “absoluto” unifica criterios.

Para determinar la presión absoluta en este caso, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Presión absoluta} = \text{presión hidrostática} + \text{presión atmosférica} \quad (3.1)$$

Presión Atmosférica: el hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y que este aire tenga un peso actuando sobre la tierra, es como se denomina presión atmosférica. Al nivel del mar o las alturas próximas a éste, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg^2 (101.35 Kpa, 1 atm), disminuyendo estos valores con la altitud.

Presión Relativa: es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.

3.1.2 Sensor de Temperatura

En el sensor de temperatura semiconductor, su salida (tensión o corriente) es directamente proporcional a la temperatura que se está midiendo, presentando bajo costo, alta impedancia de salida y se puede utilizar con alimentación única o dual. Este tipo de sensor forma parte de la tendencia a los “sensores inteligentes”, que son unos transductores cuya inteligencia incorporada facilita las actividades de reducción y análisis de datos que el usuario debe realizar normalmente en el sistema de adquisición de datos [5].

3.1.3 Sensor de Imagen

Un Active Píxel Sensor (APS), es un sensor de imagen que detecta la luz basado en tecnología CMOS y por ello es más conocido como sensor CMOS. Por tecnología CMOS es posible integrar más funciones en un chip sensor, como por ejemplo control de luminosidad, corrector de contraste y hasta un conversor análogo-digital.

El APS se basa en el efecto fotoeléctrico. Está formado por numerosos fotodiodos (semiconductores contruidos por una unión PN, sensible a la incidencia de la luz o infrarroja), uno para cada píxel, que producen una corriente eléctrica que varía en función de la intensidad de luz recibida. En el CMOS se incluye el conversor digital en el propio chip y se incorpora un amplificador de la señal eléctrica en cada fotodiodo [6].

Una ventaja es que la electrónica de este chip puede leer directamente la señal de cada píxel, lo que soluciona el problema conocido como *blooming*, por el que la recepción de una gran intensidad lumínica en un punto, influye en los píxeles adyacentes, o también es la capacidad máxima de excitación, por encima de la cual, si los sensores de intensidad de luz de la cámara siguen recibiendo luz, comienzan a transmitir carga eléctrica a las sensores contiguos, con lo cual estos últimos aparecen con un color que no es el que debieran tener[6].

La desventaja es que entre los receptores de luz (fotodiodos) se encuentra mucha electrónica que no es sensible a la luz, lo que implica que no puede captar tanta luz en una misma superficie del chip. La solución al problema vino no solo por una mayor densidad de integración, por lo que la electrónica no sensible se reducía en tamaño, sino por la aplicación de microlentes que a modo lupa concentran la luz de cada celda en su fotodiodo. Los fotodiodos captan únicamente intensidad lumínica, para lo que se suele emplear un filtro conocido como máscara de Bayer para la distinción de los colores.

El filtro, máscara o mosaico de Bayer es una malla cuadrículada de filtros rojos, verdes y azules que se sitúa sobre un sensor digital de imagen (APS) para hacer llegar a cada fotodiodo una tonalidad de los distintos colores primarios. Interpolando las muestras de cada fotodiodo, se obtiene un píxel de color [7].

3.2 Fuentes y Esquemas de Iluminación

La iluminación juega un papel vital en un sistema de visión, pues simplifica de manera considerable el análisis y posterior interpretación de la escena captada. Es un factor que suele afectar de forma considerable la complejidad de los algoritmos de visión. La iluminación existente en el entorno no suele ser aceptable ya que se obtienen imágenes con bajo contraste (poco o demasiado iluminadas), sombras no deseadas, etc.

3.2.1 Esquema Básico de Iluminación

Se puede catalogar a las distintas luces por el tipo de sombras que generan. Se llaman luces duras a las que generan sombras nítidas; el sol directo, los *spots* que concentran el haz de luz, lámparas y *flashes* son ejemplos de éstas. Las luces suaves serán las de sombras difusas, es la luz que siendo rebotada o transmitida no consigue perfilar la sombra. El sol rebotado o transmitido en las nubes genera sombras de este tipo [8]. La figura 3.1 muestra un esquema básico de iluminación.



Figura 3.1: Esquema básico de iluminación

Una sola luz puede ser suficiente para iluminar toda la escena, la luz principal dentro de un sistema de iluminación es la que determina la exposición por su intensidad, el tipo de sombras por el accesorio que se esté utilizando, la orientación de la sombra por la orientación de la fuente de luz. En definitiva, la imagen depende en un porcentaje altísimo de la elección que se realice de la luz principal. La luz de relleno es una segunda fuente que se ocupa de iluminar las sombras que produce la luz principal. Puede ser sólo un reflector que rebote la luz principal o una nueva fuente de luz. De esta luz depende el contraste de la iluminación. Es normal ajustar esta luz por debajo de la principal. Si la diferencia no es muy grande se habla de un contraste suave, si la diferencia es mayor, el detalle en las sombras será mínimo y se habla de un contraste elevado.

La luz de efecto, de pelo o de separación, se orienta desde atrás del sujeto y permite separarlo del fondo y dar mayor relieve a la imagen. Habitualmente es un poco más alta que la principal.

La luz de fondo es el entorno del objeto que generalmente se lo ilumina a la misma intensidad que la luz principal.

3.2.2 Esquema con Luz Polarizada

Un haz de luz está formado por ondas de distintas longitudes que vibran en infinitos planos de oscilación. Cuando ese haz se refleja en una superficie no metálica, el porcentaje de luz emergente vibra sólo en un plano de oscilación, queda polarizado. Esto ocurre por ejemplo en cristal, el plástico, el mármol, el cuero, el agua e incluso en la piel humana.

Iluminar para hacer una reproducción, tiene como dificultad la de conseguir que la exposición sea homogénea en toda la superficie y que no haya brillos que desvirtúen el original a captar.

Para lograr esto, la figura 3.2 muestra como deben colocarse siempre dos luces iguales a 45° que cumplirán esa función, en el caso de que la superficie sea muy grande puede ser necesario 4 luces. En este ejemplo, los pliegues del papel tienden a formar brillos que se eliminaron iluminando con luz polarizada, para ello se polarizan los focos con filtros. Se enciende uno de los dos y se elimina el brillo desde la cámara que también está polarizada. Luego se enciende la segunda lámpara y se la hace girar hasta que el brillo que produce desaparece en la cámara [8].

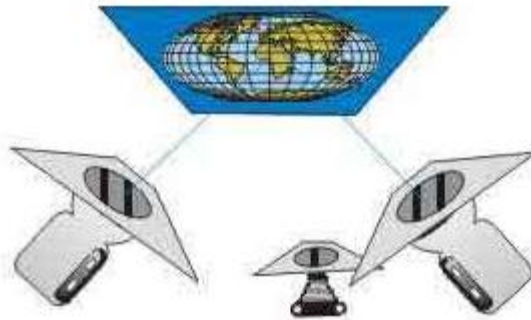


Figura 3.2: Esquema que utiliza luz polarizada

3.2.3 Iluminación Direccional

Casi todo el flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que ha de iluminar. Se utiliza en aplicaciones como localización y reconocimiento de piezas, o inspección de la superficie de los objetos. La forma del haz luminoso depende de la aplicación y del objeto a analizar. Este tipo de iluminación es de fácil uso, y su utilización puede requerirse por la necesidad de iluminar los objetos para ser percibidos con su volumetría resaltada, o para aprovechar la formación de sombras que resaltan la presencia de defectos en los materiales [6].

3.2.4 Tipos de Lámparas

En la actualidad se disponen de muchos tipos de lámparas para la producción de iluminación artificial; todos estos tipos están basados solamente en dos fenómenos físicos: calor y luminiscencia. Por lo tanto se puede distinguir entre lámparas basadas en la elevación de la temperatura de un cuerpo, es decir, en elementos que emiten radiaciones caloríficas y lámparas basadas en otras propiedades cuya característica común es que apenas existe elevación de temperatura; o sea, en elementos que permiten radiaciones luminiscentes. Algunas lámparas emiten ambas clases de radiaciones.

3.2.4.1 Lámpara Halógena

La lámpara halógena es también conocida como lámpara halógena de tungsteno ó lámpara de cuarzo. Es una lámpara más pequeña y eficiente comparada con sus antecesoras incandescentes comunes de igual potencia, pero con la ventaja añadida de brindar una iluminación mucho más brillante y con un tiempo de vida útil más prolongado.

En estas lámparas, se somete el filamento a una temperatura mucho más alta que la que normalmente soportan las lámparas comunes (3000°C aproximadamente) y se obtiene una mayor intensidad de iluminación por unidad de energía; el gas halógeno puede ser yodo o bromo. Además, en lugar de utilizar cristal común, para la cápsula o envoltura de protección se utiliza cristal de cuarzo, que soporta muchísimo mejor la alta temperatura a la que se ve sometido el filamento, sin derretirse [8].

3.2.4.2 Lámparas de diodos

Utilizan como fuente de iluminación los V-LED (*visible-light emitting diodes*). Este tipo de fuente luminosa es una de las más comúnmente utilizadas en la industria de la optoelectrónica para paneles indicadores de todo tipo.

El corazón de un Diodo de Emisión de Luz (*LED*) es un *chip* de silicio del tamaño de un grano de sal construido de una combinación de cristales. Cuando una pequeña corriente eléctrica pasa a través del *chip* genera luz. Los *LEDs* presentan una serie de ventajas de orden técnico sobre cualquier otro tipo de iluminación incluyendo:

- Prácticamente toda la luz generada por el *LED* es utilizable para la generación de color sin necesidad de filtros.
- Toda la energía utilizada por el *LED* es convertida en luz en lugar de calor.
- La vida útil de los *LEDs* es de 100,000 horas (27 años asumiendo un funcionamiento continuo a razón de 10 horas diarias [9]).

3.2.4.3 Lámpara Fluorescente

Es una lámpara de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte. La descarga se produce en un recipiente tubular de gran longitud con relación a su diámetro, sobre cuya pared interior se ha depositado una fina capa de sustancias minerales fluorescentes. En las extremidades del tubo se sitúan los electrodos. El tubo está relleno de un gas noble, generalmente argón a algunos milímetros de presión, y de una pequeña cantidad de mercurio [8].

Las ventajas de ésta lámpara sobre las demás lámparas eléctricas existentes son:

- Variedad de los tonos de luz, sobre todo en la luz blanca.
- Calidad en ciertos tonos de luz de tener una distribución espectral muy parecida a la de la luz natural.
- Emisión de luz por una línea luminosa, que puede ser ininterrumpida.

3.3 Conversión Análoga – Digital

En términos generales, las señales que pueden tomar cualquier valor en un rango continuo de trabajo son llamadas señales análogas. Por el contrario, las señales digitales están constituidas por pulsos que realizan transiciones bruscas entre dos niveles. A menudo, cuando las señales análogas deben ser tratadas, son convertidas a una forma digital de tal manera que su procesamiento se haga digitalmente.

La conversión Análoga – Digital toma una señal de voltaje análogo a la entrada y a la salida produce una palabra digital equivalente al valor de dicho voltaje aplicado. Esta conversión comprende normalmente varias etapas, ya que se debe hacer corresponder un rango continuo de voltaje a un número digital específico. Su funcionamiento se debe a que el dispositivo que realiza esta tarea posee dos señales de entrada V_{ref+} y V_{ref-} que determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada. El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución.

Un tipo de conversor A/D es el conversor de aproximaciones sucesivas, es uno de los más usados debido a su buena velocidad, bajos tiempos de conversión y poca complejidad. El conversor consiste de un Comparador, de un *DAC* (conversor digital/análogo), de un Registro de Aproximaciones Sucesivas, de un Reloj y de una Lógica de Control. El esquema de este conversor se muestra en la figura 3.3 [10].

El registro de Aproximaciones Sucesivas ó *SAR* contiene a su vez un registro de control y un registro de desplazamiento. La lógica de control modifica bit a bit el contenido del registro hasta que este contenido se convierte en el equivalente digital de la señal analógica de entrada V_i . La salida del comparador le dice a la lógica de control si con el bit fijado, la salida del *DAC* es mayor o menor que la señal V_i .

