

# BOYA OCEANOGRÁFICA

## T E S I S

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA presenta:


**ELISEO ESTUDILLO ZAMORA**



---


M.C. Miguel Angel Pérez Chavarría

Director de tesis



---

Dr. Oscar López Bonilla  
Sinodal



---

M.C. Humberto Cervantes De Avila  
Sinodal

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el desarrollo de una boya oceanográfica que incluye los sensores necesarios para medir las diferentes variables tanto meteorológicas como marinas, que se involucran en los procesos físicos en la interfase océano-atmósfera.

El desarrollo consiste, en forma muy general de tres etapas:

- Acondicionamiento ya sea digital o analógico de los diferentes sensores
- Desarrollo del sistema de control del instrumento
- Desarrollo de la programación tanto de control como de comunicación instrumento-usuario

Entre las características más importantes del sistema se tienen las siguientes:

- La boya cuenta con sensores para medir; dirección y rapidez del viento, presión atmosférica, humedad relativa, temperatura del aire, temperatura del agua, dirección y rapidez de las corrientes marinas y amplitud del oleaje.
- El sistema es programable, es decir, se pueden programar los intervalos de muestreo así como las fechas de inicio y fin de un experimento mediante una computadora personal y un programa amigable en la plataforma Windows.
- El instrumento se diseñó para bajo consumo y con un sistema de celdas solares para recargar las baterías.

A la fecha se han obtenido resultados parciales con respecto a la medición de las variables oceanográficas pues aún no se ha colculuido la estructura marina de la boya.

Es importante señalar que el desarrollo de este instrumento es pionero en la instrumentación electrónica oceanográfica en nuestro país, además de coadyuvar a la formación de recursos humanos de calidad.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOYA OCEANOGRÁFICA

T E S I S

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado  
de MAESTRO EN INGENIERÍA presenta:

ELISEO ESTUDILLO ZAMORA

Ensenda Baja California, México, marzo del 2003

## A G R A D E C I M I E N T O S

A mi amigo y director de tesis, M.C. Miguel Angel Pérez Chavarría, por su dirección, sus enseñanzas y explicaciones, su tiempo y su apoyo en todo momento.

A mis sinodales Dr. Oscar López Bonilla y M.C. Humberto Cervantes De Avila, por revisar y corregir este trabajo.

Al Ing. Feliciano Dominguez Preciado por todo el apoyo brindado en todo momento.

Al Oc. Eduardo Gil por facilitar los datos que se utilizan para hacer las comparaciones con nuestro sistema.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por el apoyo brindado para el desarrollo y realización de este trabajo.

# DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis padres

Eliseo Estudillo Carrillo y Margarita Zamora Paniagua

A mis queridos hermanos

Manuel Estudillo Zamora  
Israel Estudillo Zamora  
Jaime Estudillo Zamora  
Juan Estudillo Zamora  
Miguel Estudillo Zamora  
Elva Estudillo Zamora

Y muy especialmente a mi compañera y amiga

Ana Esperanza Marichal González  
TAM

# Índice General

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Introducción . . . . .  | 1         |
| 1.2      | Antecedentes . . . . .  | 1         |
| 1.3      | Planteamiento del problema . . . . .                              | 2         |
| 1.4      | Objetivos . . . . .   | 2         |
| 1.5      | Limitaciones del trabajo . . . . .                                | 3         |
| 1.6      | Organización del trabajo . . . . .                                | 3         |
| <b>2</b> | <b>Descripción general del instrumento</b>                        | <b>4</b>  |
| 2.1      | Introducción . . . . .  | 4         |
| 2.2      | Descripción general . . . . .                                     | 4         |
| 2.3      | Principio de operación . . . . .                                  | 6         |
| 2.4      | Modos de operación . . . . .                                      | 7         |
| 2.4.1    | Modo monitor . . . . .  | 7         |
| 2.4.2    | Modo campo . . . . .  | 7         |
| 2.4.3    | Modo de comunicación . . . . .                                    | 8         |
| <b>3</b> | <b>Adquisición de variables</b>                                   | <b>9</b>  |
| 3.1      | Introducción . . . . .  | 9         |
| 3.2      | Rapidez y dirección del viento . . . . .                          | 9         |
| 3.2.1    | Interfaz con el sensor de rapidez y dirección de viento . . . . . | 11        |
| 3.3      | Temperatura ambiental. . . . .                                    | 14        |
| 3.4      | Humedad relativa . . . . .  | 16        |
| 3.5      | Presión atmosférica . . . . .                                     | 17        |
| 3.6      | Corrientes marinas y temperatura del agua . . . . .               | 19        |
| 3.6.1    | Corrientes marinas . . . . .                                      | 19        |
| 3.6.2    | Temperatura del agua . . . . .                                    | 20        |
| 3.7      | Oleaje . . . . .  | 21        |
| 3.8      | Brújula . . . . .   | 22        |
| <b>4</b> | <b>Procesamiento y distribución de las señales.</b>               | <b>24</b> |
| 4.1      | Introducción . . . . .  | 24        |
| 4.2      | El microcontrolador . . . . .                                     | 24        |
| 4.2.1    | Modos de bajo consumo . . . . .                                   | 25        |
| 4.3      | Reloj de tiempo real . . . . .                                    | 26        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.4      | Memoria de respaldo . . . . .                                    | 28        |
| 4.4.1    | Distribución de la memoria . . . . .                             | 29        |
| 4.5      | Convertidor analógico a digital (CAD) . . . . .                  | 31        |
| 4.6      | Fuentes de alimentación . . . . .                                | 34        |
| <b>5</b> | <b>Programación</b>  | <b>35</b> |
| 5.1      | Programa de control . . . . .                                    | 35        |
| 5.1.1    | Rutina de intercomunicación . . . . .                            | 35        |
| 5.1.2    | Mandos de la boya . . . . .                                      | 36        |
| 5.2      | Programa de intercomunicación . . . . .                          | 39        |
| 5.3      | Protocolo de comunicación . . . . .                              | 42        |
| <b>6</b> | <b>Pruebas de campo y laboratorio</b>                            | <b>44</b> |
| 6.1      | Introducción . . . . .   | 44        |
| 6.2      | Pruebas de laboratorio . . . . .                                 | 44        |
| 6.2.1    | Pruebas al reloj de tiempo real . . . . .                        | 44        |
| 6.2.2    | Pruebas al convertidor analógico a digital . . . . .             | 45        |
| 6.2.3    | Pruebas a la memoria . . . . .                                   | 45        |
| 6.2.4    | Prueba de consumo . . . . .                                      | 45        |
| 6.3      | Pruebas de campo . . . . .                                       | 45        |
| 6.3.1    | Rapidez y dirección del viento. . . . .                          | 47        |
| 6.3.2    | Temperatura ambiental. . . . .                                   | 47        |
| 6.3.3    | Humedad relativa . . . . .                                       | 47        |
| 6.3.4    | Presión Atmosférica . . . . .                                    | 50        |
| 6.3.5    | Rapidez, dirección de las corrientes y temperatura del agua. . . | 50        |
| 6.3.6    | Oleaje . . . . .   | 52        |
| 6.3.7    | Brújula . . . . .  | 54        |
| <b>7</b> | <b>Conclusiones y recomendaciones</b>                            | <b>55</b> |
| 7.1      | Conclusiones . . . . .   | 55        |
| 7.2      | Recomendaciones . . . . .  | 56        |
| <b>A</b> | <b>Programa BOYA</b>   | <b>59</b> |
| <b>B</b> | <b>Diagramas esquemáticos de la boya</b>                         | <b>65</b> |
| <b>C</b> | <b>Diagrama de la estructura de la boya</b>                      | <b>72</b> |
| <b>D</b> | <b>Hojas de especificaciones de los sensores</b>                 | <b>74</b> |

