



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

UNIDAD ENSENADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA DATOS
OCEANOGRÁFICOS**

Tesis que para obtener el título de

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

Presenta:

Luis Alonso Galindo Valdez

Directores de Tesis:

**Dr. Oscar Roberto López Bonilla
Dr. Alejandro Cabello Pasini**

ENSENADA B.C. NOVIEMBRE 2001

**SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA DATOS
OCEANOGRÁFICOS**

**TESIS
QUE PRESENTA:**

Luis Alonso Galindo Valdez

Dr. Oscar Roberto López Bonilla
Co-Director de Tesis

Dr. Alejandro Cabello Pasini
Co-Director de Tesis

M.C. José de Jesús Zamarripa Topete
Sinodal Propietario

Ing. Enrique Pacheco Cabrera
Sinodal Propietario

Ensenada B.C., Noviembre de 2001

RESUMEN

La adquisición de series continuas de datos oceanográficos es crítico para el apoyo a una serie de proyectos de investigación. En la última década se han desarrollado equipos de radio comunicación que integran módem y pueden ser acoplados a sistemas de medición para la obtención de información oceanográfica. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue el de diseñar y desarrollar un sistema de telemetría para obtener información oceanográfica continua en la Bahía de Todos Santos a bajos costos. El sistema está constituido por una estación remota transmisora y una estación central receptora. La estación remota transmisora está integrada por una tarjeta de adquisición de datos que se encarga de capturar y enviar la información de temperatura e irradiancia a un radio módem que se encarga de transmitir los datos a la estación central receptora. La estación central receptora tiene conexión permanente con 2 computadoras personales (PC), en las cuales se lleva a cabo el monitoreo y almacenamiento de la información oceanográfica y los diagnósticos de cada transmisión de datos, todo en tiempo real. Una aportación importante de este proyecto fue la de desarrollar el acoplamiento de los equipos para la obtención de información oceanográfica a bajos costos.

AGRADECIMIENTOS

Mis mas sinceros agradecimientos a mi director de tesis Dr. Alejandro Cabello Pasini por su apoyo y orientación profesional que me brindó durante el desarrollo de esta tesis, de nueva cuenta muchas gracias Dr Alex.

De Igual manera agradezco a mi Director de tesis Dr. Oscar López Bonilla por sus comentarios y correcciones a este trabajo, y por ayudarnos a someter el proyecto en Investigación y Postgrado sin el cual no hubiera podido llevar a cabo esta tesis.

A mi sinodal Ing. Enrique Pacheco Cabrera por sus asesorías, comentarios y por los circuitos impresos. De igual manera un agradecimiento al M.C. Jose de Jesús Zamarrita Topete por los comentarios y correcciones a este trabajo.

Un agradecimiento a mis compañeros de laboratorio a Raquel, Miriam y Eneas por convivir y compartir juntos experiencias durante el desarrollo de mi tesis.

A los investigadores y personal del IIO que nos ayudaron en el préstamo de equipos generales para llevar a cabo las pruebas de mi tesis.

DEDICATORIAS

A mis padres que gracias a ellos he aprendido a luchar por mis objetivos y gracias a su apoyo que me brindaron durante toda mi carrera.

A mis tremendas hermanas que me han aguantado todo el tiempo durante mis estudios y el desarrollo de esta tesis

A todos mis compañeros la raza del salón que convivimos juntos durante toda la carrera. Y hasta la fecha Josué, Pepe, Francisco, Omar Javier, Cesar, Berenice y Jorge.

A mis compas de toda la vida que gracias a ellos me han mantenido vivo Arturo, Cesar, Luis, Charly y Ramón.

De nueva cuenta a Cesar gracias por la importación de los radios.

ÍNDICE

	PÁGINA
VOTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	5
OBJETIVO.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Sensor de temperatura.....	9
Sensores de irradiancia incidente y submarina.....	13
Circuito impreso.....	18
Tarjeta de adquisición de datos TFX-11.....	20
Radio módem Integra-TR.....	24
Montaje del sistema de telemetría.....	30
RESULTADOS.....	34
Calibración de sensores.....	34
Pruebas de enlace.....	39

	PÁGINA
DISCUSIONES.....	41
CONCLUSIONES.....	44
REFERENCIAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
<i>Figura 1. Modo de operación de los sistemas de telemetría.....</i>	3
<i>Figura 2. Componentes del sistema de telemetría de una estación central y una estación remota.....</i>	4
<i>Figura 3. Termistor YSI44006 utilizado en la construcción del sensor de temperatura.....</i>	10
<i>Figura 4. Componentes del sistema integrado del sensor de Temperatura para la boya oceanográfica.....</i>	11
<i>Figura 5. Encapsulamiento del termistor YSI44006 en silicón para construcción del sensor de temperatura.....</i>	12
<i>Figura 6. Sensores de irradiancia incidente y submarina EUAdos para la boya oceanográfica.....</i>	14
<i>Figura 7. Sensores de irradiancia en paralelo con una resistencia de 10 kΩ.....</i>	15
<i>Figura 8. Diseño de los amplificadores de instrumentación para los sensores de irradiancia.....</i>	17
<i>Figura 9. Circuito impreso de los amplificadores de instrumentación....</i>	19
<i>Figura 10. Tarjeta de adquisición de datos TFX-11.....</i>	23
<i>Figura 11. Radio módem Integra-TR.....</i>	25
<i>Figura 12. Diagrama de Interconexión de la estación central y la estación remota.....</i>	31
<i>Figura 13. Estación central ubicada dentro del laboratorio de Productividad Primaria del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC.....</i>	32

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
<i>Figura 14. Componentes que integran la estación remota que serán encapsulados en la boya.....</i>	33
<i>Figura 15. Respuesta de voltaje del sensor de temperatura con respecto a los cambios de temperatura.....</i>	36
<i>Figura 16. Respuesta de voltaje del sensor de irradiancia incidente con respecto al cambio de luz fotosintéticamente activa.....</i>	37
<i>Figura 17. Respuesta de voltaje del sensor de irradiancia submarina con respecto al cambio de luz fotosintéticamente activa.....</i>	38
<i>Figura 18. Resultado del enlace de transmisión a diferentes entre la estación remota y central.....</i>	40

LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
<i>Tabla I. Interpretación de la intensidad de recepción de la señal.....</i>	28
<i>Tabla II. Interpretación de la potencia de transmisión reflejada en las antenas reflejada.....</i>	29

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de telemetría son una parte de las telecomunicaciones que tienen como función el llevar a cabo la transmisión de datos de una localidad remota hacia una estación central para su eventual análisis. Existen sistemas de telemetría para la transmisión de datos meteorológicos, sistemas de seguridad de casa habitación y autos, monitoreo de niveles de agua en ríos, presas y tanques de almacenamiento, etc. El enlace de comunicación entre la estación central y la remota puede ser por vía ondas de radio, cable, microondas, fibra óptica, etc. Sin embargo el gran avance en los equipos de radio comunicación ofrecen muchas ventajas sobre otros métodos de transmisión[9].

Generalmente los sistemas de telemetría requieren que los equipos de radio comunicación tengan un módem en la terminal remota (campo) manteniendo un protocolo de comunicaciones con la estación central (laboratorio) y así coordinar la transmisión y validación de la información. En la última década se han desarrollado equipos de radio comunicación que integran radio módem que permiten transmitir información digital a través de ondas de radio y pueden ser utilizados para diseñar sistemas de telemetría de una manera barata y eficiente[5]. Esta habilidad hace que el uso de las aplicaciones de telemetría vía ondas de radio sea atractivo especialmente para el área de la oceanografía[11,12].

Los sistemas de telemetría para la oceanografía están basados en radios módem y formados por una o varias estaciones remotas y una estación central (**Figura 1**). La estación remota está compuesta por un radio módem acoplado a una tarjeta de adquisición de datos que se encargara de procesar la información de los sensores y la mantiene disponible hasta cuando se requiera transmitir a la estación central. De igual manera, en la estación central existe un radio módem conectado a una computadora personal, donde el elemento final es el operador (**Figura 2**). El monitoreo y análisis de la información en tiempo real de la(s) estación(es) remotas se lleva a cabo utilizando programas de computo correspondientes[9].

Los sistemas de telemetría han demostrado ser una herramienta excelente en la oceanografía. Utilizando sistemas de telemetría se han podido obtener series continuas de datos oceanográficos en tiempo real sin la necesidad de enviar personal al campo para tenerlo desde semanas hasta meses capturando datos[16]. Debido a los altos costos de los sistemas de telemetría, en México solo pocas instituciones de investigación cuentan con estos sistemas. Sin embargo, debido a la facilidad de acoplamiento de sistemas de adquisición de datos con radios módem de bajos costos, se pueden integrar sistemas de telemetría para la transmisión de datos oceanográficos. Consecuentemente, el objetivo de este trabajo fue el de diseñar un sistemas de telemetría para datos oceanográficos a bajos costos.