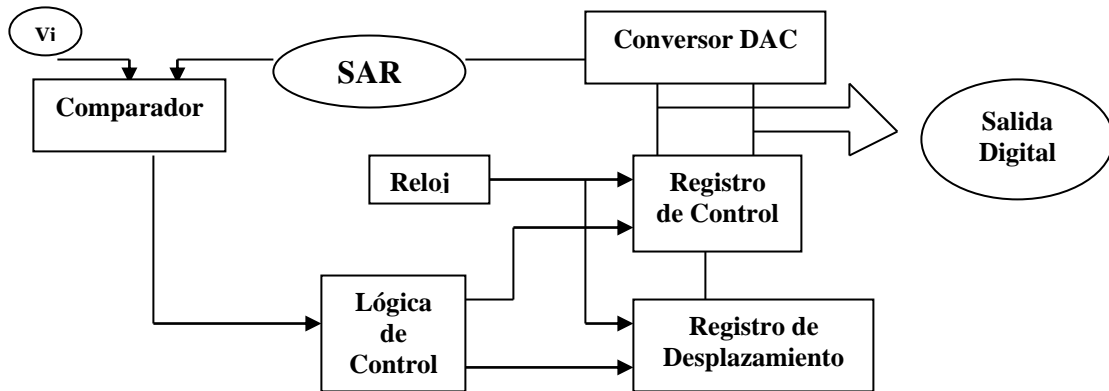


Figura 3.3: Esquema de convertor A/D de aproximaciones sucesivas

Una señal de inicio, resetea todos los bits del *SAR* y permite el paso de los pulsos del reloj. Con el primer pulso del reloj, se acciona la primera etapa que fija el primer bit en el registro de desplazamiento, introduciendo el bit más significativo *MSB* al conversor *DAC*. El conversor *DAC* convierte esta palabra digital en el valor análogo respectivo y se compara este valor con la señal de entrada V_i . Si la entrada V_i es mayor que la salida del *DAC* el *MSB* se fija a 1, si no se fija a 0.

Con el segundo pulso de reloj, el registro de desplazamiento corre el segundo bit más significativo al conversor *DAC*. De nuevo se hace la comparación de la salida del *DAC*, cuyo valor de entrada contiene los dos bits más significativos, con V_i y según el resultado de la comparación si fija en 1 el bit correspondiente o se lo vuelve a poner en 0. Se continua así con el siguiente bit más significativo hasta introducir el último bit. Una vez finaliza la conversión, la lógica deshabilita el reloj y habilita el paso de palabra de salida deteniendo el proceso de conversión hasta una nueva orden de inicio.

3.4 Multiplexación

En un sistema de comunicación es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión.

Una aplicación usual de la multiplexación son las comunicaciones de larga distancia. Los enlaces de las redes de larga distancia son líneas de alta capacidad de fibra, de cable coaxial o de microondas, de modo que pueden transportar simultáneamente varias transmisiones de voz y de datos haciendo uso de las técnicas de multiplexación. El multiplexor combina los datos de las n líneas de entrada y los transmite a través de un enlace de datos de capacidad superior [11].

Existen muchas formas de multiplexación según el sistema de comunicación, las más utilizadas son:

- La multiplexación por división en el tiempo síncrona o *TDM*, se puede utilizar con señales digitales o con señales analógicas que transportan datos digitales. En esta forma de multiplexación, los datos procedentes de varias fuentes se transmiten en tramas repetitivas. Cada trama consta de un conjunto de ranuras temporales, asignándoseles a cada fuente una o más ranuras por trama. El efecto obtenido es la mezcla de los bits de datos de las distintas fuentes.
- La multiplexación por división en frecuencias o *FDM*, se puede usar con señales analógicas, de modo que se transmiten varias señales a través del mismo medio gracias a la asignación de una banda de frecuencia diferente para cada señal. El equipamiento de modulación es preciso para desplazar cada señal a la banda de frecuencia requerida, siendo necesarios, por su parte, los equipos de multiplexación para combinar las señales moduladas.

- La multiplexación por división en el tiempo estadística, proporciona un servicio generalmente más eficiente que la técnica *TDM* síncrona para el soporte a terminales. Las ranuras temporales en *TDM* estadística no están preasignadas a fuentes de datos concretas, sino que los datos de usuario se almacenan y transmiten tan rápido como es posible haciendo uso de las ranuras temporales disponibles.

3.5 Microcontrolador PIC 18F452

Este dispositivo es, en un solo chip, un pequeño computador, ya que cuenta con memoria para un programa, una CPU, memoria de datos, almacenamiento y puertos de entrada y salida, que le permite funcionar como el cerebro de dispositivos electrónicos más complejos. Su comportamiento puede ser fácilmente escrito en posibles distintos lenguajes.

Las aplicaciones de este dispositivo son tantas como lo permita la imaginación, y están en más lugares de los que se cree. Por nombrar algunos, se encuentra en todos los automóviles, hornos microondas, teléfonos celulares, etc [12].

El PIC es un dispositivo digital que puede interactuar con el resto de un circuito a través de sus pines o líneas de datos, que pueden configurarse como entradas o salidas. Cuando son entradas pueden adquirir datos, interpretando si en ellos existe un valor lógico 1 o 0, mientras que cuando son salidas, pueden controlar su valor lógico. Entonces su trabajo es básicamente, interpretar los valores en sus pines de entrada y realizar alguna acción según éstos, mediante los pines de salida [12]. Posee, entre otras características, las que se mencionan a continuación:

- Conversor Análogo – Digital: convierte un voltaje presente en una línea de entrada en un valor numérico manipulable por el programa.

- Modulador por ancho de pulso, o PWM: genera una onda cuadrada de frecuencia fija pero con ancho de pulso controlable.
- Comunicación serial por hardware: permite enviar y recibir datos serialmente en forma síncrona y asíncrona.

3.5.4 Arquitectura del PIC 18F452

Los microcontroladores PIC 18FXXX poseen arquitectura Harvard, con una memoria de datos de 1536 bytes, 256 bytes de EEPROM y una memoria de programa de 16.384 instrucciones.

La arquitectura conocida como Harvard, consiste en un esquema en el que una de las memorias contiene solamente las instrucciones del programa, y es la Memoria de Programa. La otra memoria sólo almacena los datos y se llama Memoria de Datos [12]. Ambos buses son totalmente diferentes y pueden ser de distintos anchos.

Ventajas:

- Que el tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos, y por lo tanto puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de memoria de programa, logrando así mayor velocidad y menor longitud del programa.
- Que el tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos, logrando una mayor velocidad de operación.

3.5.5 Procesador

Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir la instrucción en su curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica dicha instrucción, así como la búsqueda de los operándos y el almacenamiento del resultado. El PIC 18F452 tiene un procesador de alto rendimiento RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador. La figura 3.1 muestra el diagrama de bloques del PIC 18F452.

3.5.6 Contador

Este registro contiene la dirección de la próxima instrucción a ejecutar. Se incrementa automáticamente al establecer cada instrucción, de manera que la secuencia natural de ejecución del programa es lineal, o sea una instrucción después de la otra. El contador es un registro de 21 bits en este PIC, lo que permite direccionar 2 Mbytes de memoria de programa.

3.5.7 Puertos de Entrada y Salida

La principal utilidad de los pines que posee la cápsula que contiene el PIC, es soportar las líneas de *E/S* que comunican al computador interno con los periféricos exteriores. Según los controladores de los periféricos que posea cada modelo del PIC, las líneas de *E/S* se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control. El PIC 18F452 tiene cinco puertos de *Entrada/Salida* de usos generales llamados Puerto A, Puerto B, Puerto C, Puerto D y Puerto E. Cada puerto tiene tres registros de operación:

- El registro *TRIS*: determina la dirección del puerto (1 = Entrada, 0 = Salida).
- El registro *PORT*: establece los niveles leídos a los pines del puerto.

- El registro *LAT*: como alternativa al registro anterior.

3.5.8 Puerto de Comunicación

Para dotar al PIC de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, buses de microprocesadores, buses de sistema, buses de redes y poder adaptarlo bajo otras normas y protocolos, se utiliza el módulo *USART* (*Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), es la interface serial de comunicación del PIC 18F452, por medio de éste se establece comunicación con equipos con protocolo EIA-232 [12].

Este módulo puede funcionar en los siguientes modos:

- Asíncrono - Full Duplex
- Síncrono Master - Half Duplex
- Síncrono Slave – Half Duplex

Asíncrono – Full Duplex: la comunicación es bidireccional. El pin *RC6/TX* del PIC actúa como línea de transmisión y la *RC7/RX* como línea de recepción. Cada dato lleva un bit de inicio y otro de parada.

3.6 Amplificador Lineal

El propósito de un transistor es amplificar pequeñas señales o controlar grandes corrientes o tensiones usando pequeñas señales de control.

3.6.4 Transistor NPN

Un semiconductor que tiene electrones libres capaces de migrar a través de cualquier sólido se le llama semiconductor tipo N. Éste se forma por la adición de impurezas al material aislante que inmediatamente lo convierte en conductor.

El semiconductor tipo P es un semiconductor que tiene *huecos* en la matriz del cristal, que pueden ser cubiertos por electrones que pasen a través de ellos. La conducción en estos materiales se produce debido al movimiento de los electrones de *hueco* en *hueco* para cruzar el cristal.

Los transistores son uniones de este tipo de materiales semiconductores y dependiendo de la forma como se ubiquen estos materiales se pueden conformar dos tipos de transistores: NPN y PNP. En un transistor NPN no ocurrirá nada hasta que el voltaje en la base no supere los 0.6 V, cuando esto ocurre una pequeña corriente de base convertirá la región semiconductor tipo P, en conductora. Una gran corriente circulará libremente de colector a emisor y así se dará el proceso de la amplificación.

3.7 Medio de Transmisión

Es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Las características y calidad de la transmisión están determinadas tanto por el tipo de señal como por las características del medio. En el diseño de sistemas de transmisión es deseable que tanto la distancia como la velocidad de transmisión sean lo más grandes posibles. Hay una serie de factores relacionados con el medio de transmisión y con la señal que determinan las anteriores cantidades:

- El ancho de banda: si todos los otros factores se mantienen constantes, al aumentar el ancho de banda de la señal, la velocidad de transmisión se puede incrementar.

- Dificultades en la transmisión: las dificultades, como por ejemplo la atenuación, limitan la distancia.
- Interferencias: las interferencias resultantes de la presencia de señales en bandas de frecuencias próximas pueden distorsionar o destruir la señal.

3.7.1 Cable Coaxial

El cable coaxial está formado por un conducto cilíndrico externo que rodea a un cable conductor interno. El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados, o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se protege con una cubierta o funda. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado entre 1 cm y 2.5 cm. Se puede usar para cubrir grandes distancias [11].

El cable coaxial es quizá el medio de transmisión más versátil, por lo que se está utilizando cada vez más en una gran variedad de aplicaciones. Las más importantes son:

- La distribución de televisión hasta el domicilio de los usuarios.
- La telefonía a larga distancia: usando multiplexación por división en frecuencia (*FDM*), el cable coaxial puede transportar simultáneamente más de 10.000 canales de voz.
- Los enlaces en computadores a corta distancia
- Las redes de área local

El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Permite mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Debido al apantallamiento, éste es menos susceptible a interferencias como a diafonía. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación.

3.8 Transmisor/Receptor Multicanal RS-232

El envío de niveles lógicos (bits) a través de cables o líneas de transmisión necesita la conversión a voltajes apropiados. La electrónica digital TTL opera con niveles de voltaje inferiores a 0.8 V para representar el valor lógico 0 y voltajes mayores a 2.0 V para representar el valor lógico 1. Por lo general cuando se trabaja con familias TTL y CMOS se asume que un “0” es igual a 0 V y un “1” a +5 V.

La interface RS-232 cambia los niveles lógicos de la salida o envío de 0 V y 5 V a dos niveles de voltaje de magnitud mayor: uno positivo (+V) para representar el cero lógico y uno negativo (-V) para representar el uno.

En el equipo receptor de la información se realiza el proceso contrario, los niveles positivos y negativos que lleguen se convierten a los niveles lógicos tradicionales de 0 V y 5 V. Un MAX 232 está compuesto por el circuito transmisor que convierte la señal de bajo voltaje a los niveles de voltaje alto que se necesitan en la línea de transmisión y un receptor que realiza la función inversa [13].

El MAX 232 tiene un doblador de voltaje de +5 V a +10 V y un inversor de voltaje para obtener la polaridad de -10 V.