# Índice de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Diagrama a bloques del instrumento. . . . .   | 6  |
| 2.2  | Diagrama del principio de operación de la boya. . . . .   | 8  |
| 3.1  | Distribución de los transductores en el sensor de viento. . . . .                                   | 9  |
| 3.2  | Interconexión de sensores en el ducto de SDI-12. . . . .  | 11 |
| 3.3  | Diagrama de tiempos para el protocolo SDI-12. . . . .   | 12 |
| 3.4  | Comando para que tome una nueva medición el sensor de viento . . .                                  | 12 |
| 3.5  | Diagrama de flujo para la adquisición de datos del sensor de viento. .                              | 13 |
| 3.6  | Sensor ultrasónico de rapidez y dirección del viento, modelo 425 . . . .                            | 13 |
| 3.7  | Sensor de temperatura. . . . .  | 14 |
| 3.8  | Protector de radiación solar del sensor de temperatura. . . . .                                     | 14 |
| 3.9  | Curva de respuesta del sensor de temperatura. . . . .   | 15 |
| 3.10 | Acondicionamiento para el sensor de temperatura. . . . .  | 16 |
| 3.11 | Sensor PTB210 de presión atmosférica. . . . .   | 17 |
| 3.12 | Diagrama de flujo para la lectura en el sensor de presión. . . . .                                  | 18 |
| 3.13 | Sensor acústico DSC 3500R. . . . .  | 19 |
| 3.14 | Area de medición del sensor de corrientes. . . . .  | 20 |
| 3.15 | Diagrama de tiempos para la adquisición de corrientes, dirección y<br>temperatura del agua. . . . . | 21 |
| 3.16 | Foto del sensor de oleaje modelo 3595 de la compañía de Aanderaa . .                                | 22 |
| 3.17 | Sensor de orientación modelo 32500 . . . . .  | 22 |
| 3.18 | Diagrama de flujo para la interfaz entre el sensor y el sistema de adquisi-<br>ción. . . . .        | 23 |
| 4.1  | Diagrama a bloques del microcontrolador. . . . .  | 25 |
| 4.2  | Diagrama de flujo del funcionamiento del RTR. . . . .   | 28 |
| 4.3  | Diagrama interno de la memoria. . . . .   | 29 |
| 4.4  | División de páginas y bloques en la memoria. . . . .  | 30 |
| 4.5  | Buffer interno del microcontrolador y los buffers de la memoria. . . . .                            | 30 |
| 4.6  | Diagrama de tiempo para la escritura en el buffer interno de la memoria. .                          | 31 |
| 4.7  | Diagrama de tiempos para la escritura al buffer de la memoria. . . . .                              | 31 |
| 4.8  | Diagrama interno del convertidor ADS7870. . . . .   | 32 |
| 4.9  | Diagrama de tiempos para la escritura al convertidor. . . . .                                       | 33 |
| 4.10 | Diagrama de tiempos para leer al convertidor. . . . .   | 34 |
| 5.1  | Inicio del programa de la boya. . . . .   | 36 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.2  | Diagrama de flujo de la rutina de intercomunicación . . . . .   | 36 |
| 5.3  | Diagrama de flujo del mando "A". . . . .  | 37 |
| 5.4  | Diagrama de flujo del mando "L". . . . .  | 37 |
| 5.5  | Diagrama de flujo del mando "P". . . . .  | 38 |
| 5.6  | Diagrama de flujo del mando "E". . . . .  | 39 |
| 5.7  | Diagrama de flujo para el mando autopruueba. . . . .  | 40 |
| 5.8  | Diagrama de flujo del mando fechas. . . . .   | 41 |
| 5.9  | Diagrama de flujo del mando archivo. . . . .  | 42 |
| 6.1  | Instalación de los sensores de la boya a un lado de la estación de Aanderaa. . . . .  | 46 |
| 6.2  | Marcas para el alineamiento al norte del sensor de viento. . . . .  | 47 |
| 6.3  | Resultados de rapidez de viento medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de $1.5 \frac{m}{s}$ . . . . . | 48 |
| 6.4  | Resultados de dirección de viento medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de $100^\circ$ . . . . .     | 48 |
| 6.5  | Resultados de temperatura ambiental medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de $3^\circ$ . . . . .     | 49 |
| 6.6  | Resultados humedad relativa medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de $\pm 8 \%HR$ . . . . .          | 49 |
| 6.7  | Resultados de presión atmosférica medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de 0.4 psia. . . . .         | 50 |
| 6.8  | Resultados del sensor de rapidez de corrientes marinas. . . . .   | 51 |
| 6.9  | Resultados de dirección de corrientes marinas. . . . .  | 51 |
| 6.10 | Resultados de temperatura del agua. . . . .   | 52 |
| 6.11 | Resultados del sensor de altura del oleaje. . . . .   | 53 |
| 6.12 | Resultados de periodo del oleaje. . . . .   | 53 |
| 6.13 | Resultados del sensor de orientación. . . . .   | 54 |
| A.1  | Ventana principal del programa de intercomunicación. . . . .  | 59 |
| A.2  | Ventana para la opción PUERTO. . . . .  | 60 |
| A.3  | Ventana para la opción FECHAS. . . . .  | 61 |
| A.4  | Ventana para actualizar la fecha y hora del RTR. . . . .  | 61 |
| A.5  | Ventana para la opción RESPALDO. . . . .  | 62 |
| A.6  | Figura A6: Ventana para la opción AUTOPRUEBA. . . . .   | 63 |
| A.7  | Ventana para la opción AYUDA. . . . .   | 64 |
| B.1  | Diagrama esquemático del sistema de adquisición. . . . .  | 66 |
| B.2  | Diagrama esquemático de las fuentes de voltaje de la boya. . . . .  | 67 |
| B.3  | Diseño del PCB del sistema de adquisición. . . . .  | 68 |
| B.4  | Diseño del PCB del circuito de las fuentes de voltaje. . . . .  | 69 |
| B.5  | Circuito ensamblado de la boya . . . . .  | 70 |
| B.6  | Conectores para los diferentes sensores. . . . .  | 71 |
| C.1  | Estructura de la boya. . . . .  | 73 |

# Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Principales comandos y acciones del sensor de rapidez y dirección de viento. . . . . | 10 |
| 3.2 Principales comandos y acciones del sensor de presión atmosférica. . .               | 18 |
| 4.1 Registro de configuración de TBM. . . . .  | 27 |
| 4.2 Selección del divisor para obtener la interrupción deseada. . . . .                  | 27 |
| 4.3 Registros internos del convertidor ADS7870. . . . .                                  | 33 |

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Introducción

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) es un centro de investigación y desarrollo tecnológico que pertenece a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). En dicho instituto existe un Laboratorio de Instrumentación Electrónica (LIE), que funciona como un departamento de apoyo en el área de electrónica. En un principio, este laboratorio surgió como una necesidad del grupo de oceanografía física de proporcionar mantenimiento de calidad al equipo electrónico oceanográfico usado en los proyectos de investigación. Posteriormente, la infraestructura tanto física como humana del LIE creció, lo cual permitió el desarrollo de instrumentos electrónicos oceanográficos de calidad, como: termógrafos, medidores de oleaje, medidores de parámetros meteorológicos, etc.

En ese contexto, surgió la idea de desarrollar una boya oceanográfica con características semejantes o mejores a las de los instrumentos que se encuentran en el mercado, con la finalidad de bajar costos, generar recursos propios, avanzar en la independencia tecnológica y promover la formación de recursos humanos de calidad.

### 1.2 Antecedentes

Actualmente, existen en el mercado una gran diversidad de equipos oceanográficos similares a la boya que se está realizando, pero sin duda alguna, la compañía que destaca es Aanderaa. Esta compañía cuenta con una boya oceanográfica que es un sistema compacto de adquisición de parámetros físicos. Algunas de sus principales características[1] son: ser modular, de bajo consumo de potencia, requiere mantenimiento mínimo y lectura de datos en tiempo real.

Entre los parámetros que mide el sistema Aanderaa están los siguientes: rapidez

y dirección de viento, temperatura ambiental, presión atmosférica, temperatura del agua, conductividad, oleaje, rapidez de la masa de agua y dirección de la masa de agua.

La operación de la boya es controlada por una unidad de cómputo que toma muestras cada 0.5 minutos como mínimo y cada 60 minutos como máximo. Estas muestras son transmitidas por VHF o UHF, además de tener la opción de estar almacenando las muestras en memoria RAM si así se desea.

### 1.3 Planteamiento del problema

En general, la adquisición de equipo oceanográfico es muy problemática, ya que no existen compañías nacionales que se ocupen de desarrollar instrumentación electrónica oceanográfica. Debido a esto, la compra de equipo oceanográfico implica un costo muy elevado, gran tiempo de adquisición, y riesgo de obtener equipo dañado debido al maltrato en la transportación. Además, cuando el instrumento sufre algún daño, su mantenimiento resulta tan problemático como su compra.

Es por esto que con el desarrollo de equipo oceanográfico se intenta aportar la solución a estos problemas, tratando asimismo de ser cada vez más independientes tecnológicamente.

La importancia de desarrollar un instrumento de este tipo, radica en la necesidad de un gran número de proyectos de investigación oceanográfica, de conocer las variables atmosféricas y marinas, para intentar comprender mejor la dinámica del océano y su interacción con la atmósfera.

### 1.4 Objetivos

Los objetivos generales de este trabajo son:

- Diseño y construcción de una boya oceanográfica.
- Desarrollo de la programación del instrumento.

Los objetivos particulares son:

- Realizar el acondicionamiento de los sensores de rapidez y dirección de viento, temperatura ambiental, presión atmosférica, temperatura del agua, amplitud del oleaje, rapidez y dirección de las corrientes, humedad relativa y brújula.
- Desarrollo del programa de control del instrumento en lenguaje ensamblador

- Desarrollo del programa de interfaz del instrumento en Visual Basic
- Desarrollo de subrutinas de adquisición para los sensores con salida digital

## 1.5 Limitaciones del trabajo

En el presente trabajo sólo se desarrolla la parte electrónica y no la estructura de la boya, es decir, no se llevan a cabo pruebas de campo.

## 1.6 Organización del trabajo

El presente trabajo está organizado de la siguiente forma: en el capítulo II se da una descripción general del instrumento; en el capítulo III se explica el principio de operación y acondicionamientos para cada sensor de la boya; el capítulo IV contiene la distribución y el procesamiento digital de las señales; en el capítulo V se describe el programa de control y de intercomunicación; en el capítulo VI se describen los resultados obtenidos. Finalmente en el capítulo VII se describen las conclusiones más importantes del trabajo.