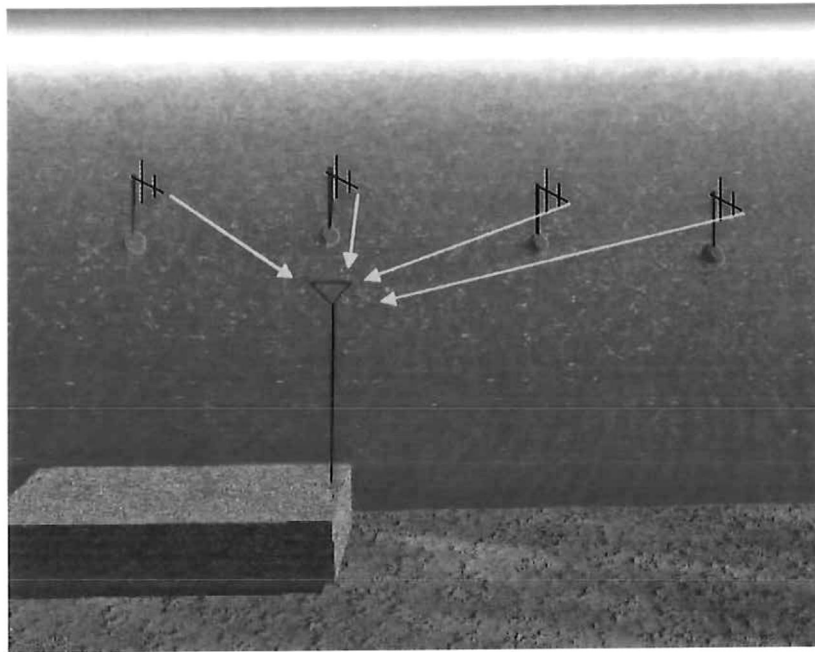


Figura 1. Sistema de telemetría formado por varias estaciones remotas (Boyas) y una estación central.

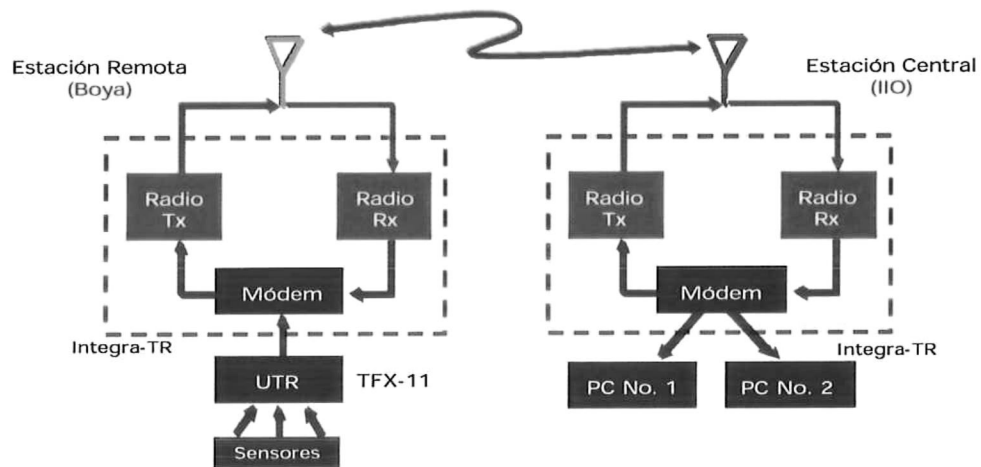


Figura 2. Sistema de telemetría en donde la estación remota está compuesta por los sensores, tarjeta de adquisición de datos (UTR) y un radio módem transceptor [Transmisor (Tx) y receptor (Rx)]. La estación central está compuesta por un radio módem transceptor acoplado a computadoras personales (PC) que llevan el monitoreo y diagnóstico de la información.

ANTECEDENTES

La adquisición de series continuas de datos oceanográficos es crítico para el apoyo a una serie de proyectos de investigación. Sin embargo, la adquisición de datos oceanográficos es generalmente muy costosa debido a que la instrumentación y los costos de operación son muy elevados. Los costos de operación ocasionan que pocas veces se obtengan series largas de datos oceanográficos continuos[16].

En la actualidad hay compañías estadounidenses que se dedican al desarrollo y venta de tarjetas de adquisición de datos de bajos costos, estas tarjetas pueden ser utilizadas para la adquisición de datos oceanográficos en aplicaciones remotas. Sin embargo, se requiere el diseño de circuitos amplificadores y acondicionadores de señal según el tipo de sensor utilizado. En la última década, se han desarrollado equipos de radios módem de bajos costos que pueden ser utilizados para desarrollar sistemas de telemetría de una manera barata y eficiente.

En México existen diversas instituciones que cuentan con proyectos de investigación en el que utilizan sistemas de telemetría para llevar a cabo la adquisición de datos. El monitoreo sísmico del volcán Pico de Orizaba y el Popocatepetl utiliza un sistema de telemetría con radios analógicos de

frecuencia modulada (FM)[15]. Sin embargo la utilización de técnicas de procesamiento y transmisión analógica presentan ciertas desventajas sobre las transmisiones digitales. Una de las ventajas de los sistemas de transmisión digital es que se pueden acoplar tarjetas de adquisición de datos y/o controladores digitales. Los sistemas de transmisión analógica no pueden ser acoplados a las tarjetas digitales. Aún más, los sistemas de transmisión digital tienen una mayor cobertura de transmisión en comparación que los analógicos y mejor fiabilidad de la señal de transmisión.

Existen compañías dedicadas al monitoreo de parámetros medioambientales que utilizan sistemas de telemetría basados en radios módem para controlar y procesar la información de manera digital. El tratamiento de agua en la comunidad de Lakeville, California, EUA, se monitorea de una manera remota. Información de niveles de tanques, presión, flujo, condiciones de bombeo y alarmas de posibles fallas de 34 sitios remotos a esta ciudad son realizadas en tiempo real por medio de sistemas de telemetría[7]. En Australia un grupo especializado en minería cuenta un sistema de telemetría para monitorear si sus tractores se encuentran por debajo ó encima de la carga límite, de esta manera se alerta a los choferes, lo cual incrementa la productividad y seguridad[7]. En México, el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional (CITEDI) desarrollo un sistema de telemetría y control para el suministro de agua potable para el Comisión de Servicios

Públicos de Tijuana (CESPT), logrando el monitoreo y control de 24 tanques localizados en distintos puntos de la ciudad de Tijuana[18].

En la actualidad hay compañías estadounidenses y europeas que ofrecen el servicio y venta de sistemas de telemetría para la oceanografía. Generalmente estos sistemas de telemetría cuestan decenas de miles de dólares, además de los sensores acoplados a estos. En México, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con un sistema de telemetría para imágenes satelitales infrarrojas. El servicio es prestado por la compañía SeaCon Co. Sin embargo, cobra una mensualidad de aproximadamente 3000 dls para obtener las imágenes. Lo costoso de estos sistemas hace que muchos proyectos de investigación en México no puedan contar con este tipo de sistemas.

Con este proyecto de tesis se desarrolla por primera vez en la Universidad Autónoma de Baja California un sistema de telemetría para datos oceanográficos basado en el radio módem Integra-TR y la tarjeta de adquisición de datos TFX-11.

OBJETIVO

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es el de diseñar un sistema para transmitir y almacenar información oceanográfica remota continua por medios inalámbricos.

Objetivos particulares

1. Diseño y acoplamiento de un sensor de temperatura a una tarjeta de adquisición de datos.
2. Diseño y acoplamiento de irradiómetros a una tarjeta de adquisición de datos.
3. Diseño y acoplamiento de un sistema de transmisión de datos de una estación remota a una estación central mediante métodos inalámbricos.
4. Diseño y acoplamiento de un sistema para la captura y almacenamiento de información oceanográfica en tiempo real.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sensor de temperatura

El sensor de temperatura fue diseñado acoplando un termistor (YSI44006, YSI, EUA) a un circuito divisor de voltaje (**Figura 3**). El termistor tiene un rango de temperatura de 0 - 120°C y presenta un valor de resistencia interna de 10k Ω @ 25°C. Una resistencia de precisión de 10k Ω se conectó en serie al termistor logrando de esta manera hacer el circuito divisor de voltaje (**Figura 4**).

El termistor fue encapsulado en un tubo de plástico relleno de silicón para hacerlo resistente al agua y se calibró a diferentes temperaturas (**Figura 5**). El sensor de temperatura se sumergió en la cámara de un termocirculador calibrado con un termómetro digital. La respuesta de voltaje entre 5 a 35°C se utilizó para calibrar al sensor de temperatura.



Figura 3. Termistor YSI44006, el cual tiene un diámetro de 2.4 mm unido a dos alambres de plata de 7.6 cm de longitud.

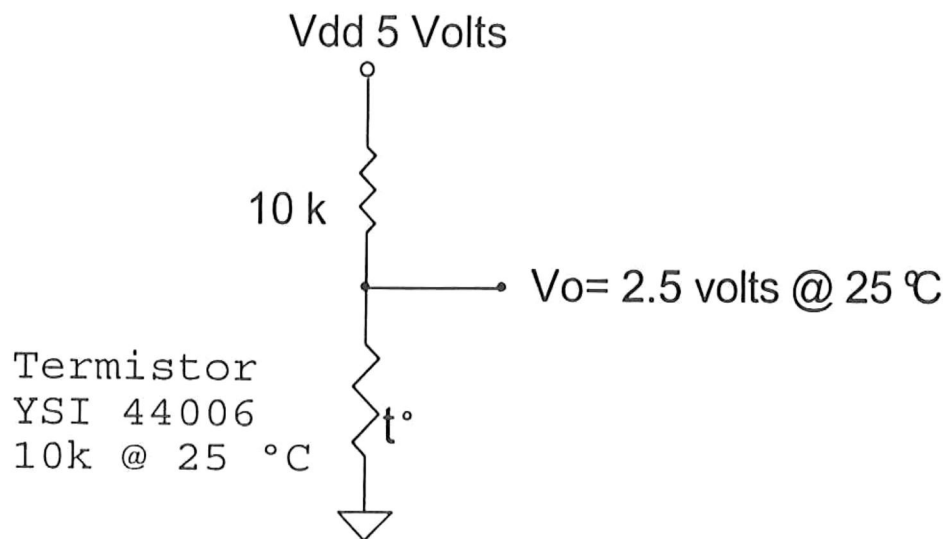


Figura 4. Circuito del sensor de temperatura, compuesto por una resistencia de precisión de $10\text{k}\Omega$ en serie con el termistor YSI 44006 el cual presenta una resistencia interna de $10\text{k}\Omega$ a 25°C . El circuito fue alimentado por medio del regulador de 5 volts de la tarjeta de adquisición de datos.