3.9 LabVIEW – National Instruments

Con la introducción en 1986, National Instruments empezó la instrumentación virtual, el concepto de habilitar a usuarios para definir su propia solución usando software integrado a un computador y una amplia variedad de hardware. Al usar *LabVIEW* para medición y automatización, se puede adquirir datos al conectarse con varias piezas de hardware, definir una aplicación para analizar o tomar decisiones en base a esos datos y después presentar esos datos por medio de interfaces gráficas, páginas Web, archivos de bases de datos y más.

LabVIEW es un revolucionario ambiente de desarrollo gráfico, está altamente integrado con el hardware de medida, con lo que se puede configurar y usar rápidamente cualquier dispositivo de medida que se tenga. Con *LabVIEW* puede conectarse a miles de instrumentos, para construir sistemas de medida completos, incluyendo desde cualquier tipo de instrumento autónomo hasta dispositivos de adquisición de datos, controladores de movimiento, entre otros. Sus características principales son:

- Intuitivo lenguaje de programación gráfico para ingenieros y científicos.
- Herramientas de desarrollo y librerías de alto nivel específicas para aplicaciones.
- Cientos de funciones para *E/S*, control, análisis y presentación de datos.
- Despliegue en ordenadores personales, móviles, industriales y sistemas de computación empujados.

Capítulo 4

DISEÑO Y MONTAJE DEL DISPOSITIVO

4.1 Sistema Sensorial

En el presente capítulo se explica como se construyeron los circuitos que componen el sensor de presión y el sensor de temperatura, además se hace una descripción detallada de la cámara de video utilizada para captar las imágenes del interior de la laguna.

Para comenzar con la elección de los detectores que participaron en el sistema sensorial, se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos:

- La profundidad máxima que debe sumergirse el dispositivo es 50 metros, lo que supone una presión de aproximadamente 5 atm.
- Datos superficiales de temperatura anteriormente evaluados en otras lagunas cratéricas, tal como se muestra en el capítulo dos, entregan valores inferiores a 60°C, pero se espera que esos valores se incrementen a medida que el dispositivo se sumerja a mayor profundidad, por el hecho de estar más cerca de la zona magmática.
- La prueba de turbidez realizada por los laboratorios de Ingeominas a una muestra de agua superficial de la laguna cratérica del Buey (Paletará, Cauca), entregó el valor de 0.5 *NTU* (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

4.1.1 Sensor de Presión

Para llevar a cabo este circuito y, después de una evaluación de los requerimientos que se necesitan para satisfacer las exigencias del medio, se optó por trabajar con el sensor de presión MPX 2100; es una piezorresistencia de silicio que al deformarse físicamente por la acción de una presión, genera una señal eléctrica proporcionando una variación de tensión lineal directamente proporcional a la presión que se le aplica. El sensor consta de un diafragma monolítico de silicio para la medida del esfuerzo y una fina película en una red de resistencias integradas en un chip.

Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal siendo adecuado para medidas dinámicas, al ser capaz de dar respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo.

4.1.1.1 Calibración y Compensación de Temperatura en el Chip

La figura 4.1 muestra las características de salida de la serie MPX 2100 a 25°C. La salida es directamente proporcional a la diferencia de presión y es prácticamente una línea recta. Los efectos de la temperatura a fondo de escala y el desplazamiento son muy pequeños y se muestra su efecto en las características [14].

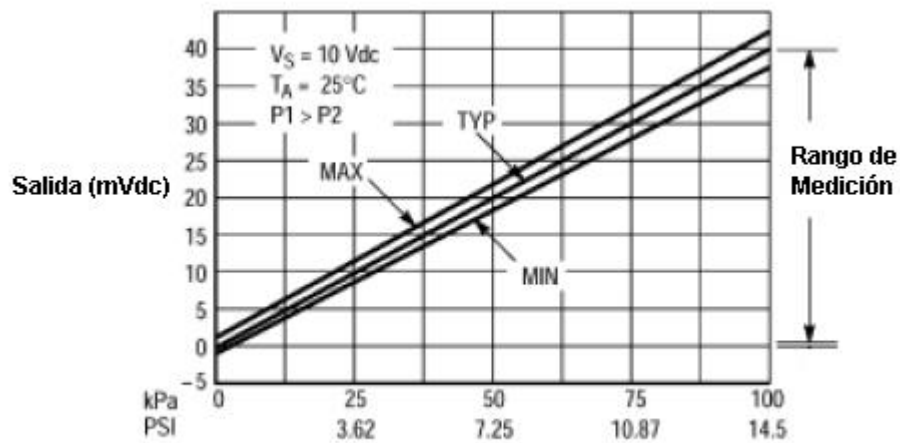


Figura 4.1: Tensión de salida en función de la diferencia de presión

La figura 4.2 muestra la diferencia entre la configuración absoluta (parte derecha) y la configuración de la calibración (parte izquierda), en el encapsulado del chip básico. Un gel de silicona aisla el medidor del ambiente, permitiendo transmitir el sentido de la presión al diafragma de silicio. Esta serie de sensores de presión opera dentro de sus características técnicas y su fiabilidad ha sido probada con aire seco, utilizando medios de comunicación de presión.

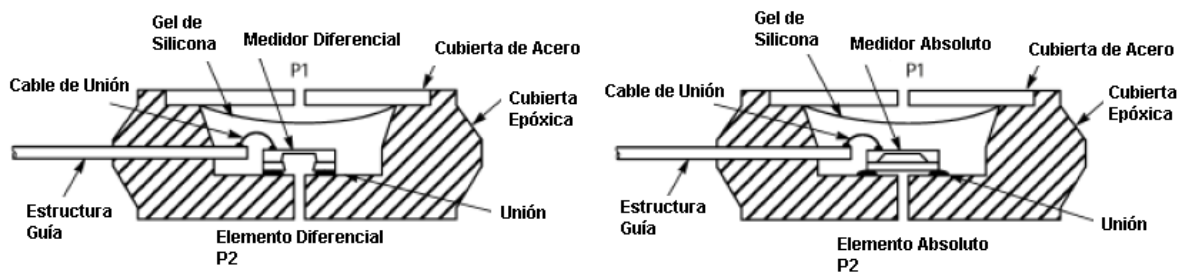


Figura 4.2: Diagrama de la sección de cruce

El rango de temperatura varía entre -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$, cumpliendo con las condiciones del medio que se estima gracias a las mediciones superficiales vistas en el capítulo 2, se encuentran dentro de este intervalo.

El circuito que acompaña al sensor de presión hace que la señal de salida sea 0.5 V como respuesta cercana a presión cero y 4.5 V a presión máxima. La salida está diseñada para conectarse directamente a un conversor análogo – digital, el esquema de este circuito se muestra en la figura 4.3.

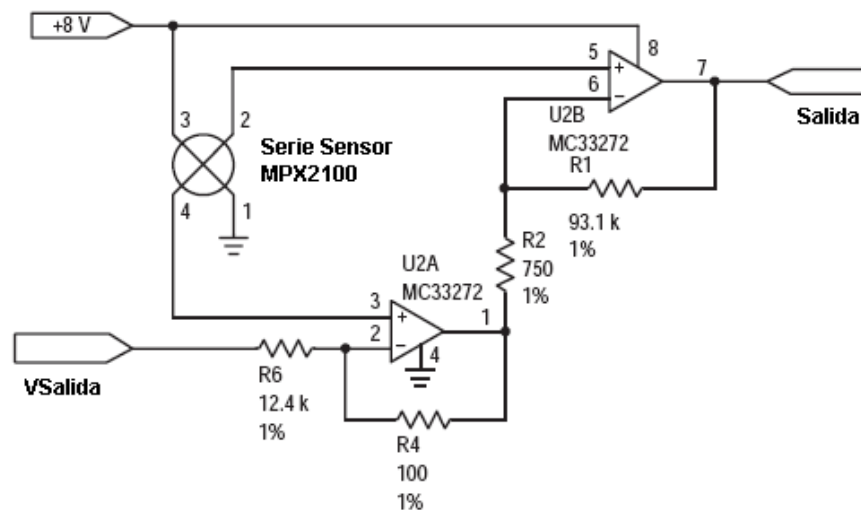


Figura 4.3: Esquema del circuito que acompaña al sensor de presión MPX2100

Debido a que el dispositivo se va a sumergir hasta 50 m de profundidad, se necesita que el sensor soporte 5 atm de presión aproximadamente, el MPX 2100 trabaja de 0 a 14.5 psi (0 a 1 atm), además como no se lo puede colocar directamente en el agua, se hizo necesario hacer un acople físico para suplir estos inconvenientes. En este caso se empleó como acople una jeringa que se conectó al sensor de presión, en su interior llevó 2 resortes que hicieron las veces de sensores de la presión externa entrante para de esta manera soportar las 5 atm máximas que se obtienen a los 50 m de profundidad y fue el émbolo de la jeringa el objeto físico que transmitió la presión al sensor.

4.1.2 Sensor de Temperatura

El circuito integrado utilizado para sensar la temperatura desde la superficie de la laguna cratérica hasta 50 metros de profundidad es el LM 35, es un sensor de temperatura que produce voltaje de salida proporcional a la temperatura a la que está expuesto, mide la temperatura en °C y proporciona un voltaje de salida +10 mV/ °C , entonces teóricamente, se debe presentar una lectura de 250 mV en 25°C y de 1 V en 100°C; el LM 35 mide temperaturas que van desde -55°C a +150°C con un margen de error de 1°C, además no requiere de circuitos de calibración de ajuste. La curva característica típica del LM35 es la que se observa en la figura 4.4.

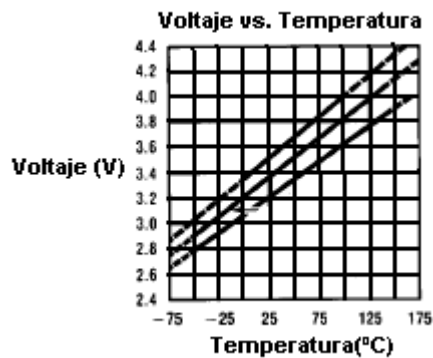


Figura 4.4: Curvas de corriente – voltaje características del LM35

4.1.3 Cámara de Video

La cámara de video es genérica a color, el sensor de imagen se basa en tecnología CMOS (*Complementary Metal – Oxide Semiconductor*), lo que presenta una serie de ventajas sobre otras cámaras: exige menor alimentación ya que ésta se puede conectar a una batería de 9 V, es más inmune a la influencia de altas radiaciones y no se ve afectada por el efecto *blooming*. Su resolución es igual a 380 líneas de televisión, la iluminación mínima que

necesita para captar la imagen es muy baja, sólo de 3 lux, funciona con el sistema NTSC y la salida de video es de 1 Vpp con una impedancia de salida de 75Ω .

4.2 Sistema de Iluminación

Una vez se montó el sistema sensorial, se procedió a diseñar el sistema de iluminación para la buena captación de las imágenes. El utilizado para proveer la iluminación adecuada que permite captar las imágenes con la cámara de video se compone de una lámpara halógena de cápsula que funciona con 12 V en corriente directa a 55 W de potencia.

4.3 Sistema de Comunicación de Datos y Video

Este sistema se encargó de recoger los datos entregados por los sensores de temperatura y de presión, digitalizarlos, multiplexarlos y enviarlos junto con el video entregado por la cámara desde la profundidad de la laguna hacia la superficie donde se encuentra el computador.

4.3.1 Procesamiento de los Datos Sensados

La figura 4.5 muestra el esquema que describe el procesamiento que se realizó a los datos sensados.

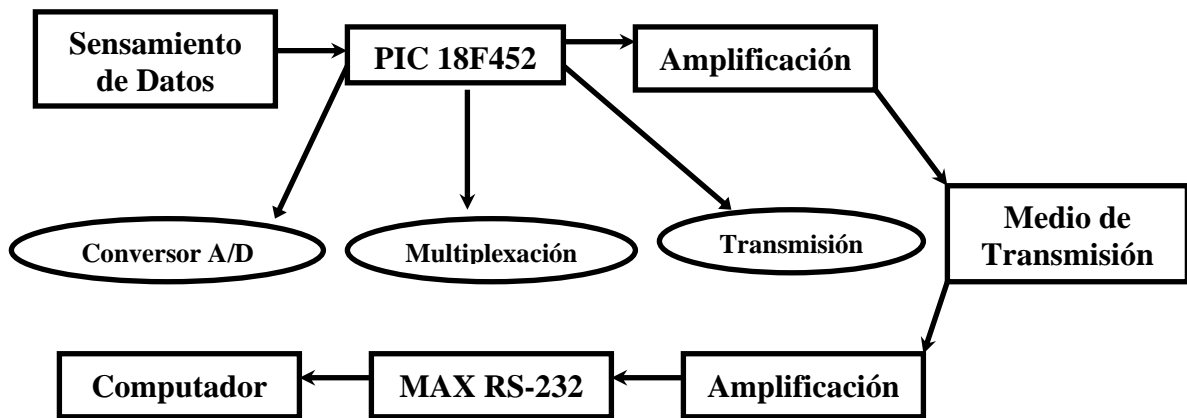


Figura 4.5: Esquema del procesamiento de los datos sensados

4.3.1.1 Digitalización y Multiplexación

La digitalización y posterior multiplexación de los datos sensados, se hizo a través del PIC 18F452 de la familia Microchip.