## Capítulo 2

# Descripción general del instrumento

### 2.1 Introducción

La boya oceanográfica pretende ser un sistema de medición de variables oceanográficas cerca de la costa, tales como: dirección y rapidez de las corrientes marinas, temperatura superficial del agua, oleaje, presión atmosférica y temperatura ambiental, dirección y rapidez del viento y humedad relativa. Dicha información es transmitida mediante telemetría a una unidad receptora en la costa.

### 2.2 Descripción general

A continuación se enlistan los sensores que se usan para medir las variables deseadas:

- **Rapidez y dirección de viento**

Sensor Ultrasónico

Intervalo de medición 0 a  $60 \frac{m}{s}$

Exactitud  $\pm 0.1 \frac{m}{s}$

Intervalo de medición 0 a  $355^\circ$

Exactitud  $\pm 2^\circ$

- **Temperatura ambiental**

Sensor Termistor

Intervalo de medición  $-50$  a  $50^\circ\text{C}$

Exactitud  $\pm 0.1^\circ\text{C}$

- **Presión atmosférica**

Sensor Capacitivo  
Intervalo de medición 50 a 1300 hPa  
Exactitud  $\pm 0.10$  hPa

- **Temperatura del agua**

Sensor Termistor  
Intervalo de medición -10 a 43 °C  
Exactitud  $\pm 0.05$  °C

- **Amplitud del oleaje**

Sensor Acelerómetro  
Intervalo de medición 0 a 10 m  
Exactitud  $\pm 10$  % de escala completa

- **Humedad relativa**

Sensor Capacitivo  
Intervalo de medición 0 a 100%  
Exactitud  $\pm 3$ % de escala completa

- **Rapidez y dirección de corrientes marinas**

Sensor de efecto doppler  
Intervalo de medición 0 a 500  $\frac{cm}{s}$   
Exactitud  $\pm 2 \frac{cm}{s}$   
Exactitud en la dirección  $\pm 5^\circ$

Básicamente, la boya es un sistema de adquisición de datos de campo, cuya principal componente es un microcontrolador encargado de supervisar y ejecutar las principales tareas del instrumento, tales como: adquisición de datos de los diferentes sensores, respaldo de datos, transmisión de datos y sincronización del intervalo de muestreo a través de un reloj de tiempo real.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama a bloques del instrumento. Las componentes principales del diagrama son: los sensores, el acondicionamiento de señales, la conversión analógica-digital, el microcontrolador, las fuentes de alimentación y la telemetría.

Las variaciones de los parámetros meteorológicos y oceanográficos son detectadas por los distintos sensores de la boya, cuyas señales de salida son proporcionales a cada uno de los parámetros físicos. Algunas de estas señales son leídas directamente por el microcontrolador; otras señales pasan a una etapa de acondicionamiento para transformarse en señales aceptables en la entrada del convertidor analógico digital. Se cuenta también con un multicanalizador que acepta 8 entradas analógicas, las cuales quedan libres por si más adelante se desea incrementar el número de sensores.

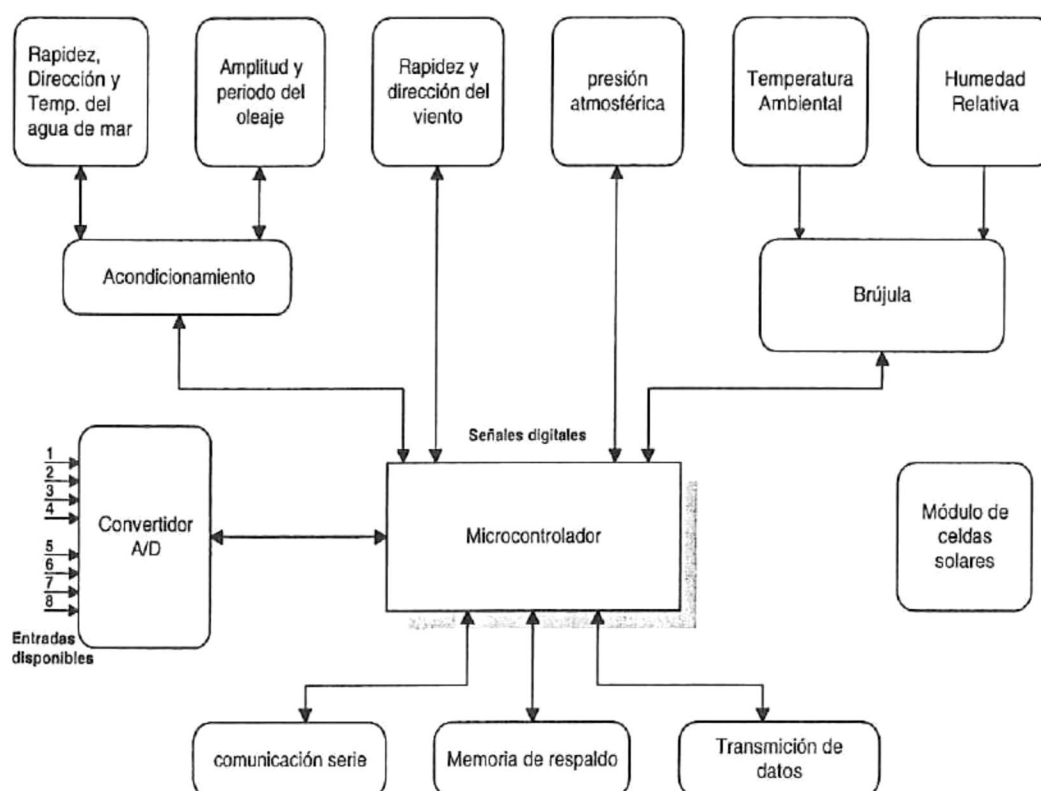


Figura 2.1: Diagrama a bloques del instrumento.

En caso de que la telemetría falle, el sistema cuenta con una memoria de estado sólido que respalda los datos por un periodo aproximado de 427 días a un intervalo de muestreo de 5 minutos. Por último, la boya contiene un módulo de celdas solares y un cargador de baterías para que funcione más tiempo sin necesidad de remplazar las baterías.