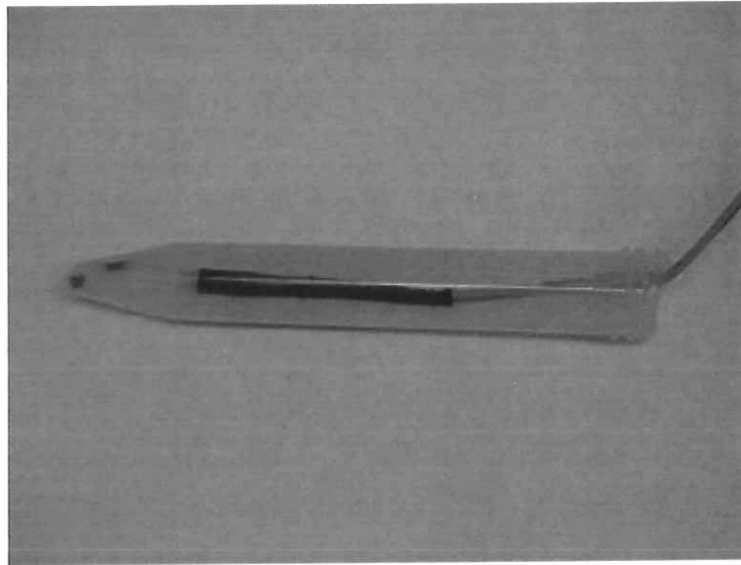


Figura 5. Termistor YSI44006 encapsulado en tubo de plástico relleno de silicón.

Sensores de irradiancia incidente y submarina

La irradiancia incidente y submarina se determinó acoplando los sensores de irradiancia comerciales (LI-190S & LI-193, LICOR, EUA) a una tarjeta de adquisición de datos (**Figura 6**). Estos sensores de irradiancia están contruidos por un fotodiodo de silicón cubierto con un filtro de transmitancia neutra a longitudes de onda (λ) entre 400 y 700 nanometros(nm) por unidad de superficie y tiempo. La irradiancia con longitudes de onda de 400 - 700 nm es considerada como la luz fotosintéticamente activa. El sensor de irradiancia incidente LI-190SA tiene una sensibilidad de $5\mu\text{A}$ por cada $1000\ \mu\text{mol fotón m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mientras que el sensor de irradiancia submarina LI-193SA tiene una sensibilidad de $7\mu\text{A}$ por cada $1000\ \mu\text{mol fotón m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Las señales de los sensores de irradiancia ($\mu\text{Amperes}$) fueron acondicionadas de manera independiente con una resistencia de $10\text{k}\Omega$ (**Figura 7**). El acondicionamiento de la señal de los irradiómetros tiene la función de convertir a voltaje la corriente generada por el sensor.

La señal de los sensores de irradiancia fue amplificada utilizando el amplificador de instrumentación AMP04 (Analog Devices, EUA). El amplificador AMP04 es un componente que opera con una sola fuente de alimentación desde 5 a 15 volts, cuenta con bajo voltaje de error de $150\ \mu\text{V}$ y un consumo de corriente

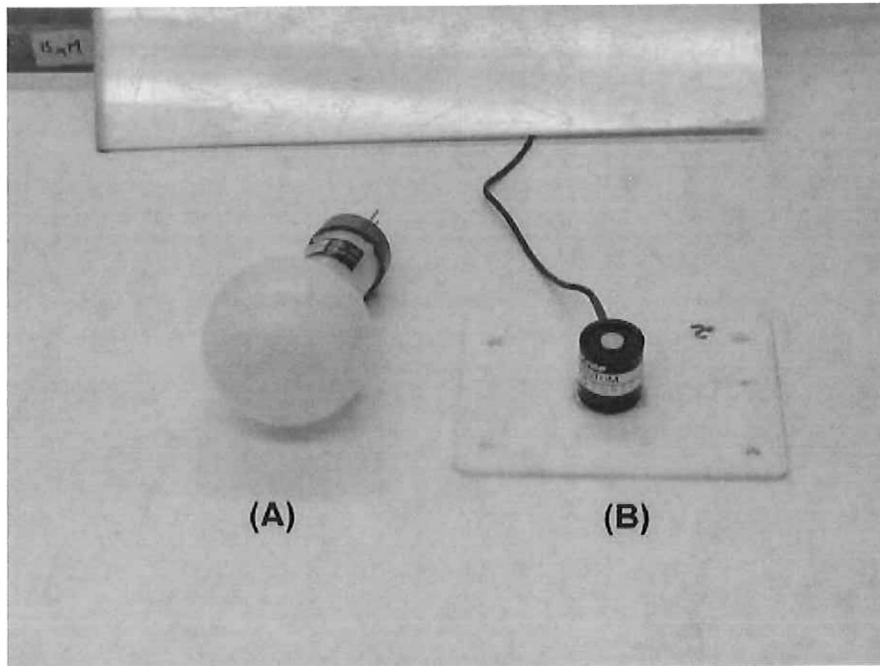


Figura 6. Sensores de irradiancia submarina(A) LI-193SA (LICOR, EUA) e incidente(B) LI-190SA (LICOR, EUA).

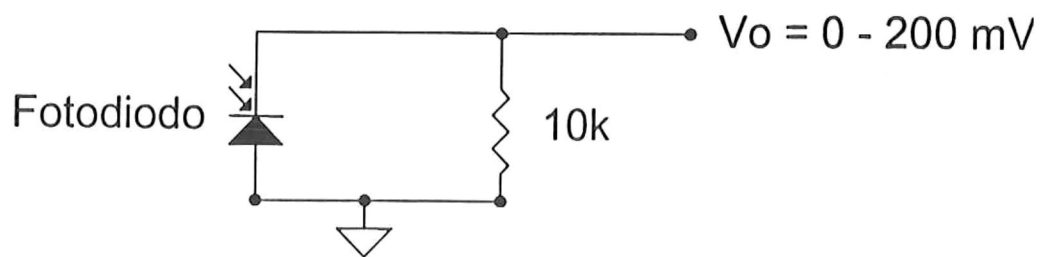


Figura 7. Los sensores de irradiancia incidente y submarina están conectados en paralelo con una resistencia de $10\text{k}\Omega$ para obtener una respuesta de $0 - 2000 \text{ mV}$ en el rango de $0 - 3000 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

de 700 μA . La ganancia de este amplificador está dada por la siguiente ecuación:

$$G = \frac{100k}{R_{\text{Gain}}} \quad (1)$$

Donde G es la ganancia del amplificador y R_{Gain} es la resistencia de ganancia. Los amplificadores fueron diseñados utilizando la ecuación (1). Se asignó una ganancia de $G = 33.33$ para el sensor de irradiancia submarina y una $G = 27.72$ para el sensor de irradiancia incidente, obteniendo las resistencias de ganancia con valor de $3k\Omega$ y $4.4k\Omega$ respectivamente (**Figura 8**).

La calibración de los sensores de irradiancia se realizó utilizando una lámpara halógena con un foco de tungsteno y cuarzo. Estos focos de tungsteno proveen una distribución espectral entre 300 - 1100 nm de longitud de onda (λ) y es la que más se asemeja a la luz solar. Se utilizó un irradiómetro comercial (LI-1000, LICOR, EUA) para fijar la intensidad de luz a la que fueron sometidos los sensores. La respuesta de voltaje en el rango de 0 - 3500 $\mu\text{mol fotón s}^{-1}\text{m}^{-2}$ se utilizó para calibrar a los sensores de irradiancia incidente y submarina.