La programación del PIC se realizó en lenguaje C mediante el programa MPLAB – C18; en éste se ordenó que el puerto A sirviera como entrada de los datos sensados, específicamente en RA0 se direccionó Temperatura y en RA1 se direccionó Presión, luego se hizo la conversión análoga – digital correspondiente a cada tren de datos sensados, dicho tren de datos contiene 8 bits de información que fueron a depositarse uno tras otro dependiendo de un tiempo impuesto en el registro ADRESH (este registro es el encargado junto con el ADRESL de contener el resultado entregado por la conversión análoga / digital interna que hace el PIC), esto con el fin de diferenciar los datos de temperatura de los datos de presión.

Al mismo tiempo que los datos se van organizando de la anterior manera, esto también permite la multiplexación de los dos tipos de datos para enviarlos por un solo canal. Con ayuda de la USART, se transmitieron los datos digitalizados y multiplexados desde el PIC hacia el exterior.

4.3.1.2 Amplificación

Una vez hecha la transmisión de los datos a través de la USART, éstos llegan a un circuito amplificador ubicado en la parte anterior y posterior del cable coaxial para, de esta manera, garantizar que tanto a la entrada como a la salida del cable coaxial haya respuesta de la señal de los datos y así evitar la posible pérdida de información.

4.3.1.3 Medio Físico de Transmisión

El medio físico de transmisión más viable y que se acomodó a los requerimientos del medio (agua) fue el cable coaxial. Para la transmisión de los datos entregados por los sensores se empleo el cable coaxial RG-58, éste cuenta con una impedancia de $50 \Omega/m$ y es con el que se trabaja en los organismos encargados de la vigilancia volcánica para la transmisión de datos a larga distancia. Una vez los datos han pasado a través de los 50 metros de cable coaxial los recibe otra etapa de amplificación idéntica a la nombrada en la sección 4.3.1.2 y posteriormente llegan al MAX RS-232.

4.3.1.4 MAX RS-232

La salida de la segunda etapa de amplificación se conecta a la entrada de un MAX 232 para que mediante este integrado, se pueda comunicar al computador los datos recolectados de los sensores enviados por el PIC 18F452. A su vez, la salida del MAX 232 va a un conector de puerto serial para la comunicación con el computador.

4.3.1.5 Adaptador de Puerto USB a Serial

Debido a que la mayoría de computadores portátiles recientes no poseen puerto serial, se ajustó un cable adaptador de puerto USB a serial TU-S9 de TRENDnet, es un adaptador

externo para convertir el puerto USB a serial que posibilita la conexión a dispositivos externos utilizando el puerto serial.

4.3.1.6 Circuito General para el Sistema de Comunicación de Datos

En la figura 4.6 y 4.7 se muestran los circuitos que hicieron posible recoger, transmitir y comunicar los datos desde la profundidad donde el dispositivo estuvo sensando hasta la superficie donde el computador recibió la información.

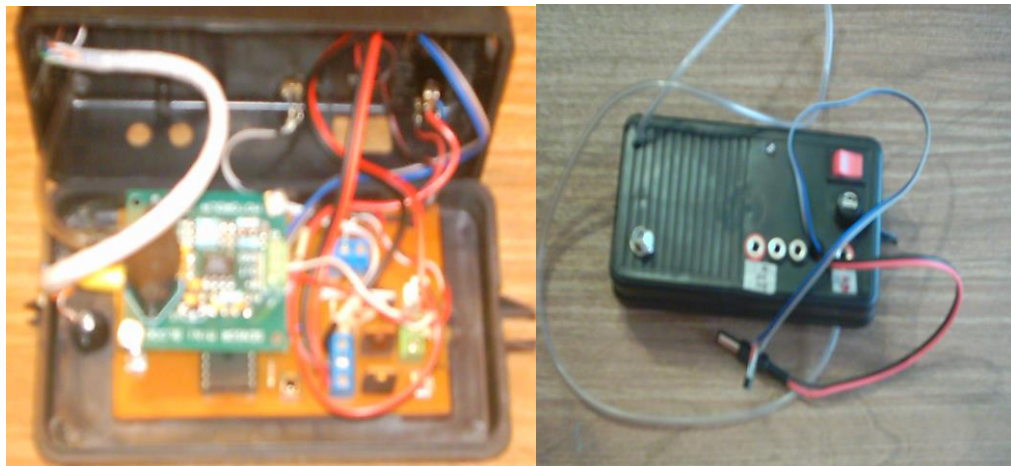


Figura 4.6: Circuito recolector y transmisor de los datos sensados

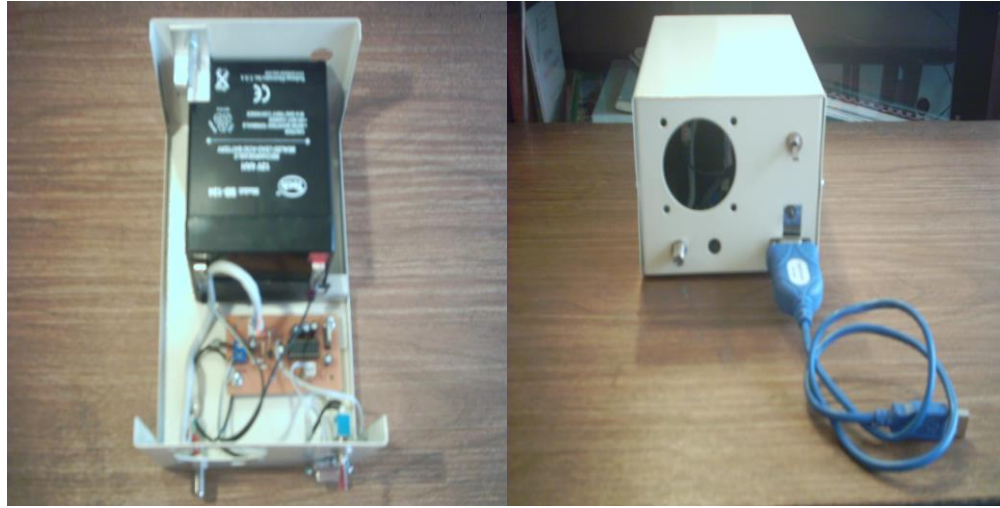


Figura 4.7: **Circuito para la comunicación de los datos al computador**

4.3.2 Transmisión de Video

La salida de video entregada por la cámara se conectó directamente al cable coaxial RG-59, el cual posee una impedancia de $75\Omega/m$ y que permitió una buena transmisión a través de los 50 m de longitud que se necesitaba para el dispositivo.

4.4 Cámara Hermética

La cámara hermética diseñada para sumergir a 50 metros de profundidad y soportar aproximadamente 5 atmósferas de presión se constituyó en gran parte del material PVC para presión; en la figura 4.8 se observa la cámara hermética que contuvo los distintos dispositivos que hicieron posible realizar las mediciones de temperatura y presión, además de la recepción de las imágenes.

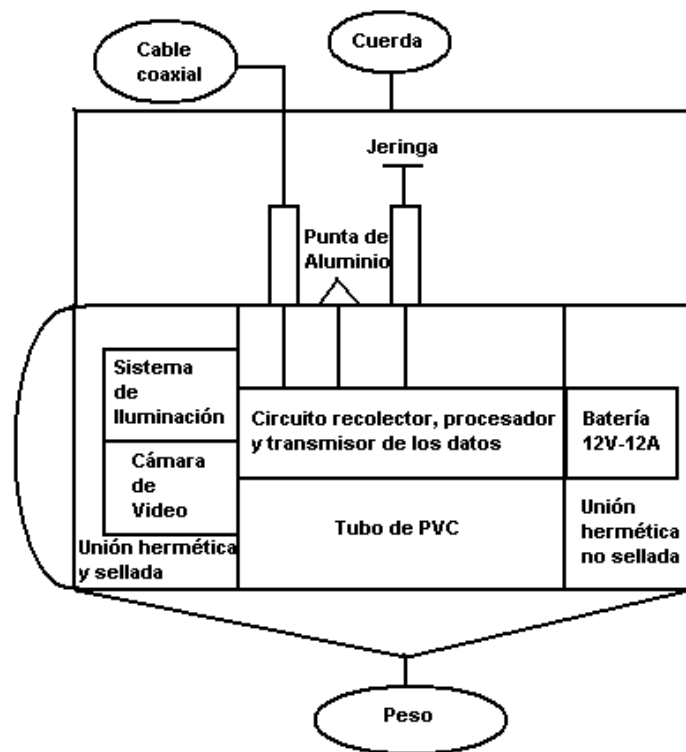


Figura 4.8: **Diagrama de los componentes del dispositivo y su cámara hermética**

La figura 4.9 muestra el carrito de madera que contiene los 50 m de cable coaxial que está cubierto por una manguera de condurflex, que tiene como característica principal un cable guía en su interior, permitiendo el paso de los metros de cable que se necesiten aislar del exterior, en este caso permite el aislamiento del cable coaxial del agua para mayor protección del mismo y que a la vez sirve de una estructura más fija para el cierre hermético en esta zona. Esta manguera entra a la cámara hermética a través de un compartimiento hecho precisamente para ésta. En seguida de la entrada del cable coaxial en la cámara hermética, están ubicados los dos acoples físicos a los cuales fueron conectados los sensores de temperatura y presión.



Figura 4.9: **Cámara hermética**

Para el sensor de temperatura, se diseñó una punta de aluminio que lo contuvo en su interior y le permitió sentir la temperatura del exterior sin estar en contacto directo con el agua. Ahora, para el sensor de presión, se adaptó una jeringa plástica que fue la encargada de transmitir la presión ejercida dentro del agua a través de su émbolo hacia el sensor de presión ubicado en el interior de la cámara hermética.

Dentro de la cámara hermética se diseñó una división que contuvo al circuito recolector y transmisor de los datos sensados mostrado en la figura 4.6 y a la batería que provee de alimentación a la cámara de video, el sistema de iluminación y el circuito de los sensores en el interior de la cámara.

La cámara hermética tiene tres partes esenciales:

- Unión hermética y sellada: esta parte, como su nombre lo indica, está completamente sellada y no es removible, aquí se ubica el vidrio de 10 milímetros de espesor; dentro de la unión, se diseñó una estructura metálica que contiene al

sistema de iluminación y a la cámara de video para asegurar que siempre se tenga buena iluminación para captar las imágenes.

- Tubo de PVC: esta parte en su superficie lleva las piezas para la salida del cable coaxial y los sensores de temperatura y presión. Internamente se encuentra la división metálica que separa e inmoviliza al circuito observado en la figura 4.6 y la batería de alimentación.
- Unión hermética no sellada: esta parte es la que permite extraer o depositar cualquiera de los objetos o dispositivos que se encuentran en el interior de la cámara hermética, para ello se construyó un acople de tornillos y empaques cuya función es sellar esta parte o abrirla cuando se requiera.

Además, la cámara hermética posee una estructura de varillas metálicas como se observa en la figura 4.9, esto con el fin de que en su parte superior se sujete todo el dispositivo mediante una cuerda y allí sea donde se ejerza la fuerza tanto para halar la cámara hermética hacia la superficie como para moverla hacia un lado o hacia el otro, y en su parte inferior para colocar el peso de 10 Kg que permite al dispositivo sumergirse los 50 metros de profundidad.

4.5 Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica permite la representación en pantalla de elementos gráficos de visualización y control con los que el usuario puede trabajar y analizar los diferentes componentes que se están midiendo.

4.5.1 Programa de Aplicación para los Datos Sensados

Es el encargado de realizar la interfaz gráfica que mostró las distintas variaciones presentadas por los sensores de temperatura y presión.