### 2.3 Principio de operación

La adquisición de datos de las variables, se lleva a cabo en intervalos de tiempo programados por el usuario, los cuales pueden ser desde tres minutos hasta 1 día. Cuando se cumple el intervalo de tiempo señalado por el usuario, el microcontrolador primero

---

aplica la señal de control a los reguladores de voltaje para alimentar la circuitería necesaria, con lo cual indica que una nueva ráfaga de mediciones iniciará. Después de esto, el microcontrolador comienza a leer todos los sensores: los que tienen salida digital son leídos directamente y los de salida analógica, utilizan un convertidor. Secuencialmente a la lectura de los sensores, la boya transmite (UHF/VHF) y respalda los datos en la memoria. Cuando las mediciones y actualizaciones de la fecha de inicio son hechas, la señal de control de los reguladores de voltaje se apaga y el microcontrolador se pone en estado de bajo consumo hasta que se cumple el siguiente intervalo de tiempo para iniciar un nuevo ciclo. En caso de que la transmisión de datos falle, los datos se siguen almacenando en la memoria RAM, y pueden ser accedidos a través del puerto serie de una computadora con la ayuda de un programa especialmente diseñado para ello.

### 2.4 Modos de operación

La boya tiene tres modos de operación: monitor, campo y comunicación.

#### 2.4.1 Modo monitor

Este modo es válido cuando el instrumento se encuentra conectado a una computadora personal, también cuando se encuentra instalada en el campo. Al encender el instrumento se verifica si se encuentra presente la interfaz de comunicación serie. Una vez que ésto ha sido verificado, se espera una instrucción proveniente del usuario para empezar a adquirir datos y almacenarlos en el disco, si así lo desea. Esto se realiza mediante el programa de intercomunicación. Si detecta que no se encuentra conectado a la computadora, hace lo mismo pero utiliza la telemetría para mandar los datos. Cuando el microcontrolador recibe la orden de adquirir datos, lee los valores entregados por cada uno de los sensores y los valores leídos se visualizan en el monitor de la computadora personal. Enseguida espera a que se cumpla el intervalo entre muestras que le indica tomar otra lectura.

#### 2.4.2 Modo campo

En este modo de operación, la boya se programa con la fecha de inicio, fecha de fin e intervalo entre muestras del experimento. Una vez que se programa el instrumento, éste reduce su consumo de energía y queda en espera de que el reloj de tiempo real genere el pulso mediante el cual indica que es hora de tomar lecturas. Cuando ésto sucede, cada uno de los sensores es leído, al mismo tiempo que se están transmitiendo los datos y respaldando en la memoria de lectura/escritura del sistema. Después de que se han realizado las lecturas, el sistema vuelve a su modo de bajo consumo hasta

que nuevamente es hora de tomar otra lectura o detecta la presencia de la interfaz de comunicación serie, en cuyo caso queda en espera de algún mando proveniente del usuario para ejecutarlo.

### 2.4.3 Modo de comunicación

Este modo de operación es válido todo el tiempo que se encuentra energizado el sistema: tanto cuando está conectado a la computadora (a través de la comunicación serie), como cuando está en el campo (telemetría). El modo de comunicación se utiliza para programar el instrumento y para recuperar los datos de memoria.

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo de los modos de operación.

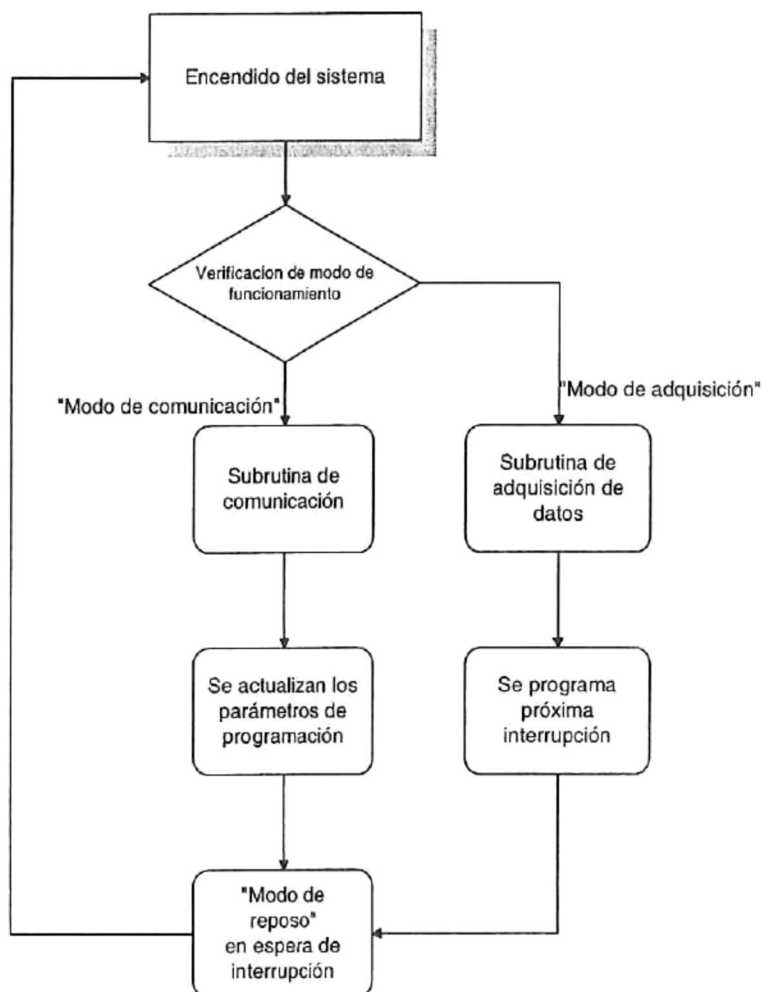


Figura 2.2: Diagrama del principio de operación de la boya.

## Capítulo 3

# Adquisición de variables

### 3.1 Introducción

En este capítulo se enuncian los principios bajo los cuales funcionan los diferentes sensores contenidos en la boya, así como el funcionamiento de los circuitos de acondicionamiento que adquieren las señales.