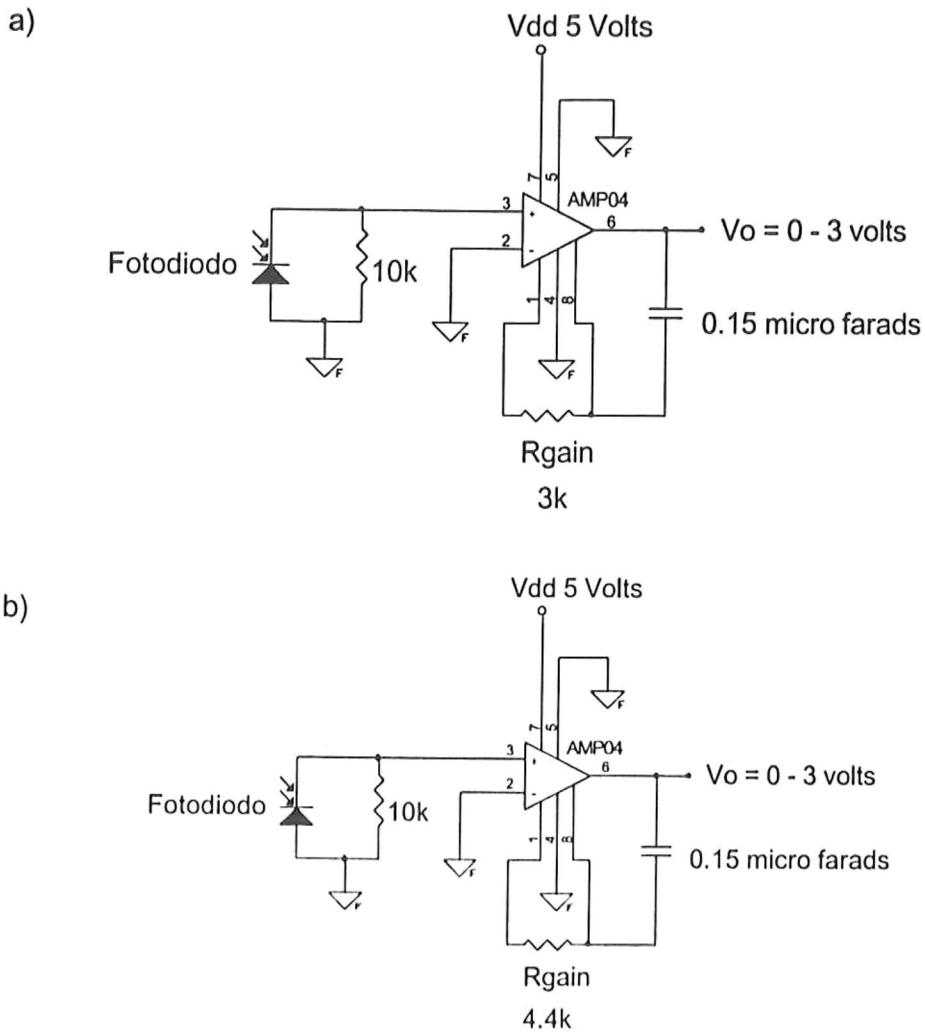


Figura 8. Diseño de los amplificadores de instrumentación para los sensores de irradiancia. El sensor de irradiancia submarina (a) tiene una resistencia de ganancia de $3k\Omega$ mientras que el sensor de irradiancia incidente (b) tiene una resistencia de ganancia de $4.4k\Omega$. Estos amplificadores están diseñados para tener una respuesta de 0 - 3 volts en el rango de 0 - $3000 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Circuito impreso

Se diseñó un circuito impreso de una sola cara. Este circuito impreso fue realizado para los sensores de irradiancia utilizando el software de ORCAD/PCB versión DOS (**Figura 9**). Las pistas del circuito impreso diseñado fueron impresas en una placa de cobre por medio de rayos ultravioleta dejando marcadas las pistas sobre la placa de cobre. Posteriormente la placa de cobre con las pistas impresas fue introducida en ácido para dejar solamente las pistas impresas y después fue bañado en flux de soldadura.

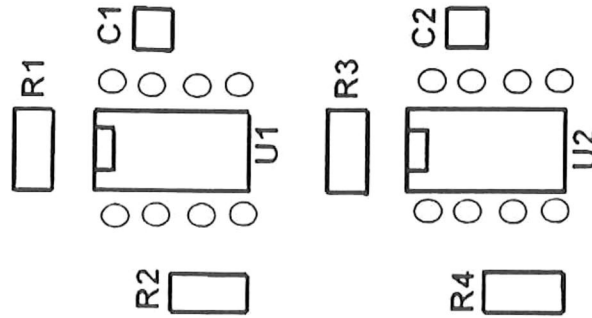
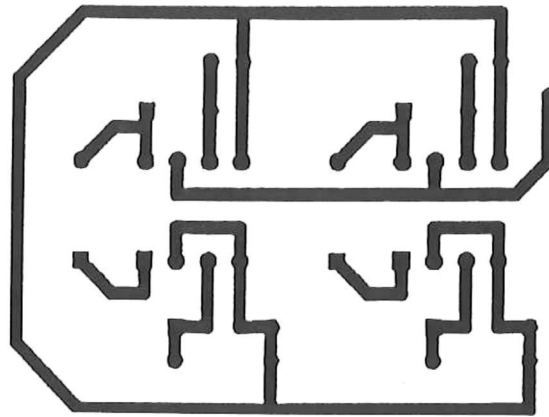


Figura 9. Diseño del circuito impreso y ubicación de las resistencias (R), capacitores (C) y amplificadores de instrumentación (U1 y U2).

Tarjeta de adquisición de datos TFX-11

El control de procesamiento y almacenamiento remoto de la información oceanográfica se realizó utilizando la tarjeta de adquisición de datos TFX-11 (Onset Computer, EUA) (**Figura 10**). La tarjeta de adquisición de datos TFX-11 es una tarjeta electrónica programable de bajo consumo diseñada especialmente para control de dispositivos y adquisición de datos para aplicaciones remotas. Esta tarjeta electrónica cuenta con 19 canales para la adquisición de datos (8 canales de 8 bits y 11 canales de 12 bits) con un rango de entrada de 0 - 5 volts y tiene una memoria con capacidad para almacenar hasta 413,000 kbytes de datos.

La tarjeta de adquisición de datos TFX-11 fue programada en lenguaje de programación TFBasic. La función principal del programa es la de indicarle al TFX-11 las operaciones y funciones que tiene que desempeñar de manera autónoma en el sitio remoto. El programa desarrollado para este sistema de telemetría consta de 3 etapas:

a) Configuración de la fecha, hora y tiempo de muestreo.

La etapa de configuración consistió en la configuración de la tarjeta TFX-11 para operar a una velocidad de comunicación de 9600 bps con la computadora personal (PC) y el radio módem. El programa solicita al usuario la introducción

de fecha y hora actual. El tiempo de muestreo se fijó por programación a 10 minutos. Una vez introducida esta información la tarjeta TFX-11 comienza a operar de manera autónoma.

b) Procesamiento de la señal de los sensores.

La etapa de procesamiento se encarga de procesar y preparar la información de los sensores. El procesamiento consistió en introducir en el programa las ecuaciones obtenidas en la calibración de cada uno los sensores. El voltaje de los sensores es capturado y transformado a unidades de temperatura e irradiancia, mediante las ecuaciones de calibración. Además, el programa añade la fecha y hora en la que fue adquirida y procesada la información, quedando de esta manera lista para su transmisión.

c) Transmisión de la información procesada al radio módem Integra-TR.

La información adquirida y procesada en la tarjeta TFX-11 es enviada al radio módem a una velocidad de 9600 bps en formato serial de 8 bits, sin paridad y un bit de parada (8,N,1) en niveles RS-232 por medio del pin B3 (TXD). El radio módem es despertado al momento de recibir la información de la tarjeta TFX-11 por medio del pin de control A23 (I/O 5). Una vez hecha la transmisión de los datos la tarjeta TFX-11 y el radio módem se apagan para mantener un menor consumo de la batería. El radio módem se mantiene apagado hasta recibir la señal de transmisión en la siguiente toma de datos.

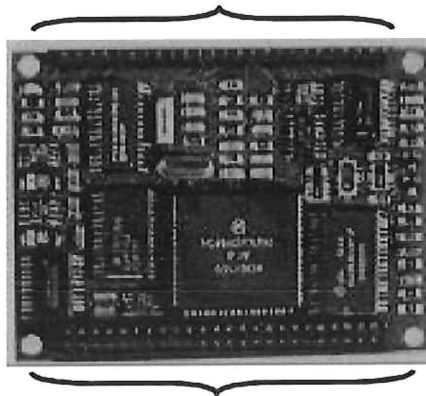
El programa para el TFX-11 esta descrito de la siguiente manera:

```

    baudset(9600) // Selección de velocidad de comunicación a 9600 baud
    9600=baudget
inicio:
    // Programación de fecha y hora
    print " "
    print "FECHA Y HORA ACTUAL ";
    print #02,?(4),"/",?(3),"",?(5)," ",?(2),":",?(1),":",?(0)
    print " "
    print "QUIERES METER NUEVA FECHA Y HORA ? [N]"
    Input "ESCOJA Y(SI) or N(NO): "ans$,#1
    if ans$ = "Y" | ans$ = "y"
    Input "MES: "?(4)
    Input "DIA: "?(3)
    Input "ANO: "?(5)
    Input "HORA: "?(2)
    Input "MINUTO: "?(1)
    Input "SEGUNDOS: "?(0)
    if ?(4) <> 0
    stime
    SetRTC
    endif
    ReadRTC
    Rtime
    hyb 0
    // Inicia reloj para bajo consumo de baterias
tomadedatos:
    // Inicia el reloj para muestreo de datos
    rtime
    // Actualiza el reloj y fecha
    irracalval!=1066.5
    // Factor de calibración sensor de irradiancia submarina
    irrapcalval!=1007.5
    // Factor de calibración sensor de irradiancia incidente
    irracalval2!=0.1595
    // Factor de calibración sensor de irradiancia submarina
    irrapcalval2!=3.2499
    // Factor de calibración sensor de irradiancia incidente
    vstore 0, irracalval!
    // Guardar factor de calibración al registro 0
    vstore 1, irrapcalval!
    // Guardar factor de calibración al registro 1
    vstore 2, irracalval2!
    // Guardar factor de calibración al registro 2
    Vstore 3, irrapcalval2!
    // Guardar factor de calibración al registro 3
    tempc!=float(temp(chan(0)))/100.0
    // Muestrea la temperatura
    irradr!=float(chan(1))*asflt(vget(0))+asflt(vget(2))
    // Muestrea la irradiancia submarina
    irrarp!=float(chan(2))*asflt(vget(1))-asflt(vget(3))
    // Muestrea la irradiancia incidente
    trama$=str(#02,?(4),"",?(3),"",?(5)," ",?(2),":",?(1),":",?(0)," -
    ", "T=",#6.5F,tempc!, " : l(s)=",#6.5F,irradr!, " l(i)=",#6.5F,irrarp!)
    print trama$
    // Transmite la información de los sensores y fecha
    hyb 600
    // Inicia el bajo consumo durante 10 minutos
    goto tomadedatos
    // Vuelve a la etiqueta getdata para realizar nueva de toma de
datos
salida:
    stop

```

Terminales (pines) EUAados para la programación de la tarjeta



Terminales (pines) de control y canales de adquisición de datos de 8 y 12 bits.