El paquete utilizado fue *LabVIEW 7.0* de Nacional Instruments. Además de lo que es la propia representación de los datos en los paneles interactivos, que funcionan simulando la instrumentación real, permite múltiples opciones de manejo de datos, como su almacenamiento en disco y compartirlos en red o con otras aplicaciones. Se puede realizar la comunicación mediante interfaces comunes como el RS- 232, entre otras.

El programa de aplicación, consta de dos partes: el panel frontal y el diagrama de bloques.

4.5.1.1 Panel Frontal

El panel frontal es análogo al panel de un instrumento, las entradas son controles y las salidas son indicadores. Los controles e indicadores ayudan a que el panel frontal sea fácil de comprender y a identificar sus elementos rápidamente.

La idea que se tuvo para realizar el programa partió de que se iban a recibir los datos sensados a través de un controlador de Bus Serie Universal (USB) en el computador, éstos vienen configurados de tal manera que los datos de presión no se confunden con los de temperatura, ya que en medio de ellos como se observa en la figura 4.16, hay valores puntuales que los separan y al final de cada lectura que den los datos, hay un carácter que cierra cada ciclo de lectura.

Una vez el ciclo de lectura de los datos sensados es recolectado, se puede visualizar dicha lectura a través de dos gráficas, una para el sensor de temperatura y la otra para el sensor de presión. La figura 4.10 muestra el panel frontal de la interfaz gráfica que se implementó.

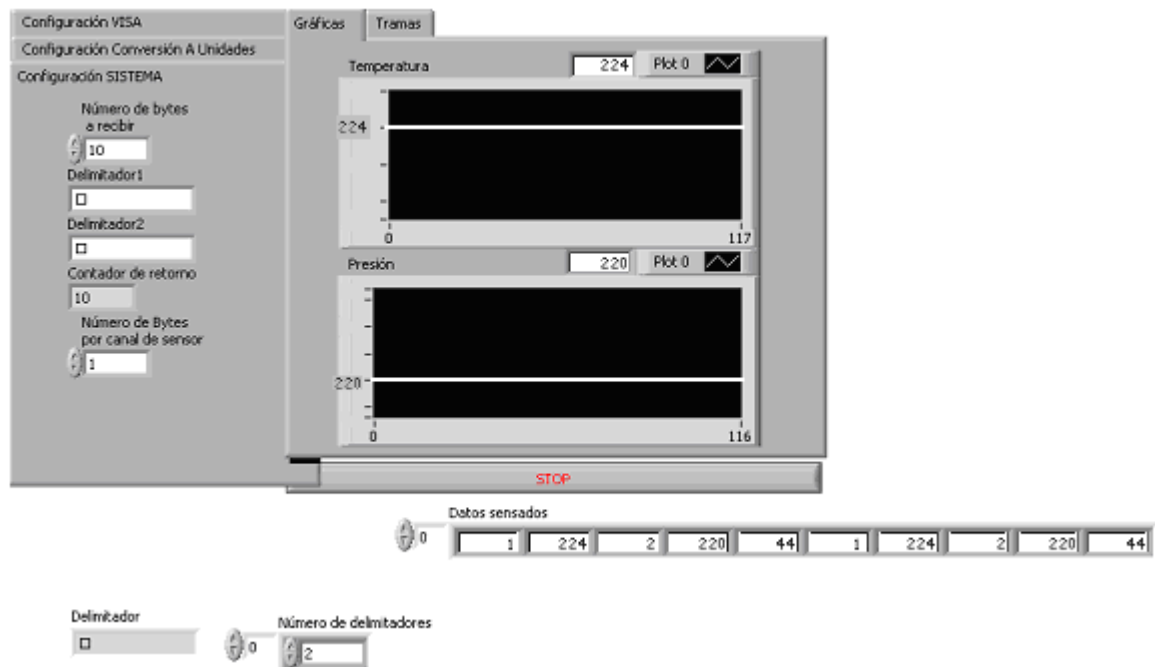


Figura 4.10: Panel frontal de la interfaz gráfica

Como es posible darse cuenta, existe una serie de herramientas que le permiten al usuario interactuar con el programa gráfico hecho; se puede observar la configuración del sistema, que le permite al usuario variar el número de bytes que se van a recibir por el puerto de comunicación, además muestra en código ASCII los valores de los delimitadores que separan cada valor sensado, tiene también un contador de retorno que permite observar cuantos valores están llegando al arreglo de los datos sensados. Por último se tiene la opción de cambiar el número de bytes que llegan a través de cada canal del sensor.

En la figura 4.11 se observa la configuración VISA que es la encargada de realizar el protocolo de comunicación con dispositivos externos por medio de los puertos de comunicación (COM) a través de los controladores USB del computador. De modo que se puede variar el tiempo de lectura de los datos, el nombre del medio interno de comunicación (diferentes puertos COM de entrada y salida), el caracter para terminación de

lectura, que en este caso es la coma, y una última opción que permite habilitar o deshabilitar la terminación de carácter.

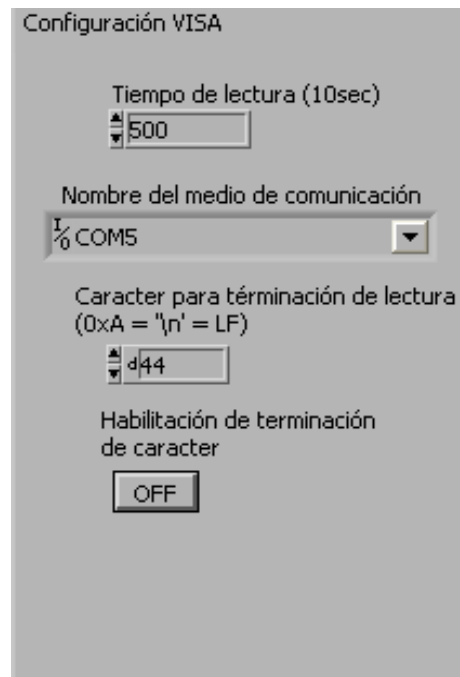


Figura 4.11: **Ventana configuración VISA**

Se encuentra una ventana de configuración para la conversión a unidades que le permite al usuario interactuar con la conversión que se realiza para que los datos puedan ser graficados. En este caso se realiza una operación de conversión de los datos ASCII a los valores correspondientes de temperatura y presión respectivamente.

Es posible también observar las tramas de los datos sensados, donde se puede acceder a la lectura del *buffer* que es el que recoge directamente los datos de la comunicación VISA, además brinda por separado la trama de temperatura de la de presión, y un cuadro aparte que señala los posibles errores de salida en la lectura especificando el código y la fuente del error o caso contrario la explicación del buen funcionamiento de la lectura.

4.5.1.2 Diagrama de Bloques

Contiene el programa del instrumento virtual. Se construye utilizando lenguaje de programación gráfica G, que es el código fuente del programa.

Los componentes representan los nodos del programa, tales como ciclos *for*, estructuras *case*, funciones aritméticas, etc, los cuales se conectan en el diagrama para definir el flujo de datos.

En la figura 4.12 se presenta el diagrama de flujo que describe el diagrama de bloques implementado para el correcto funcionamiento de la interfaz gráfica del dispositivo.

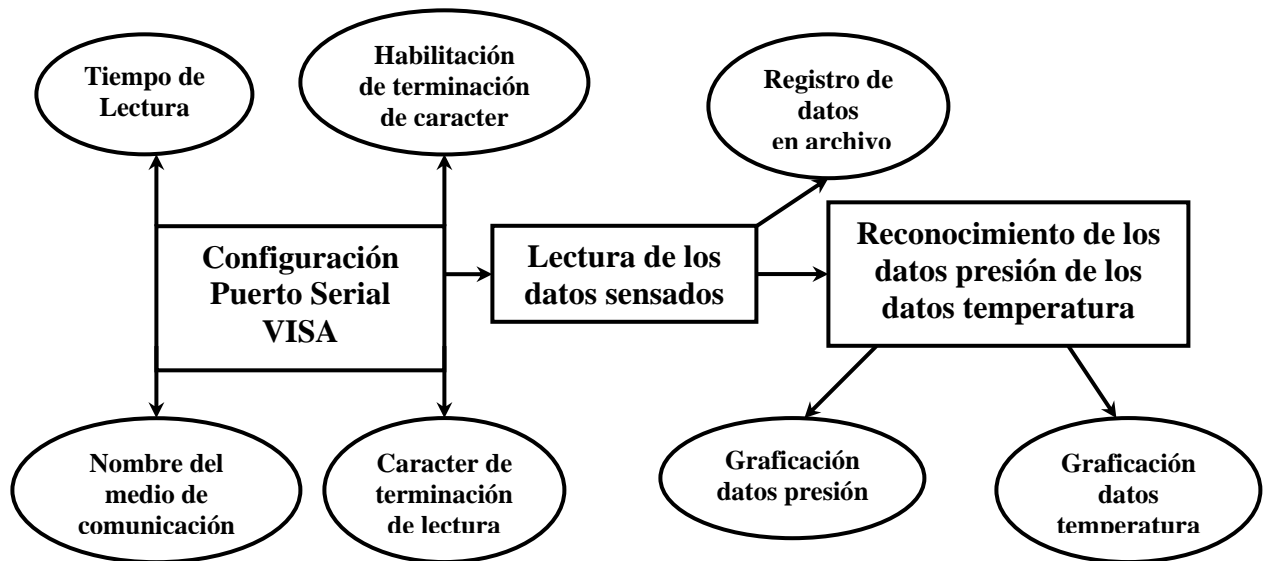


Figura 4.12: Diagrama de la interfaz gráfica para los datos sensados

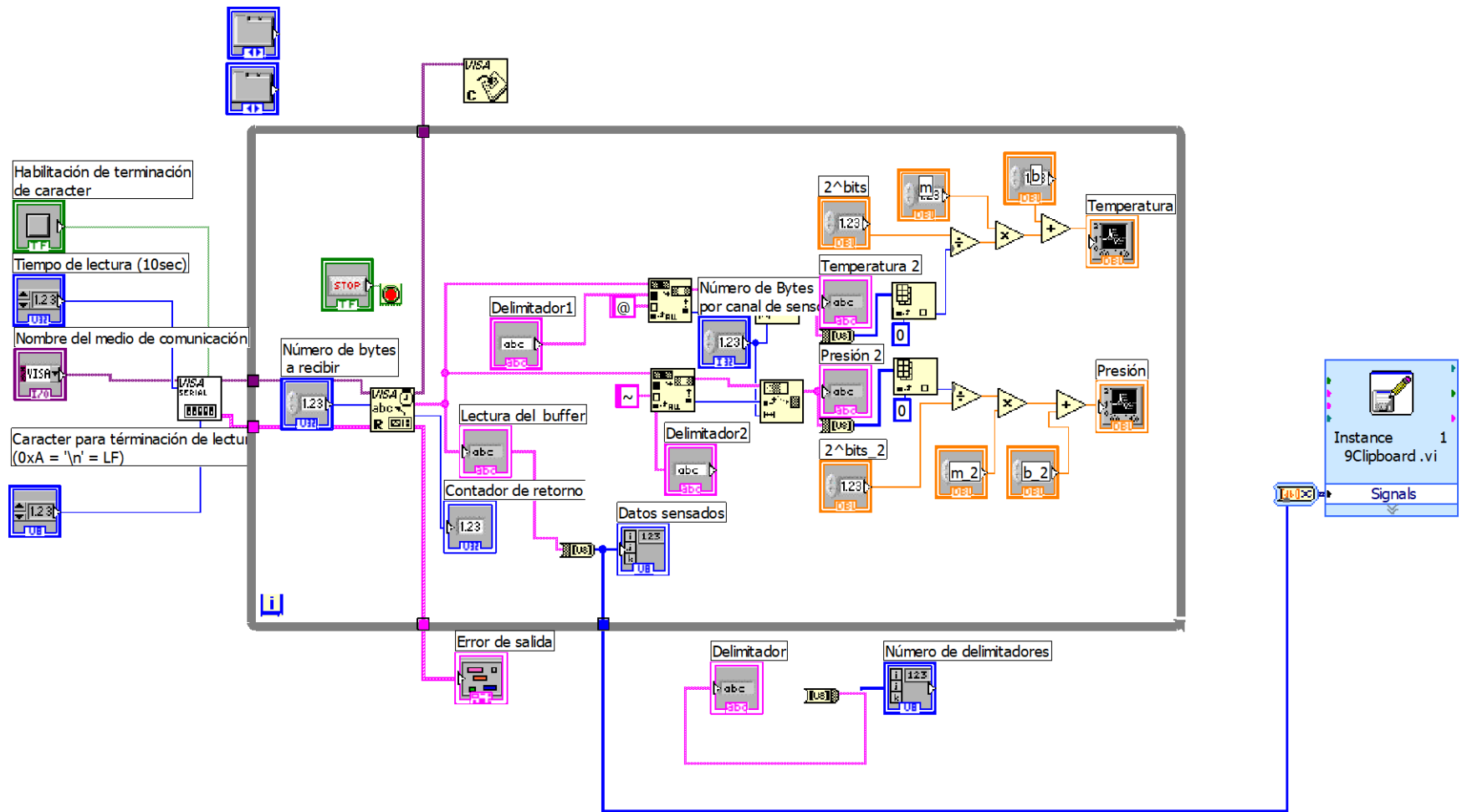


Figura 4.13: Diagrama de bloques de la interfaz gráfica implementada

En la figura 4.13 se tiene el diagrama de bloques con las siguientes opciones:

- **Habilitación de Terminación de Caracter:** prepara al sistema serial para reconocer el caracter de terminación.
- **Tiempo de Lectura:** es el valor de tiempo que se utiliza para las operaciones de leer y escribir a través del serial.
- **Nombre del Medio de Comunicación:** es un instrumento virtual de entrada/salida que identifica la fuente que va a operar para leer y escribir a través de esta.
- **Caracter para Terminación de Lectura:** hace el llamado de finalización en la operación de lectura. La operación de lectura termina cuando cierto caracter es leído a través del sistema serial.