### 3.2 Rapidez y dirección del viento

El sensor que se utiliza para medir la rapidez y la dirección del viento, es el sensor modelo 425a[2] de Handar, utiliza el ultrasonido como principio de operación. El sensor se compone de tres transductores separados  $120^\circ$  uno del otro, como se muestra en la figura 3.1. Los transductores son dispositivos de estado sólido que no tienen partes móviles, son resistente a la contaminación, corrosión y están exentos de errores de momento, torque y aceleración de la masa. Así, este sensor reduce el mantenimiento requerido y provee una buena exactitud en sus mediciones, en todas las condiciones de viento y en todos los climas.

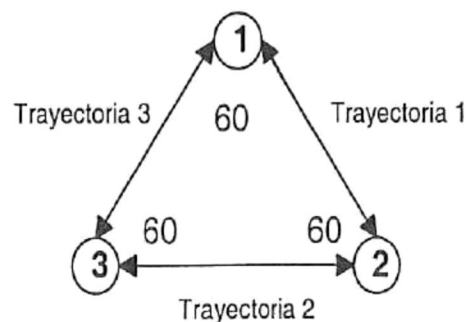


Figura 3.1: Distribución de los transductores en el sensor de viento.

El principio de medición se basa en el tiempo de tránsito, es decir, el tiempo que toma al ultrasonido viajar de un transductor a otro, dependiendo de la velocidad del viento a través de la trayectoria ultrasónica. El tiempo de tránsito es medido en las tres trayectorias que muestra la figura 3.1, y se hace en ambas direcciones, es decir, primero un transductor es receptor y luego es transmisor. Para velocidades de viento "cero", los tiempos de tránsito de ida y de vuelta son iguales. Utilizando estas dos mediciones de los tiempos de tránsito, el microcontrolador calcula la rapidez y dirección del viento. La rapidez del viento es independiente de la altitud, temperatura y humedad.

El sensor transmite una señal de 100Khz entre pares de transductores, y alcanza un intervalo de medición de 0 a 65  $\frac{m}{s}$ , con una exactitud de  $\pm 0.135 \frac{m}{s}$ . Para que funcione el sensor se tiene que alimentar con un voltaje de 10 a 15V. La salida es digital. La velocidad se puede ajustar a 9600 o 1200 bauds. Los comandos[2] para operar este sensor se presentan en la tabla 3.1.

| Comando                            | Acción del comando  |
|------------------------------------|---|
| "?!"                               | Muestra la dirección del sensor.<br>Al sensor "?!"<br>El sensor regresa 0 <CR><LF><br>Donde "0" es la dirección del sensor.   |
| "a!"<br>a = Dirección del sensor   | Manda un reconocimiento.<br>Al sensor "a!"<br>El sensor regresa Reconocimiento <CR><LF>   |
| "aM0!"<br>a = Dirección del sensor | Realiza una nueva medición.<br>Al sensor "aM0!"<br>El sensor regresa a ttt n<CR><LF><br>Donde:<br>a = Dirección del sensor<br>ttt = Tiempo necesario para realizar la medicion<br>n = Número de lecturas que tomó el sensor   |
| "aD!"<br>a = Dirección del sensor  | Regresa la medición hacia el instrumento.<br>Al sensor "aD!"<br>El sensor regresa 0+21.7+193-21.1-5.0<CR><LF><br>Donde:<br>0 = Dirección del sensor<br>+21.7 = Rapidez del viento<br>+193 = Dirección del viento<br>-21.1 = Componente en X<br>-5.0 = Componente en Y |

Tabla 3.1: Principales comandos y acciones del sensor de rapidez y dirección de viento.

### 3.2.1 Interfaz con el sensor de rapidez y dirección de viento

Toda la interfaz con este sensor se hace utilizando el protocolo SDI-12 (Serial-Digital-Interface)[3]. SDI-12 es un estándar para la interfaz entre sistemas de adquisición y sensores que cuentan con un microprocesador en su interior. Las principales características de SDI-12 son:

- Velocidad de comunicación de 1200 bauds
- Sólo se necesitan 3 líneas de interconexión con el sensor
- Bajo consumo de potencia
- Logitud de cable de hasta de 200 pies
- Se pueden controlar hasta 10 sensores diferentes

La interfaz eléctrica del protocolo SDI-12 utiliza un ducto, en el cual se conectan todos los sensores y el sistema de adquisición. Las tres terminales que utiliza este protocolo son las siguientes:

1. Tx/Rx
2. Tierra
3. Alimentación

En la figura 3.2 se muestran las interconexiones para conectar n sensores que utilizan este protocolo.

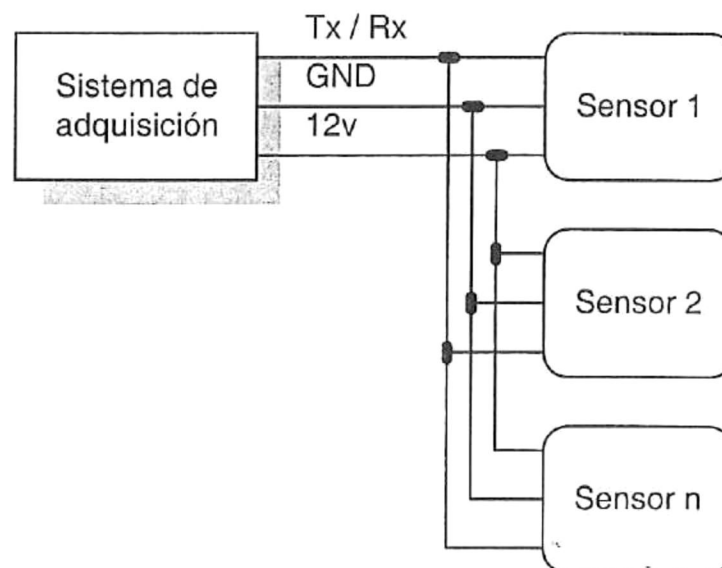


Figura 3.2: Interconexión de sensores en el ducto de SDI-12.