Figura 10. Tarjeta de adquisición de datos TFX-11.

Radio módem Integra-TR

La transmisión de la información procesada por la tarjeta de adquisición de datos se realiza utilizando el radio módem (Integra-TR, Dataradio, EUA). El radio módem es un radio transceptor (transmisor/receptor) que incluye un módem. El módem EUA modulación digital para modular/demodular la información digital a velocidades programables desde 4800, 9600 y 19200 bps. El modulo transmisor DL3276 del radio módem Integra-TR está diseñado para transmitir a distancias mayores de 50 km dependiendo el nivel de terreno y tipo de antenas. El modulo receptor tiene una sensibilidad de recepción de $0.3 \mu\text{V}$ para 12 dB de SINAD equivalente a -114 dB de recepción. Este radio módem está diseñado especialmente para aplicaciones de control y telemetría, además es compatible con una gran variedad de unidades terminales remotas (UTR) como es el caso de la tarjeta de adquisición de datos TFX-11. El radio módem soporta configuraciones de sistema de punto a punto y punto a multipunto, los cuales pueden estar en modo simplex ó halfduplex. Cuenta con un puerto serial COM para comunicación con la unidad terminal remota (UTR) y otro puerto serial SETUP independiente para llevar a cabo su programación y diagnóstico de transmisión (**Figura 11**).



Figura 11. Radio módem Integra-TR cuenta con 2 puertos seriales (COM y SETUP) para llevar a cabo la transmisión de los datos y así como también su programación y diagnóstico de transmisión respectivamente.

Los radios módem fueron programados de la siguiente manera:

a) Frecuencia de transmisión.

El radio módem cuenta con un ancho de banda de 20 MHz en el rango de 450 - 470 MHz de la banda UHF, el ancho de banda del canal de transmisión es de 12.5 kHz lo que hace que este radio módem cuente con 1600 canales para la transmisión. En este sistema de telemetría los radios módem remoto y central fueron programados para transmitir en la frecuencia de 459.62500 MHz.

b) Potencia.

Los radios módem pueden ser programado para tener una salida de potencia desde 1 - 5 watts. El radio módem remoto se programó a su máxima potencia de salida (5 watts) para obtener mayor cobertura por parte de la antena.

c) Modo de operación y velocidad de transmisión.

El radio módem remoto fue programado para permanecer en modo dormido (sleep mode) y solo es despertado por la tarjeta TFX-11 para iniciar la transmisión. Al terminar la transmisión de los datos el radio módem fue programado para apagarse y tener un menor consumo de la batería. El radio módem central siempre permanece despierto en modo de recepción esperando la transmisión de la estación remota. Además, los radios módem fueron programados para manejar y transmitir la información en formato de 8 bits, sin

paridad y 1 bit de parada (8,N,1). Los radios módem fueron programados para tener una velocidad de transmisión a 9600 bps. La velocidad de transmisión a 9600 bps es igual entre el radio módem y la tarjeta TFX-11 para que exista compatibilidad entre ambos sistemas.

El radio módem remoto está programado para enviar un diagnóstico de cada transmisión de datos y que es independiente de la información de los sensores. El diagnóstico de transmisión es monitoreado por una computadora personal (PC) por medio del puerto SETUP del radio módem con el fin de mantener informado al usuario de la calidad del enlace. Los parámetros enviados en cada diagnóstico de transmisión se presentan de la siguiente manera:

a) Identificación (ID).

El ID es un número de identificación que tienen los radios módem, y nos indica cual de los radio módem remotos envió el diagnóstico de transmisión.

b) Temperatura (°C).

Este parámetro nos indica la temperatura interna del radio módem remoto que envió el diagnóstico de transmisión. El radio módem debe trabajar en el rango de 30 - 37°C, se recomienda evitar hacer transmisiones por mas de 30 s para evitar un sobrecalentamiento del transmisor.

c) Voltaje de alimentación (Battery Remote [B+])

El valor de voltaje de alimentación (B+ Remoto) es el voltaje que tiene la batería que alimenta al radio módem remoto que envió el diagnostico de transmisión. El voltaje de la batería deberá mantenerse dentro de 10 - 16 volts, logrando detectar de esta manera si la batería de dicha estación remota está siendo recargada adecuadamente por los páneces solares

d) Potencia de la señal recibida por la antena local y remota (Local & Remote Radio Signal Strength [RSSI]).

Este parámetro indica la potencia de la señal recibida por la antena del radio módem local y remoto en la última transmisión. Los valores típicos de este parámetro están en el rango de -110 dbm a -60 dbm. El valor negativo de este parámetro indica atenuación de la señal de acuerdo a la tabla I.

Tabla I. Interpretación de la intensidad de recepción de la señal.

Potencia (dBm)	Fiabilidad (%)	Perdida de datos
-100	50	Frecuentemente
-90	90	Ocasionalmente
-80	99	Aceptable
-60	99.99	Nula

c) Potencia de salida del radio módem (Forward Power).

Este parámetro indica la potencia de salida (en watts) del radio módem remoto que envió el diagnóstico de transmisión. Este parámetro está muy ligado con el voltaje de alimentación (B+ remote) ya que una baja en watts en este parámetro indica que se tiene una carga baja en la batería que podría no estar siendo recargada adecuadamente por los paneles solares.

d) Potencia reflejada del radio módem (Reverse Power).

Este parámetro nos indica la potencia reflejada del radio módem remoto que envió el diagnóstico de transmisión. Este parámetro indica cuando el sistema de transmisión no está operando correctamente debido a que la antena, conectores o cables están defectuosos y podrían estar causando pérdidas en la transmisión. Esto crea ondas estacionarias que pueden ser llamadas razón de ondas estacionarias (SWR). La interpretación de este parámetro lo presentamos en la tabla II:

Tabla II. Interpretación de la Potencia reflejada (Reverse Power).

SWR	Potencia reflejada	Significado
1:1	0	Situación ideal
1.5:1	0.2	Operación normal
2:1	0.6	Requiere revisión técnica
3:1 o más	1.25 o más	Antena, conectivos ó cables defectuosos

Montaje del sistema de telemetría

El montaje del sistema de telemetría consta de 2 partes (**Figura 12**):

a) Estación central (IIO-UABC).

La estación central fue instalada en el laboratorio de Productividad Primaria del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO-UABC). En el techo de esta institución fue instalada una antena omnidireccional quedando aproximadamente a 18 metros sobre el nivel del mar, se utilizó un cable coaxial RG8X-92 de 25 metros de longitud para conectar la antena omnidireccional al radio módem central. El radio módem central cuenta con 2 puertos series que están conectados a 2 computadoras personales (PC) que llevaran a cabo el monitoreo de la información de los sensores y diagnóstico de la transmisión (**Figura 13**).

b) Estación remota (Boya).

La estación remota (Boya) del sistema de telemetría esta integrada por una antena omnidireccional conectada al radio módem remoto por medio de un cable coaxial RG8X-92 de 2 metros de longitud. El radio módem remoto está conectado por medio de su puerto COM a la tarjeta de adquisición de datos la cual envía la información de los sensores de temperatura e irradiancia incidente y submarina (**Figura 14**).

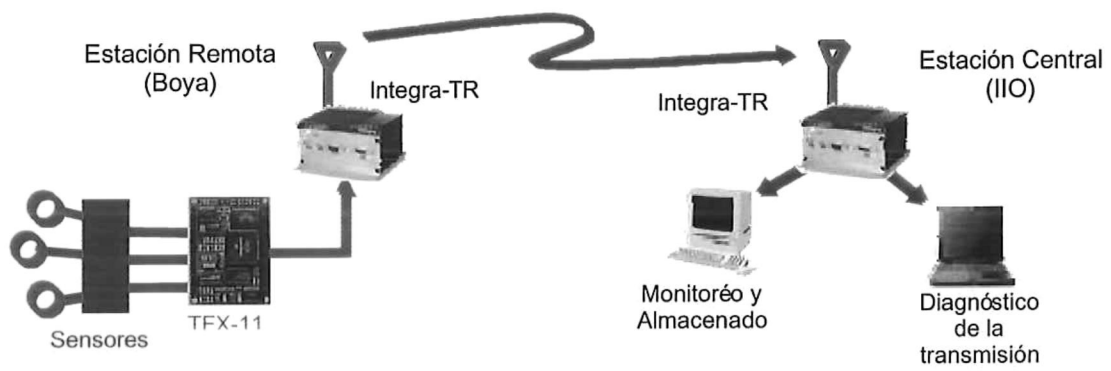


Figura 12. El montaje del sistema de telemetría consta de una estación central y una estación remota.