Posteriormente se encuentra la Configuración del Puerto Serial *VISA* que es el que inicializa el puerto serial especificado y que tiene por nombre *VISA*. Por defecto, éste posee una tasa de transmisión de 9600 baudios, el valor de bits de entrada son 8, sin paridad para transmisión y recepción, el mecanismo de transferencia no usa un control de flujo, esto quiere decir que las conexiones por todos los *buffers* tienen la capacidad suficiente para transferir todos los datos.

Después los datos sensados entran a un ciclo *while* que repite las operaciones que se describen a continuación mientras haya lectura en el *VISA* serial.

La salida del *VISA* serial se conecta a un control numérico llamado Número de Bytes a Recibir y que tiene como misión contabilizar el número de datos que entran por cada ciclo de lectura, a su vez, la salida del control numérico se conectó con Lectura *VISA* que es el que lee el número de bytes desde el sistema o interface especificado por *VISA* y retorna los datos en un *buffer* de lectura.

Este icono tiene conexión directa a un contador de retorno que le permite al usuario saber el número de bytes que actualmente se está leyendo, una descripción de condiciones de error que pueden ocurrir después de que el instrumento virtual o sus funciones estén en uso y una opción que cierra la sesión o evento especificado por VISA una vez se termine la lectura.

A continuación se encuentra la opción Datos Sensados, es un arreglo donde el usuario visualiza los datos sensados con sus debidas separaciones para poder identificar los valores del sensor de presión de los valores del sensor de temperatura. De aquí mismo se crea una herramienta que permite guardar el valor de los datos sensados para su posterior análisis en un archivo con extensión .lvm. De esta manera los datos sensados pueden ser visualizados en forma de sus respectivos valores por el usuario.

Una vez se obtiene el *buffer* de lectura, éste pasa a ser analizado por los delimitadores, cuya función es buscar dentro del *buffer* de lectura el valor asignado para la separación entre los datos sensados correspondientes al sensor de temperatura de los datos del sensor de presión. Los datos que salen del PIC 18F452, que se transmiten por el cable coaxial y que llegan al *buffer* de lectura después del puerto serial VISA vienen tal como lo esquematiza la figura 4.14.

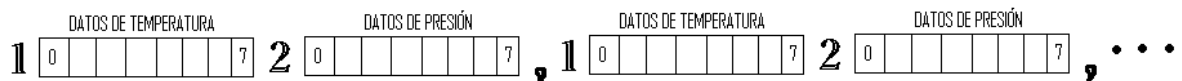


Figura 4.14: **Configuración de los datos sensados**

Aquí se puede observar que existe un valor definido para reconocer los datos entregados por el sensor de temperatura de los datos entregados por el sensor de presión; después del número uno (1) vienen los datos de temperatura, seguido está el número dos (2), posterior a éste vienen los datos de presión y para finalizar el ciclo de lectura está como caracter de terminación de lectura la coma (,).

El delimitador1 busca en el *buffer* de lectura el número “1” que en código ASCII es □ como se puede ver en la Figura 4.12 y lo reemplaza mediante un *string* llamado *Busca* y *reemplaza string* por el caracter “@”, el string resultante es analizado por una herramienta de *LabVIEW* que permite reconocer el caracter “@” y recoger la información que viene después de éste, que en este caso es el dato sensado para la temperatura.

El delimitador2 realiza lo mismo que el delimitador1 con la diferencia que el número que ahora se busca es el “2”, el caracter que se reemplaza es “~” y la información que se recoge después de éste es el dato sensado para la presión.

Tanto el *buffer* de lectura, como los datos sensados para la temperatura y la presión se pueden visualizar en código ASCII en la ventana de *Tramas*, para, de esta manera constatar que el puerto serial VISA si está leyendo.

Ya que los datos sensados están debidamente reconocidos y separados se procede a graficarlos con ayuda de la herramienta *Waveform Chart* de *LabVIEW*.

4.5.2 Aplicación Gráfica para Video

Las imágenes obtenidas por la cámara de video fueron transmitidas a través del cable coaxial y para ser almacenadas dentro del computador portátil se utiliza la siguiente herramienta.

4.5.2.1 Capturadora de Video Externa USB con su Software correspondiente

Capturar videos es fácil con este dispositivo, ya que permite la transferencia y conversión de señales de video análogas a video digital de manera directa y rápida. El software que acompaña a la capturadora de video se llama *Ulead VideoStudio Movie Wizard*, es el encargado de recibir y guardar las imágenes entregadas por la cámara de video.

En la interfaz gráfica que maneja se pueden configurar aspectos como: la fuente que va a capturar, el formato, el archivo donde se va grabar, cuadros por segundo

Capítulo 5

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO Y PRUEBAS DE CAMPO

5.1 Evaluación del Dispositivo

Para la consecución del dispositivo en sí, hubo toda una preparación anticipada. Se realizaron viajes para conocer más de cerca el ambiente volcánico (Circunvalar al Volcán Galeras y su cráter en el departamento de Nariño), observación de los dispositivos que se utilizan superficialmente en la medición de distintos aspectos que tienen alta relevancia para la vigilancia volcánica (trampas de argón, GPS, medidores de pH, análisis de muestras de aguas termales), y una vez hubo familiarización con la terminología relacionada a la actividad volcánica, se hizo un viaje a conocer una de las lagunas cratéricas existentes en Colombia, *La Laguna del Buey* ubicada en el complejo volcánico Coconuco (Cauca).

Como se muestra en el capítulo 2 de este trabajo y por conocimiento previo de estos lugares, existen muchos aspectos que determinan el grado de actividad volcánica presente en una laguna cratérica. Los que se escogió para hacer parte de la evaluación que iba a desarrollar este dispositivo fueron: la temperatura, la presión hidrostática, la profundidad y como componente adicional para la observación del fondo de la laguna, la adquisición de imágenes. En la figura 5.1 se muestra el diagrama del dispositivo implementado.

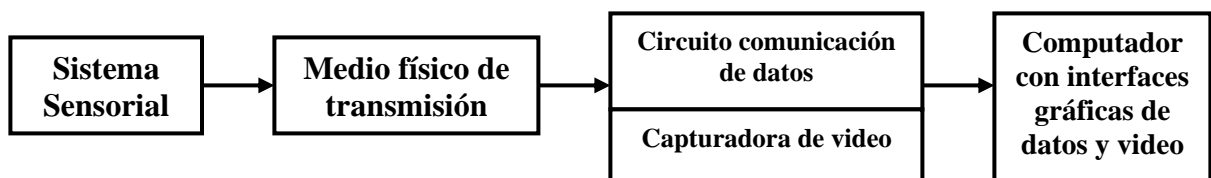


Figura 5.1: Diagrama del dispositivo implementado

En la figura 5.2 se muestra el panorama general de este dispositivo que hizo posible dar un paso adelante en la investigación que se lleva de las lagunas cratéricas.



Figura 5.2: Sistema de monitoreo subacuático multisensorial para lagunas cratéricas

n de cada fase del dispositivo, se tuvo en cuenta que los sistemas que iban a estudiar los 4 aspectos anteriormente nombrados, tendrían que funcionar óptimamente sin importar que tuviera que hacerse reestructuraciones, acoples, ensayos circuitales, rediseños de software, pruebas en laboratorio y en exteriores.

El sistema sensorial estaría compuesto por sensores de temperatura, presión, e imagen; la profundidad se encontraría a partir de los valores entregados por la presión, como se muestra en la sección 5.4. Datos sensados e imagen, dos términos que siempre fueron de la mano desde el comienzo del diseño del dispositivo, hasta las pruebas en la laguna.

Al tener sólo dos tipos de valores sensados, se realizó un primer montaje circuitual que contenía para cada tipo de dato, un circuito integrado para la conversión análoga-digital y uno para la multiplexación, cada uno de ellos con su complemento para funcionar adecuadamente, de modo que el montaje circuitual para sólo dos valores, se convertía en una tarjeta bastante robusta; la solución, trabajar con el PIC 18F452 que además de realizar las anteriores tareas, imprimió velocidad y debido al puerto serial de comunicación que maneja (USART), se pudo conectar mediante otro circuito integrado (MAX 232) al puerto serial del computador, para la transmisión de los datos digitalizados y multiplexados.

El programa que se hizo para controlar el microcontrolador, dejó al Puerto A con 6 posibles entradas para posteriores sensores que investiguen más a fondo la laguna cratéica.

Se procedió a realizar la interfaz gráfica que recibió los datos sensados en LabVIEW, pero en este punto hubo un inconveniente de tecnologías, debido a que como el lugar a investigar queda en un sitio remoto, se debía utilizar un computador portátil y los que se tenía a disposición, carecían de puerto serial de comunicación. La solución, se buscó en el mercado un cable adaptador USB a serial y se tuvo que modificar completamente el programa gráfico que se había creado en un comienzo para recibir los datos en el computador.

Para obtener las imágenes del interior de la laguna, se adquirió una cámara genérica a color, ésta posee una gran ventaja y es que va acoplándose al tipo de iluminación que se le coloque, de manera que siempre adquiere imagen porque internamente va ajustando cuánta iluminación requiere para la obtención de una imagen óptima. El paso de las imágenes al computador no tuvo inconvenientes, ya que se trabajó con una capturadora de video USB y su respectivo software, que permitieron la grabación de las imágenes del fondo de la laguna.

Se hicieron varios diseños de la cámara hermética y en diferentes materiales, ya que todo lo que tuviera que ver con ella, también tenía que ver con aproximadamente 5 atm de presión que tenía que soportar en la profundidad. Por todos los medios se buscó el material transparente *plexiglass* que sería la parte por donde la cámara captaría las imágenes, debido a que sólo se encontraba en el exterior y a un costo elevado se optó por trabajar con un vidrio de seguridad, de considerable grosor y que sometido a pruebas, resistió las 5 atm.

Para el diseño de la cámara hermética se consiguió un tubo metálico que cumplía con el requerimiento de soportar la presión externa sin sufrir deformación o fractura, pero hubo que desistir de fabricar la cámara con esta pieza porque era muy pequeña y sólo habría alcanzado el circuito del PIC y la cámara de video; entonces se consiguió un tramo de tubo de PVC que es utilizado para soportar altísimas presiones externas en la construcción de las estructuras en edificios. Haciendo acoples con las uniones de PVC sanitarias, se pudo adquirir las adecuadas para el tubo de PVC de presión, de manera que pudieran contener sus respectivos tapones que hacen las veces de caras de la cámara y con el diseño que se muestra en la figura 4.10, se logró la cámara hermética que se necesitaba.

Los sensores no podían entrar en contacto directo con el agua, hubo entonces que buscar acoples físicos, en el caso de temperatura que lo contuviera internamente y así poder sentir el agua del exterior, y para la presión, un objeto físico que la transmita al sensor.