La figura 3.3 muestra el diagrama de tiempos[3] para un comando y respuesta en el protocolo SDI-12.



Figura 3.3: Diagrama de tiempos para el protocolo SDI-12.

Al inicio del diagrama de tiempos se tiene una espera en estado alto durante 12 mS. Después, una espera en estado bajo durante 8.33 mS. Esto se hace con el fin de activar al sensor, ya que el sensor después de cierto tiempo se pone en estado de bajo consumo. Una vez que está activado, el sensor se encuentra listo para recibir algún comando, (para ver alguno de los comandos que obedece el sensor consulte la tabla 1). Finalmente, se tiene que esperar un tiempo para que responda a dicho mando. En la figura 3.4, se muestra el diagrama de tiempos que ilustra cómo ordenar tomar una nueva medición ("aM0!").

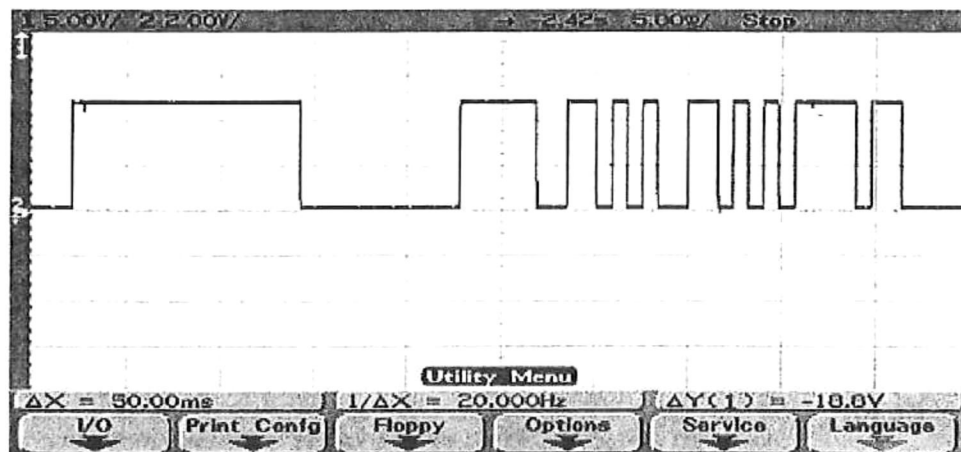


Figura 3.4: Comando para que tome una nueva medición el sensor de viento.

Primero, a través de la línea de TX / RX se temporiza para activar al sensor. Después, se le manda el comando 0M0! para que tome una muestra. Enseguida se tiene que esperar una respuesta del sensor indicando que la lectura fue tomada. Una vez que la lectura fue tomada se le manda el comando 0D! para que regrese la lectura que tomó.

La figura 3.5 muestra el diagrama de flujo que se sigue para obtener una lectura del sensor.

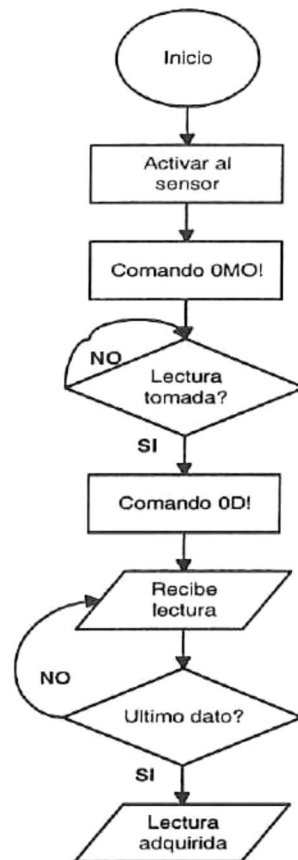


Figura 3.5: Diagrama de flujo para la adquisición de datos del sensor de viento.

La figura 3.6 muestra una foto del sensor de rapidez y dirección del viento, donde se observa cómo es físicamente.

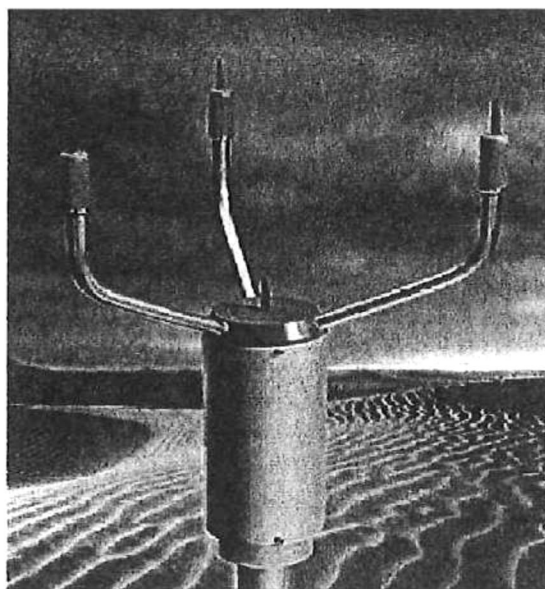


Figura 3.6: Sensor ultrasónico de rapidez y dirección del viento, modelo 425

### 3.3 Temperatura ambiental.

La temperatura del aire se mide en condiciones normalizadas a nivel mundial, con el fin de estandarizar registros. El muestreo correcto de temperatura se logra colocando debidamente el termómetro dentro de una cubierta protectora, cuya base fija la posición del bulbo termométrico a una altura aproximada de 1 a 1.5 metros sobre el nivel del suelo. La cubierta protege al termómetro de la radiación solar, la lluvia y los vientos fuertes. En la figura 3.7 se muestra como es físicamente el sensor de temperatura, y en la figura 3.8 se muestra como es físicamente el protector de radiación solar.

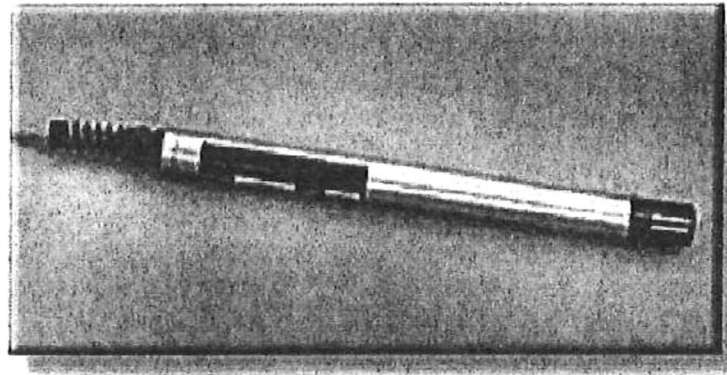


Figura 3.7: Sensor de temperatura.