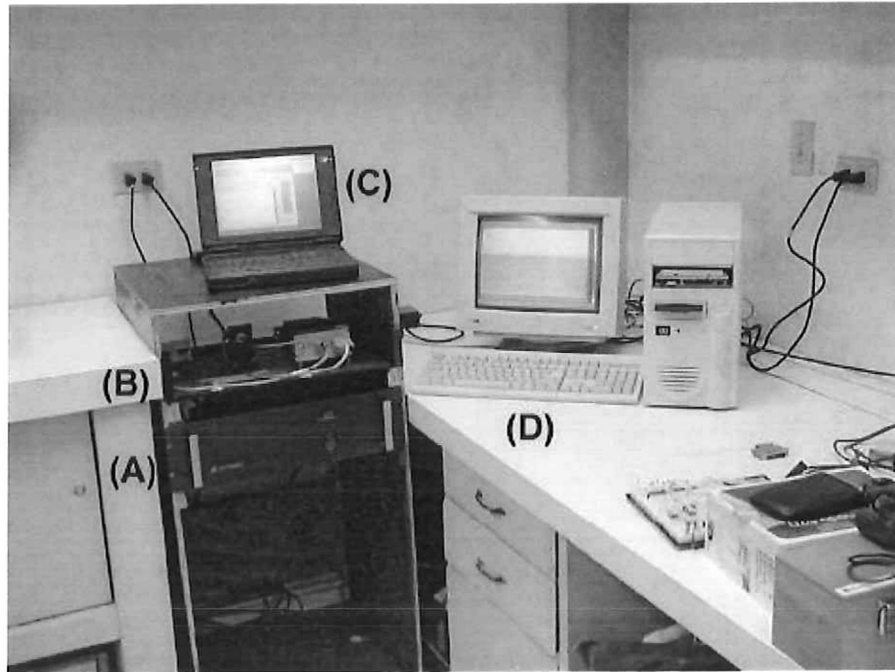


Figura 13. Estación central compuesta por una fuente de voltaje de 12 volts (A) que alimenta al radio módem central del sistema (B) y 2 computadoras personales (C y D) que llevan el monitoreo de la información oceanográfica.

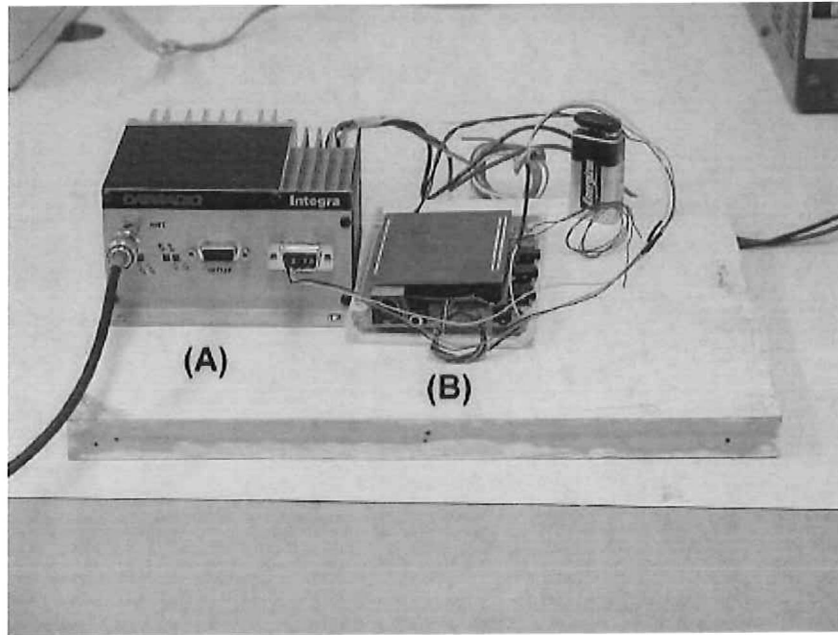


Figura 14. Estación remota está compuesta por el radio módem remoto (A) junto con la tarjeta de adquisición de datos TFX-11 (B).

RESULTADOS

Calibración de los sensores

La respuesta del sensor de temperatura fue lineal e inversamente proporcional al voltaje (**Figura 15**). El mayor voltaje (3.55 volts) del sensor de temperatura se observó a 5°C mientras que el menor voltaje (2.07 volts) se observó a 35°C. La respuesta del voltaje a los cambios de temperatura fue extremadamente lineal ($R^2 = 0.999$) entre 5 y 35°C.

El termistor YSI44006 tiene una constante de tiempo de 1 s para registrar el 63.3% de un cambio de temperatura, sin embargo, la constante de tiempo del sensor de temperatura (termistor encapsulado en silicón) aumentó aproximadamente a 36.8 s para registrar el 63.3% del cambio de temperatura

La respuesta del voltaje del sensor de irradiancia incidente fue lineal y proporcional con respecto al incremento de luz fotosintéticamente activa (**Figura 16**). En la obscuridad se observó un voltaje de respuesta de 0.00122 volts mientras que a la máxima irradiancia experimental de $1452 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se observó un voltaje de respuesta de 1.42 volts. La respuesta de voltaje al incremento de irradiancia fue extremadamente lineal ($R^2 = 0.999$) entre 0 y $1500 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

La respuesta del voltaje del sensor de irradiancia submarina fue lineal y proporcional con respecto al incremento de luz fotosintéticamente activa (**Figura 17**). En la obscuridad se observó un voltaje de respuesta de 0.00122 volts mientras que a la máxima irradiancia experimental de $2566 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se observó un voltaje de respuesta de 2.41 volts. La respuesta de voltaje al incremento de irradiancia fue extremadamente lineal ($R^2 = 0.999$) entre 0 y $2500 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

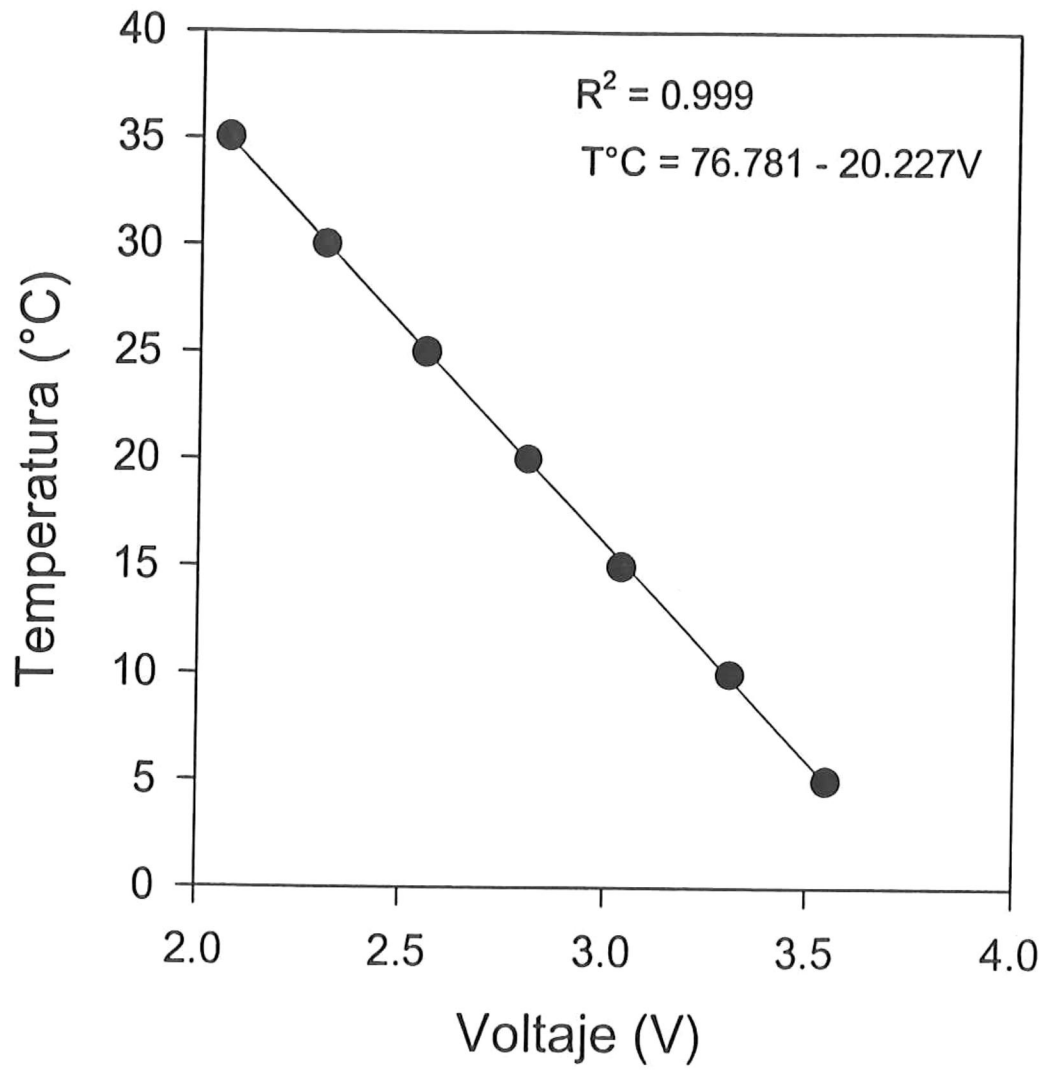


Figura 15. Respuesta de voltaje del sensor de temperatura con respecto a los cambio de temperatura.