Para hacer las pruebas se debía tener medio de transporte dentro de la laguna. Sólo se logró encontrar lanchas en una de ellas, ya que en general, las lagunas cratéricas son de difícil acceso y no es posible encontrar éste requerimiento, para poder recorrerlas.

El dispositivo en sí, cuando empezó a hacer las pruebas no presentó mayor dificultad, ya que se había probado por etapas y no se ensambló hasta que cada una de ellas funcionara correctamente, de manera que se estimaba que el conjunto en general funcionara correctamente, acorde a todos los factores de riesgo que podían existir. Como prueba de su desempeño está la sección 5.2 del presente capítulo.

5.2 Adquisición de Imagen y Datos Sensados

En la figura 5.3 y 5.4 se observa la Laguna El Cumbal, se encuentra ubicada a 3240 m sobre el nivel del mar y es el epicentro de la investigación que realizó el dispositivo implementado en este trabajo.

Una de las razones por las que se eligió trabajar en esta laguna, es por el fácil acceso a ésta, ya que hay transporte hasta el lugar donde se encuentra y también porque hay lanchas dentro de la misma que permitieron un trabajo *in situ* con el dispositivo; razones que fueron fundamentales para el buen funcionamiento de todo el sistema a la hora de realizar las pruebas.



Figura 5.3: **Laguna El Cumbal**



Figura 5.4: **Pruebas con dispositivo en la Laguna El Cumbal**

5.1 Adquisición de Imagen

Las imágenes adquiridas por el dispositivo dentro de la laguna El Cumbal se muestran en la figura 5.5.

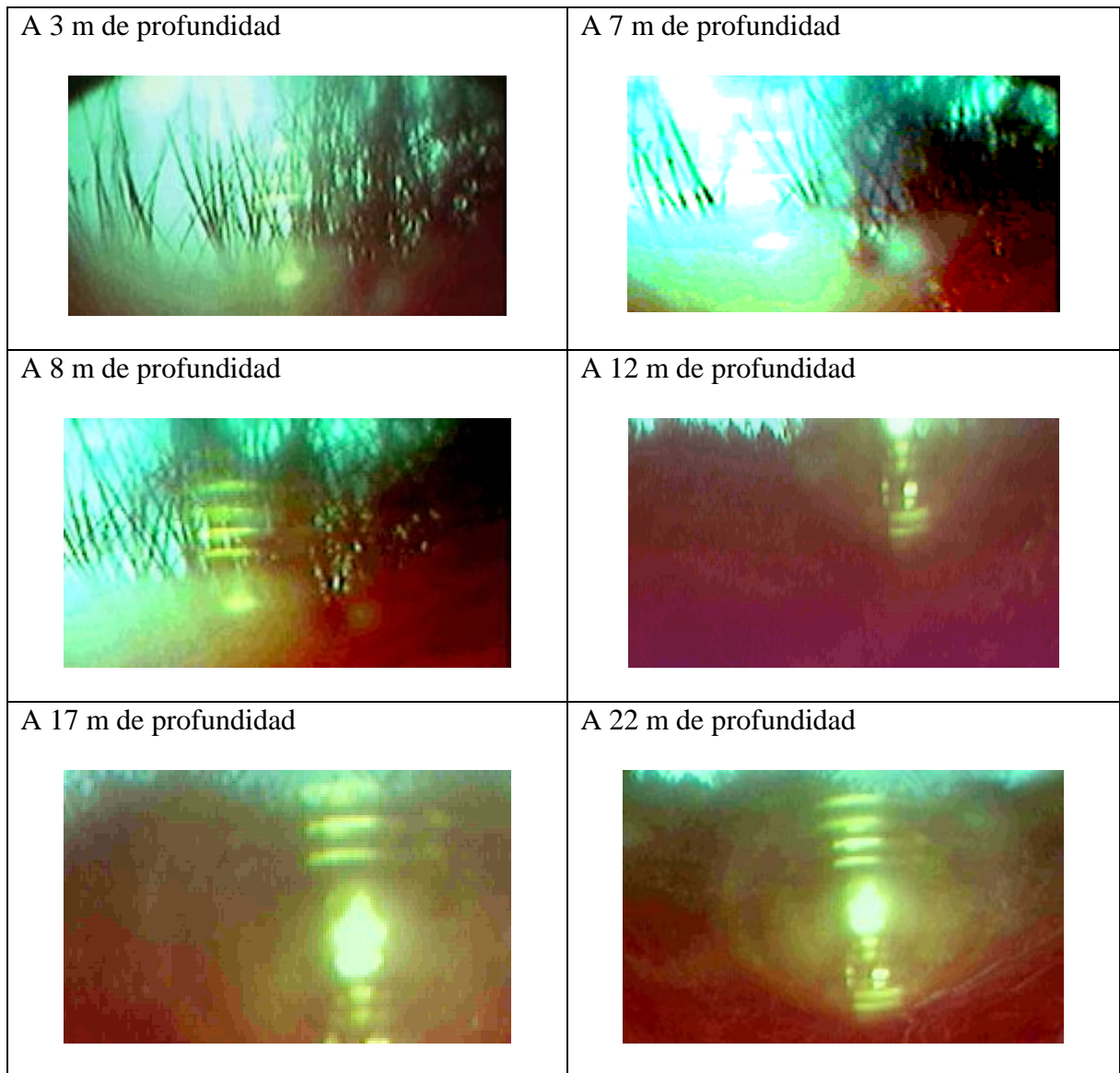


Figura 5.5: **Imágenes de la vegetación existente en el fondo de la Laguna El Cumbal**

5.2 Datos Sensados

Los datos sensados entregados por la interfaz gráfica realizada en *LabVIEW*, son los que se presentan en el Anexo 1.

5.3 Procesamiento Digital de Imágenes

En este punto de la investigación y habiendo recibido respuesta del dispositivo tanto de imagen como de sensores, lo que se realiza a continuación es un sencillo procesamiento de las imágenes que no son perceptibles a simple vista.

El principal objetivo de las técnicas de mejora es procesar una imagen de forma que resulte más adecuada que la original para una aplicación específica. Esta mejora consiste en eliminar el ruido, resaltar determinadas características de la imagen o en eliminar aquello que las oculta [15]. Se implementaron algunos algoritmos orientados a esta área en el paquete de software MATLAB.

5.3.1 Segmentación de Imágenes

En cualquier imagen se encontrarán presentes uno o varios objetos localizados en un entorno. El objetivo de la segmentación es separar dichos objetos del medio en el que se encuentran y distinguirlos entre sí [15].

La imagen que aparece en la figura 5.6 del banco de truchas existente en la laguna a 8 metros de profundidad, requiere este tipo de técnica, debido a la falta de buena iluminación que se presentó en la zona, se necesita buscar las partes uniformes de la imagen o aquellas partes donde se produce un cambio.

Específicamente se hizo una segmentación de regiones, ya que los objetos presentan una uniformidad en alguna característica, se buscan aquellos píxeles que estando unidos presentan una propiedad común. La herramienta de este tipo de segmentación fue la *Umbralización*, por medio de ésta se convierte una imagen con varios niveles de gris a una

nueva con sólo dos, de manera que los objetos quedan separados del fondo. La figura 5.6 muestra los resultados de este procedimiento.

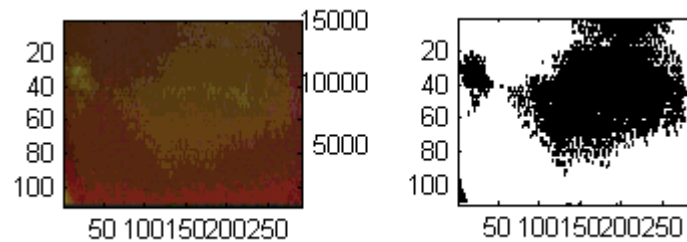


Figura 5.6: Umbralización de la imagen del banco de truchas a 8 m de profundidad

En la figura 5.7 se retoma una de las imágenes del banco de truchas y se le aplica la Umbralización para separar los objetos del fondo.

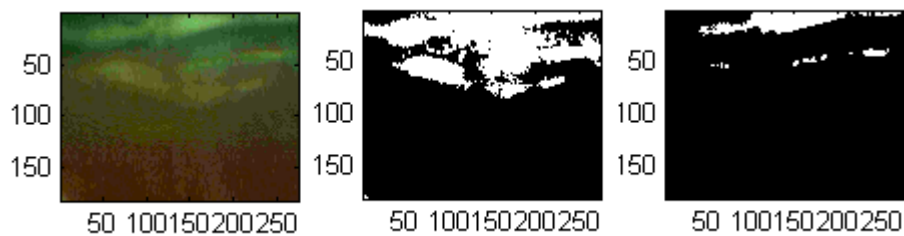


Figura 5.7: Umbralización de la imagen del banco de truchas a 10 m de profundidad

5.4 Tratamiento de los Datos Sensados

Es necesario realizar este tratamiento para analizar por personas especializadas en vigilancia volcánica en un posterior trabajo.

Como se observa en el anexo 1, los valores obtenidos por los sensores de presión y temperatura son leíbles en número pero no se entiende su significado a simple vista. Por tanto se realizó un proceso adecuado para que los datos sensados queden expresados en términos de atmósferas y grados centígrados respectivamente. Se hizo con base en el registro de pruebas hechas del comportamiento de los sensores en laboratorio, de manera

que cada número recibido por el programa en *LabVIEW* cumple la equivalencia de las tablas 5.1 y 5.2.

Lectura en sensor (V)	Temperatura (°C)	Dato en <i>LabVIEW</i>
0.02	2	213
0.22	22	233
0.81	81	292

Tabla 5.1: Relación de los valores sensados para Temperatura

Lectura en sensor (V)	Presión (atm)	Dato en <i>LabVIEW</i>
0.35	0.17	207
0.48	0.24	220
4.75	2.87	747

Tabla 5.2: Relación de los valores sensados para Presión

Finalmente los datos sensados se pueden observar en la tabla 5.3.

Profundidad medida en la cuerda (m)	Temperatura (°C)	Presión (atm)
0	13	0.24
5	9	0.41
10	8	1.05
15	10	1.55
20	11	2.05
25	10	2.9
30	9	3.05

Tabla 5.3: Datos de temperatura y presión sensados en la Laguna El Cumbal

Hay que aclarar que la profundidad que se presenta en la tabla 5.4 fue medida a través de la cuerda que sostenía el dispositivo, la cual estaba debidamente marcada para saber a que distancia de la superficie se estaban haciendo las mediciones.

Para encontrar la profundidad a partir de la presión, se utiliza la ecuación 5.1.

$$h = \frac{P}{\rho * g} \quad (5.1)$$

donde h: profundidad

P: presión

ρ : densidad del agua

g: gravedad

La densidad del agua se presenta en la ecuación 5.2.

$$\rho = 1 \frac{g}{cm^3} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \quad (5.2)$$

La gravedad se presenta en la ecuación 5.3.

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2} \quad (5.3)$$

Reemplazando los valores de las ecuaciones 5.2 y 5.3, con cada uno de los valores de presión de la tabla 5.3 en la ecuación 5.1, se obtiene la tabla 5.4.

Presión (atm)	Profundidad(m)
0.24	2.47
0.41	4.23
1.05	10.85
1.55	16.02
2.05	21.19
2.9	29.98
3.05	31.53

Tabla 5.4: Datos de profundidad de la laguna a partir de los datos de presión sensados

La figura 5.8 muestra una gráfica comparativa de las 2 profundidades (profundidad medida con la cuerda y profundidad hallada a partir de la presión sensada) contra la presión. Se observa la relación de linealidad que tienen las dos profundidades, de modo que, se comprobó que los datos sensados para la presión son válidos.