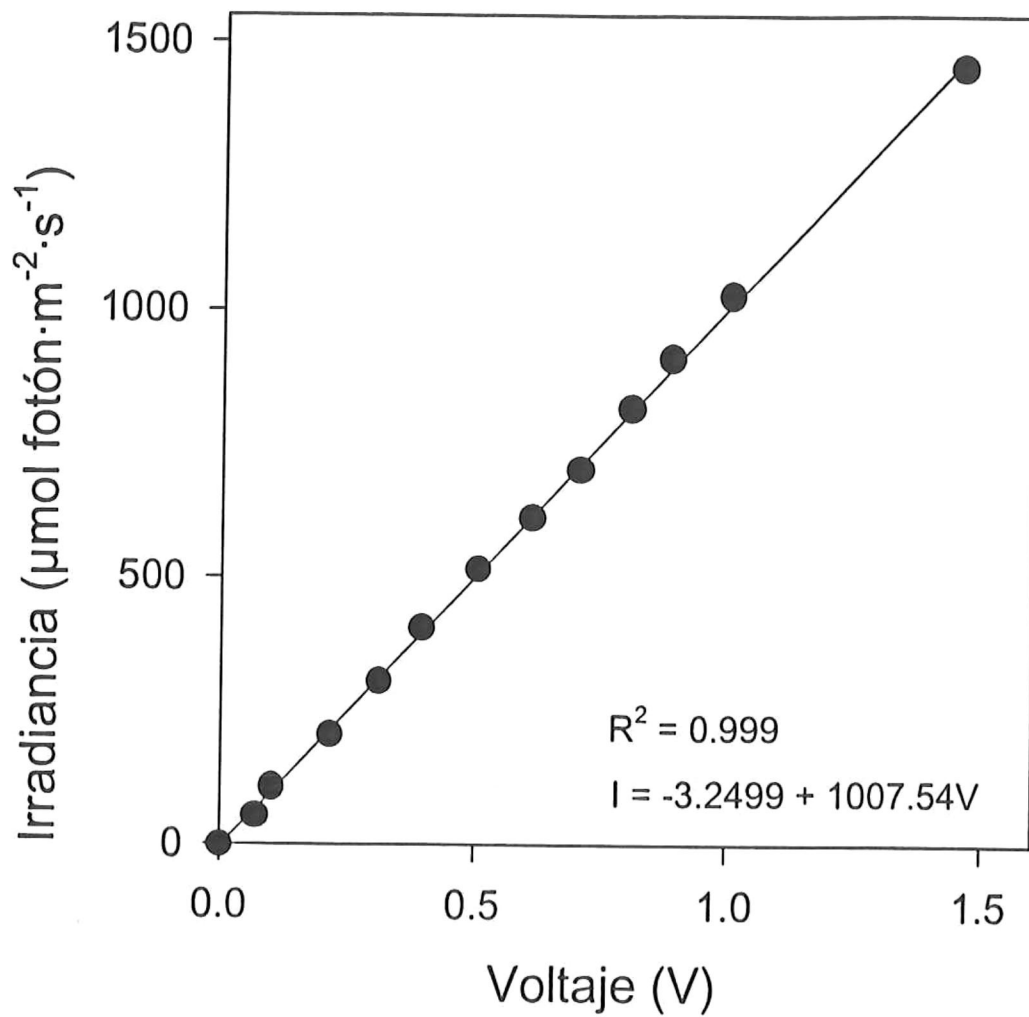


Figura 16. Respuesta de voltaje del sensor de irradiancia incidente con respecto a cambio de luz fotosintéticamente activa.

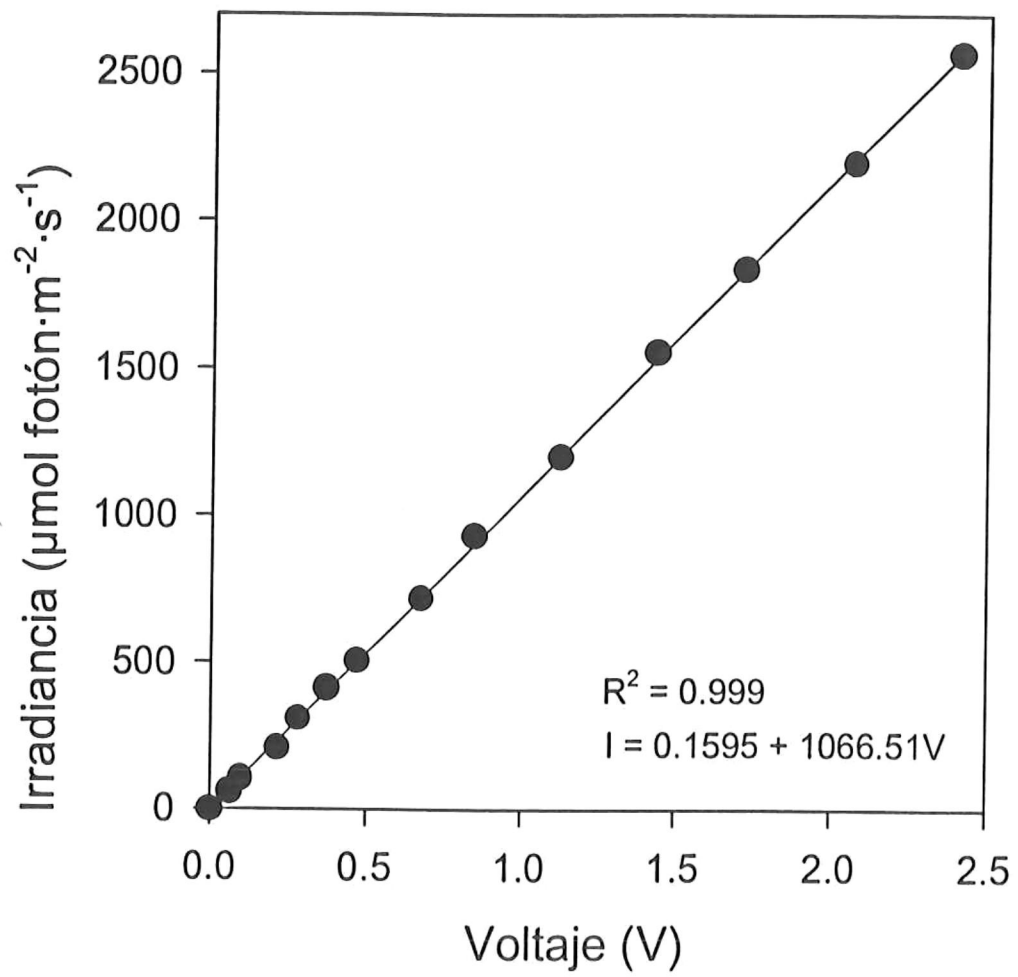


Figura 17. Respuesta de voltaje del sensor de irradiancia submarina con respecto a cambio de luz fotosintéticamente activa.

Pruebas de enlace

Las pruebas de enlace a diferentes distancias entre la estación remota y la estación central, mostraron que la señal transmitida varió con respecto a la distancia (**Figura 18**). Para realizar las pruebas de transmisión a diferentes distancias la estación remota transmisora fue instalada en un automóvil junto a una antena de 1.5 metros sobre el nivel del mar. Durante las pruebas de enlace se utilizaron equipos de radiocomunicación para mantener siempre una comunicación personal entre los operadores de ambas estaciones. Se procuró que la estación remota quedara lo mas cerca al mar para tener una mejor línea de vista con la estación central. La máxima señal de transmisión (-60dBm) se obtuvo en el rango de 0 – 300 metros de distancia entre la estación central y la estación remota. Después de los 300 metros se observó un decaimiento exponencial de la señal hasta los 6500 metros en donde la transmisión disminuyó hasta los -90dBm. La señal de transmisión se perdió después de 6 km de distancia bajo las condiciones anteriores. Sin embargo, se realizo una prueba de enlace en donde se instaló la estación remota transmisora a 12 km de la estación central y a una altura de 60 metros sobre el nivel del mar se observó una transmisión de -90dBm. En la estación remota fue instalado un medidor de potencia comercial entre la antena y el radio módem remoto en el cual se obtuvo una razón de ondas estacionarias (SWR) de 2.5 watts.

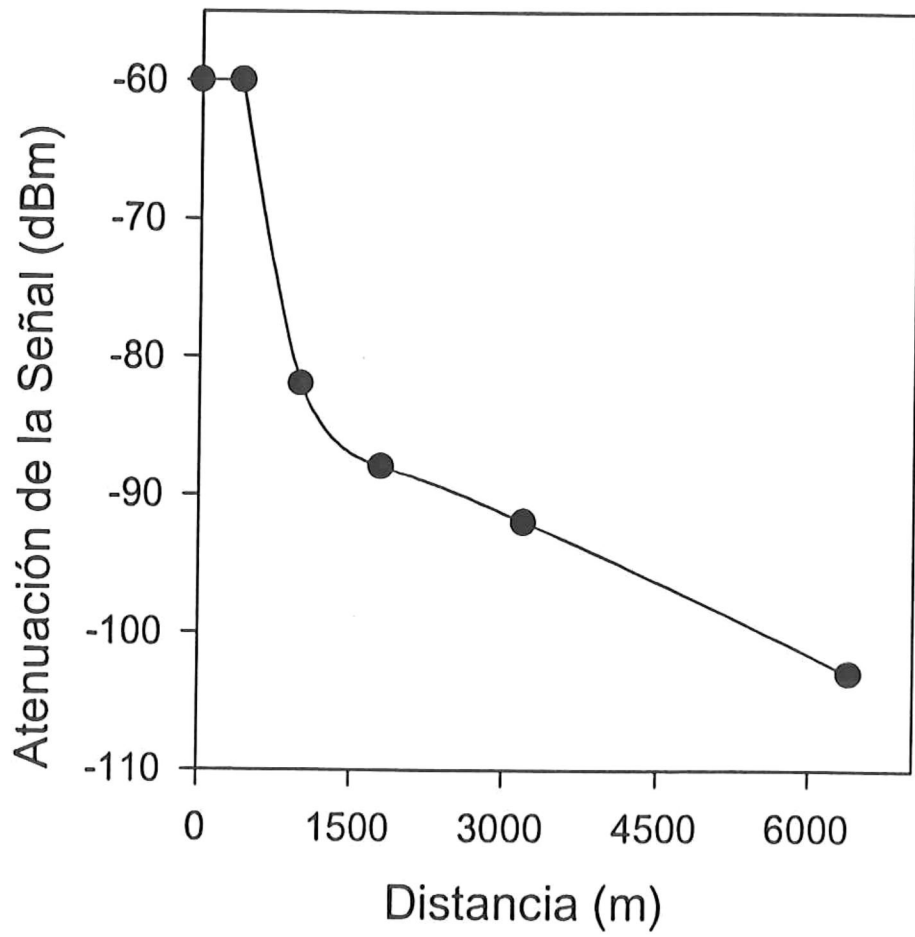


Figura 18. Respuesta de la transmisión de señal a diferentes distancias entre la estación remota y central.

DISCUSIÓN

El sensor de temperatura tuvo un aumento en la constante de tiempo debido a que el termistor fue encapsulado en un tubo de plástico y relleno con silicón. Este sensor de temperatura tiene una constante de tiempo de 36.8 segundos para alcanzar un 63.3% de un cambio de temperatura. Esta respuesta puede disminuirse encapsulando al termistor en un tubo de aluminio por ser mejor conductor del calor, también es recomendable encapsular al termistor en un tubo de acero inoxidable para una mejor protección contra golpes. Sin embargo, el tiempo de respuesta obtenido del sensor de temperatura que fue encapsulado en un tubo de plástico es completamente aceptable debido a que la frecuencia de corte del filtro (837.75 Hz) es mucho mayor que el tiempo de muestreo (1/600 Hz), esto significa que el tiempo de retardo provocado por el encapsulado no afectará a las mediciones. Una de las ventajas de este sensor de temperatura es que presenta un bajo costo, precisión y amplio rango de medición.

Los sensores de irradiancia incidente y submarina cuentan con un error de conversión obtenido en la calibración, debido a que el amplificador de instrumentación AMP04 utilizado como acondicionador tiene un voltaje de error (Voltaje de offset) de 1 mV, este error puede ser eliminado adicionando el amplificador operacional OP113 (Analog Devices, EUA) a la terminal 5 del

amplificador de instrumentación AMP04, pero el adicionar un componente mas en el circuito implicaría un mayor consumo de la batería del sistema de adquisición de datos. Sin embargo, el error obtenido en la calibración de los sensores de irradiancia incidente y submarina solamente es notoria en mediciones de irradiancias debajo de $50 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ mientras que a irradiancias por encima de los $50 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ el error disminuye debido a la respuesta extremadamente lineal obtenida en la calibración de ambos sensores. Sin embargo, las irradiancias por encima de los $100 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ demuestran que las plantas marinas obtienen un mayor porcentaje de fotosíntesis[19,21,22]. Una gran ventaja obtenida en el desarrollo de los sensores de irradiancia incidente y submarina fue que se logro sustituir a los irradiómetros comerciales logrando de esta manera reducir drásticamente los gastos de operación del proyecto y facilitar la construcción de un irradiómetro submarino sin exponer a los irradiómetros comerciales de alto costo a un posible hundimiento.

Para las transmisiones entre la estación central y la estación remota fueron utilizadas 2 antenas omnidireccionales comerciales y se ignora la frecuencia de resonancia de estas antenas que fueron las únicas antenas disponibles para la banda de UHF. Sin embargo, se sabe que estas antenas no son las adecuadas para los radios módem ya que por medio del medidor de potencia comercial utilizado en las pruebas de enlace se detecto una SWR de 2.5, lo que significa

que la antena no esta radiando los 5 watts que le envía el radio módem, debido a esto, las pruebas de enlace mostraron un alcance de 6 km entre ambas estaciones. Para conseguir una transmisión mas eficiente las antenas deben entrar en resonancia con la frecuencia de transmisión de los radios módem (450-470 MHz) para obtener la máxima amplitud de transmisión, es decir el voltaje y la corriente de ambas terminales de entrada deben encontrarse en fase[24]. Estas pruebas pueden mejorarse utilizando la antena omnidireccional marina de UHF MMA-4405 (MAXRAD, EUA) que tiene una frecuencia de resonancia dentro del rango de 450 - 460 MHz y una ganancia de 5 dB. Así como también, la utilización de conectores y cables coaxiales de bajas pérdidas. Sin embargo, el alcance obtenido en las transmisiones de ambas estaciones es confiable para este sistema de telemetría, ya que la boya estará ubicada a 1 km del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. Además, para este sistema de telemetría que cuenta con una estación remota es perfectamente aceptable trabajar con antenas diferentes (Direccionales y omnidireccionales). Lo ideal sería instalando en la estación central receptora una antena directiva Yagi MYA-45012 (MAXRAD, EUA) de UHF con una ganancia de 12.2 db, mientras que en la estación remota transmisora sería instalando una antena omnidireccional UHF MMA-4405 (MAXRAD, EUA), la antena Yagi deberá estar polarizada verticalmente a la antena omnidireccional[13].

CONCLUSIÓN

Con el desarrollo del sistema de telemetría propuesto en esta tesis podemos concluir que acoplando componentes y equipos electrónicos de bajo costo se pueden desarrollar sistemas de telemetría para la oceanografía de una manera barata y eficiente.

La aportación más importante en el desarrollo de este trabajo fue que logré resolver la problemática asociada a la adquisición de datos oceanográficos continuos y los costos de operación. Además se obtuvo un sistema de telemetría de bajo costo con características técnicas iguales y/o superiores a los comercialmente disponibles que generalmente son de alto costo.

Un trabajo de recomendación futuro para este sistema de telemetría sería el acoplamiento de sensores de salinidad, pH, corrientímetros, barómetros, etc. diferentes a los utilizados en este proyecto con el fin de obtener una serie de datos oceanográficos mas completa para obtener mejores estudios, ya que este sistema de telemetría diseñado cuenta con 19 canales para la adquisición de datos y en este proyecto solo fueron utilizados 3 canales.

El tema de tesis desarrollado en este trabajo resultó ser muy importante debido a que se envolvía en el campo de la electrónica, telecomunicaciones y oceanografía con el objetivo de satisfacer a las necesidades de los proyectos de investigación en el área de la oceanografía. Por lo anteriormente dicho, fue objeto de motivación personal el realizar un sistema de telemetría para datos oceanográficos, lo cual me dejó experiencias que difícilmente se obtienen al realizar trabajos puramente académicos resaltando así la importancia de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Cabello-Pasini, A. y R.S. Alberte. 1997. Seasonal patterns of photosynthesis and light-independent carbon fixation in marine macrophytes. *J. Phycol.* 33:321-329.
- [2] Carr, J.J. 1993. *Sensor And Circuits*. Prentice Hall, New Jersey EUA, pp 323.
- [3] Coughlin, R.F., F. Frederick y F. Driscoll. 1993. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Prentice Hall, Mexico DF, pp. 538.
- [4] David L. Terrell. 1996. *Op Amps, Design, Application, And Troubleshooting*. Butterworth-Heinemann, MA EUA, pp 487.
- [5] Dataradio. 1999. *Integra TR Technical Manual*. <http://www.dataradio-cor.com>, pp.23.
- [6] Dataradio. 1997. *Electric Utility- Substation Security*. <http://www.dataradio.com/apps/8505.html>. South America.
- [7] Dataradio. 1997. *Applications*. <http://www.dataradio.com/apps/8615.html>. Canada.
- [8] Eady F. 1998. *Theory and Implementation Circuit Cellar*. Prentice Hall. 564 pp.
- [9] Johnson Data Telemetry. 1999. *Telemetry*. <http://www.johnsondata.com>. EUA.
- [10] Onset Computers. 1997. *TFX-11 remote data logger/controler engine*. <http://www.onsetcomp.com>
- [11] Ogura Miki. 1999. *Rapid dives and ascents of sockeye salmon oncorhynchus nerka observed by ultrasonic telemetry in the open sea*. *Fisheries Science* (Tokyo).
- [12] Yatsu Akihiko et.al. 1999. *Traking experiments of the jumbo flying squid, dosidicus gigas, whit an ultrasonic telemetry system in the eastern pacific ocean*

- [13] Wood and Douglas. 1996. Radio Telemetry Applications Manual. <http://www.woodanddouglas.co.uk>, pp 70.
- [14] Zimmerman, R.C. Steller D.L. Kohrs, D.G. y R.S. Alberte. 2000. Top-Down impact through a bottom-up mechanism II: In situ effects of limpet grazing on growth, light requirements and survival of *Zostera marina* L. (eelgrass). Mar. Ecol. Prog. Ser. (en prensa).
- [15] Mora, G. Ignacio ., Murrieta, H. José, 1998. Primer estación de monitoreo sísmico en el volcán pico de Orizaba. [http://www.192.150.113.158/main/about us.html](http://www.192.150.113.158/main/about_us.html). Veracruz, México.
- [16] Schwing, et al. 1997. The state of the california current, 1996-1997: mixed signals from the tropics.
- [17] Alvarez, et al. 1998. El niño oscilación del sur: Fenómenos térmicos y metereológicos producidos en el pacifico mexicano a través de imágenes de satélite en el periodo de 1997-1998.
- [18] Montiel, et al. 2000. Diseño de una UTR para el sistema de telemetría de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Tijuana, B.C.
- [19] Zimmerman, R., Cabello, A. 1994. Modeling daily production of aquatic macrophytes from irradiance measurements: a comparative analysis. Mar Ecol. Prog. Ser 114:185-196.
- [20] Cabello, A., Aguirre, E. 2000. Effect of UV radiation on photoinhibition of marine macrophytes in cultura systems. J. Phycol 12:159-168.
- [21] Cabello, A., Aguirre, E. 2001. Photosynthesis and growth of red and green morphotypes of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) from the philippines. Mar. Biol. 138:679-686.
- [22] Cabello, A., Aguirre, E. 2000. Photoinhibition of photosynthesis in *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae), *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and *Ulva lactuca* (Chlorophyceae) in outdoor cultura systems. J.Biol. 57: 169-178.
- [23] Cabello, A., Randall, A. 1997. Seasonal patterns of photosynthesis and light-independent carbon fixation in marine macrophytes. J. Phycol. 33: 321-329.
- [24] Hayt, W. 1993. Análisis de circuitos en ingeniería. Mc. Graw Hill pp 706.