Profundidad vs Profundidad medida en cuerda

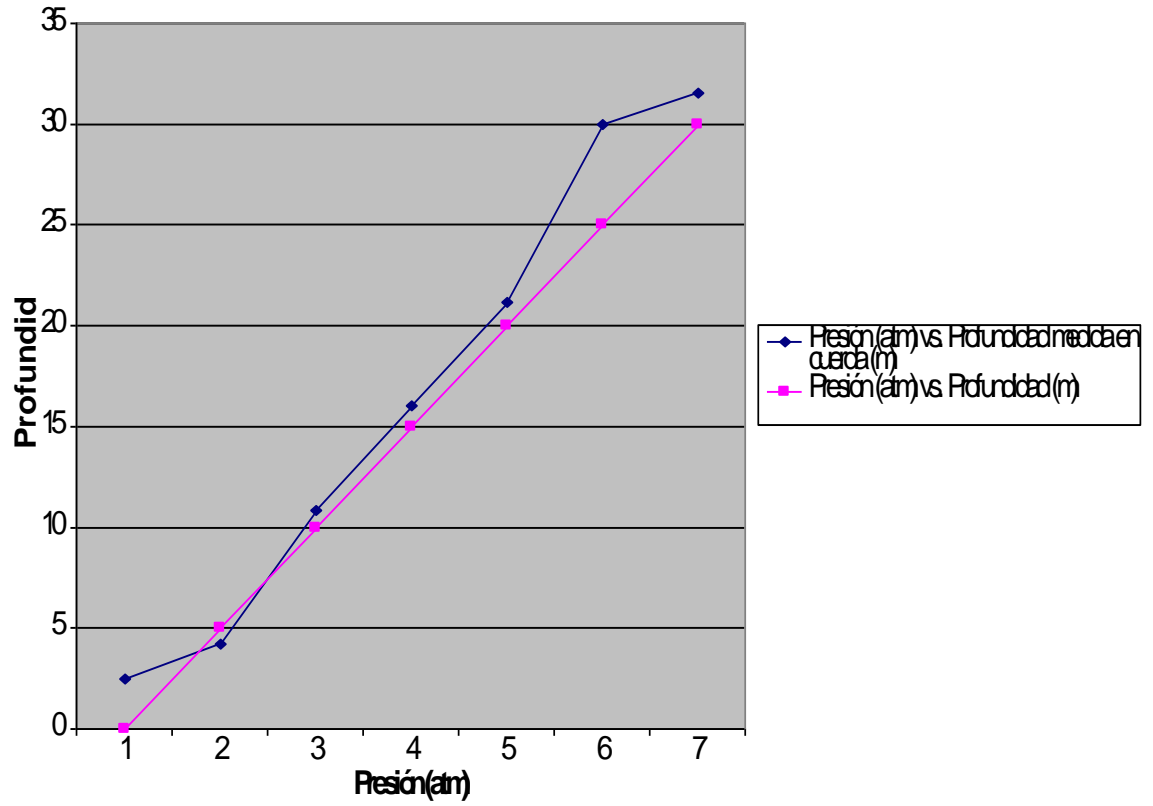


Figura 5.8: Gráfica Profundidad vs. Profundidad medida en cuerda

Capítulo 6

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

De acuerdo con este Trabajo de investigación se puede concluir que:

- Al trabajar con sensores como los usados dentro del sistema multisensorial del dispositivo, aún no importando su acople físico para su debida protección en el medio (agua), se observó y captó por medio de las pruebas realizadas el buen desempeño de éstos como detectores de las variables de temperatura, presión e imagen dentro de la laguna cratérica.
- Es evidente que al escoger trabajar con un microcontrolador que hace las veces de receptor de los datos sensados, conversor análogo-digital, multiplexor y transmisor a través de una interface serial de comunicación, el ahorro de montaje circuital, la calidad y la velocidad que se le imprimieron al sistema fue buena comparada con cada etapa por separado.
- La laguna cratérica investigada no está exenta de ruido externo, por ello influyó bastante en la buena recepción de los datos sensados, las precauciones que se tuvieron en el diseño de las tarjetas impresas tanto del circuito receptor-transmisor como del circuito para la comunicación de los datos al computador y la escogencia del cable coaxial transmisor de los mismos, para de esta manera evitar posibles alteraciones de los valores de los datos sensados.
- La interfaz gráfica creada en *LabVIEW* para la visualización de los datos sensados, no sólo le permite al usuario observar los datos, sino que a la vez puede interactuar y controlar cada una de las configuraciones internas que maneja la aplicación

gráfica para la acertada comunicación, visualización, graficación y registro de los valores sensados en la profundidad.

- Las imágenes adquiridas y los valores sensados por el dispositivo, permitieron vislumbrar el primer panorama de una laguna cratérica en Colombia, ya que esta investigación se realizó en un lugar inexplorado y que de ahora en adelante aportará información vital a los organismos que monitorean la actividad volcánica en el territorio colombiano.
- La herramienta del procesamiento digital de imágenes hizo posible recuperar información de aquellas imágenes que por falta de iluminación o mucho movimiento dentro de la laguna no eran claramente observables y así poder relacionar más objetos pertenecientes al interior de estas lagunas.
- La creación del dispositivo subacuático multisensorial reunió una gran parte de áreas de conocimiento enseñadas en la carrera de Ingeniería Física, es una prueba del aprendizaje multifuncional que se manejó a lo largo de esta carrera y que, con ayuda de la investigación, se complementa para además brindar soluciones a problemas que se presenten en ciertos ámbitos.

Se recomienda rediseñar la cámara hermética para que el sistema de iluminación quede externo a la cámara de video y contenga una lámpara con mayor potencia para poder sumergirlo a mayores profundidades y seguir captando imágenes.

Una de las características del dispositivo es su extensibilidad, debido a que se le pueden adaptar por lo menos 6 sensores más, gracias a la tecnología con la que trabajan sus circuitos, creando la posibilidad de ampliar el sistema sensorial en posteriores proyectos.

Es viable diseñar un sistema que permita la transmisión de datos sensados y video por un solo medio de transmisión y así evitar utilizar dos cables coaxiales para que realicen el proceso.

Tanto las imágenes adquiridas en el fondo de la laguna como los datos sensados deben tener su debido procesamiento, y futuros trabajos se pueden realizar con base en esta información por parte de las instituciones encargadas de evaluar la actividad volcánica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior. ***Some Fundamentals about Crater Lakes.*** IAVCEI Web page – Comission – Volcanic Lakes.
- [2] International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior. ***Other Sites with Information about Crater Lakes.*** The killer lakes of Camerun: lake Nyos and Monoun – The 2001 Nyos degassing experiment and webcam on the soda fountain – The science of volcanic lakes - . IAVCEI Web page – Comission – Volcanic Lakes.
- [3] VAN BERGEN, M., BERNARD, A., SUMARTI, S., SRIWANA, T & SITORUS, K. ***Recent Activities of the CVL Comission: Pre – Conference Fiel Trip (12 – 16 July 2000). Crater lakes of Java: Dieng, Kelud and Ijen.*** International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior. IAVCEI Web page – Comission – Volcanic Lakes.
- [4] GARZÓN, G., MARTÍNEZ, L., CÁRDENAS, R., CARDONA, C., ORDÓÑEZ, M & BOBADILLA, L. (2006, Enero). ***Volcanic Lakes in Colombia: an overview.*** Ponencia presentada en la Cuarta Conferencia de Ciudades sobre Volcanes, Quito, Ecuador.
- [5] MICHASKI, L. ***Temperature Measurement.*** John Wiley & Sons Ltd. England. 2001.

- [6] DE LA ESCALERA, Arturo. *Visión por Computador Fundamentos y Métodos*. Pearson Educación S.A. Madrid, España. 2001.
- [7] GONZÁLEZ, Rafael. WOODS, Richard. *Tratamiento digital de Imágenes*. Addison – Wesley Iberoamericana S.A. United States of America. 1996.
- [8] VÁZQUEZ, José. *Luminotecnia*. Ediciones Ceac. Barcelona, España. 1986.
- [9] Light Emitting Diodes 2005.
<http://www.SolarMarineLights.com/>
Consultada: Febrero 1 de 2006.
- [10] ENRIQUEZ, Delio. GALVIS, Pablo & GÓMEZ, Diego. (2001). *Convertidores Análogo/Digital y Digital/Análogo*. Popayán: Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [11] STALLINGS, William. *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Pearson Prentice Hall. España. 2004.
- [12] Microchip 2004. PIC 18FXX2
<http://www.microchip.com/>
Consultada: Marzo 20 de 2006.
- [13] Texas Instruments 2002. MAX 232.
<http://www.texasinstruments.com/>
Consultada: Junio 7 de 2006.

- [14] Motorola 2004. MPX 2100.
<http://www.motorola.com/>
Consultada: Junio 10 de 2006.
- [15] CASTLEMAN, Kenneth. *Digital Image Processing*. Prentice – Hall, Inc. New Jersey, United States of America. 1996.

ANEXOS

Anexo 1.

Datos sensados por el dispositivo en la Laguna El Cumbal:

A 0 metros de profundidad:	A 5 metros de profundidad:
LabVIEW Measurement Writer_Version 0.92 Reader_Version 1 Separator Tab Multi_Headings Yes X_Columns Multi Time_Pref Relative Operator Lisbeth Lucia Date 2006/10/04 Time 15:31:14 ***End_of_Header*** Channels 1 Samples 10 Date 2006/10/04 Time 15:31:30 X_Dimension Time X0 0.0000000000000000E+0 Delta_X 1.000000 ***End_of_Header*** X_Value Comment 0.000000 1.000000 1.000000 224.000000 2.000000 2.000000 3.000000 220.000000 4.000000 44.000000 5.000000 1.000000 6.000000 224.000000 7.000000 2.000000 8.000000 220.000000 9.000000 44.000000	LabVIEW Measurement Writer_Version 0.92 Reader_Version 1 Separator Tab Multi_Headings Yes X_Columns Multi Time_Pref Relative Operator Lisbeth Lucia Date 2006/10/04 Time 15:39:55 ***End_of_Header*** Channels 1 Samples 10 Date 2006/10/04 Time 15:40:07 X_Dimension Time X0 0.0000000000000000E+0 Delta_X 1.000000 ***End_of_Header*** X_Value Comment 0.000000 1.000000 1.000000 220.000000 2.000000 2.000000 3.000000 255.000000 4.000000 44.000000 5.000000 1.000000 6.000000 220.000000 7.000000 2.000000 8.000000 255.000000 9.000000 44.000000

A 10 metros de profundidad:

LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings Yes
X_Columns Multi
Time_Pref Relative
Operator Lisbeth Lucia
Date 2006/10/04
Time 15:51:30
End_of_Header

Channels 1
Samples 10
Date 2006/10/04
Time 15:51:50
X_Dimension Time
X0 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000
End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.000000
1.000000	219.000000
2.000000	2.000000
3.000000	383.000000
4.000000	44.000000
5.000000	1.000000
6.000000	219.000000
7.000000	2.000000
8.000000	383.000000
9.000000	44.000000

A 15 metros de profundidad:

LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings Yes
X_Columns Multi
Time_Pref Relative
Operator Lisbeth Lucia
Date 2006/10/04
Time 16:02:10
End_of_Header

Channels 1
Samples 10
Date 2006/10/04
Time 16:02:30
X_Dimension Time
X0 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000
End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.000000
1.000000	221.000000
2.000000	2.000000
3.000000	482.000000
4.000000	44.000000
5.000000	1.000000
6.000000	221.000000
7.000000	2.000000
8.000000	482.000000
9.000000	44.000000

A 20 metros de profundidad:

LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings Yes
X_Columns Multi
Time_Pref Relative
Operator Lisbeth Lucia
Date 2006/10/04
Time 16:08:25
End_of_Header

Channels 1
Samples 10
Date 2006/10/04
Time 16:08:40
X_Dimension Time
X₀ 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000
End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.000000
1.000000	222.000000
2.000000	2.000000
3.000000	582.000000
4.000000	44.000000
5.000000	1.000000
6.000000	222.000000
7.000000	2.000000
8.000000	582.000000
9.000000	44.000000

A 25 metros de profundidad:

LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings Yes
X_Columns Multi
Time_Pref Relative
Operator Lisbeth Lucia
Date 2006/10/04
Time 16:13:05
End_of_Header

Channels 1
Samples 10
Date 2006/10/04
Time 16:13:23
X_Dimension Time
X₀ 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000
End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.000000
1.000000	221.000000
2.000000	2.000000
3.000000	752.000000
4.000000	44.000000
5.000000	1.000000
6.000000	221.000000
7.000000	2.000000
8.000000	752.000000
9.000000	44.000000

A 30 metros de profundidad:

LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings Yes
X_Columns Multi
Time_Pref Relative
Operator Lisbeth Lucia
Date 2006/10/04
Time 16:20:33
End_of_Header

Channels 1
Samples 10
Date 2006/10/04
Time 16:20:45
X_Dimension Time
X0 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000
End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.000000
1.000000	220.000000
2.000000	2.000000
3.000000	782.000000
4.000000	44.000000
5.000000	1.000000
6.000000	220.000000
7.000000	2.000000
8.000000	782.000000
9.000000	44.000000