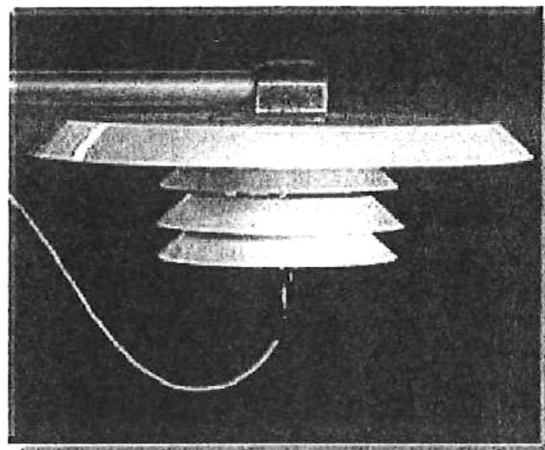


Figura 3.8: Protector de radiación solar del sensor de temperatura.

El sensor utilizado para la medición de la temperatura ambiental es un termistor modelo 083D de la compañía de MET ONE que tiene una resistencia de  $33.657K\Omega$  para una temperatura de  $0^{\circ}C$ . La gráfica de la respuesta del sensor[4] se muestra en la figura 3.9.

A la salida del sensor se obtiene una variación de resistencia proporcional a la temperatura. Esta variación no puede ser leída directamente por el convertidor A/D, por lo que dicha variación de resistencia se tiene que convertir a una variación en voltaje en el intervalo de entrada del convertidor.

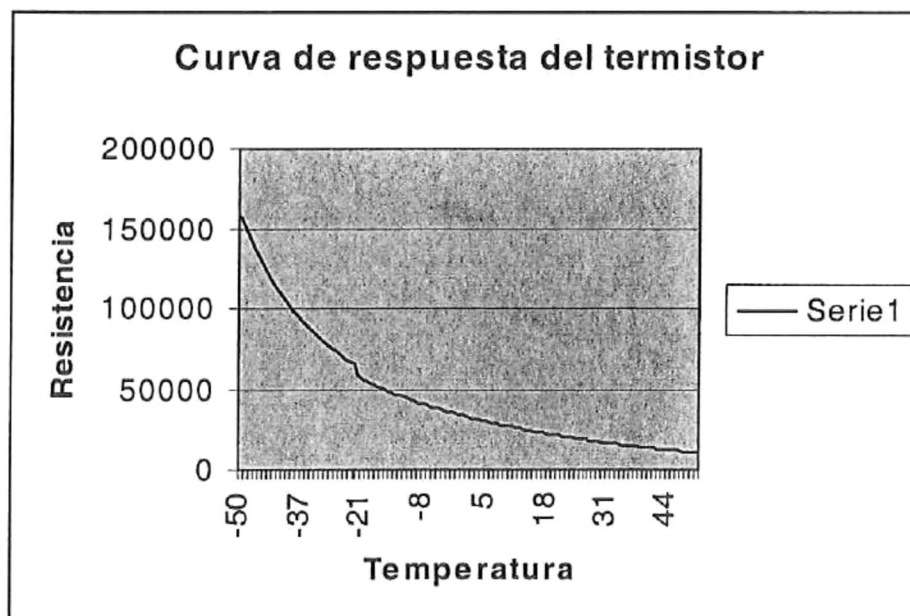


Figura 3.9: Curva de respuesta del sensor de temperatura.

La relación entre la temperatura y resistencia se determina mediante la siguiente función:

$$T(C^{\circ}) = (1.1279^{-5}R^2) + (2.3985^{-1}R) - 251.1326$$

Donde R es la resistencia del termistor.

El circuito de acondicionamiento consiste de un regulador de voltaje de 2.5 volts (MAX872), un circuito puente y un amplificador de instrumentación (MAX4134). Como las entradas del convertidor se fijaron para tener una entrada de voltaje de 0 a 1v, se calcularon los valores de resistencia para que el circuito de acondicionamiento entregue 0 volts para una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  y 1 volt para una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ . Una de las consideraciones que se tiene que tomar a la hora de elegir las resistencias del puente es la corriente que pasa por el termistor ya que debe ser la mínima posible para evitar autocalentamiento. El circuito que se eligió para efectuar el acondicionamiento, se muestra en la figura 3.10.

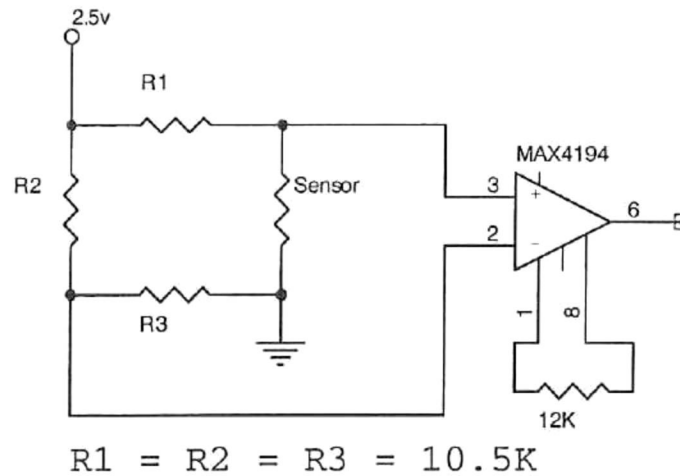


Figura 3.10: Acondicionamiento para el sensor de temperatura.

### 3.4 Humedad relativa

La humedad relativa es una medida del contenido de humedad del aire, y de esta forma es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia convectiva. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento. En las zonas tropicales continentales, en donde las variaciones diurnas de la temperatura son generalmente grandes, la humedad relativa cambia considerablemente en el curso del día. Para comparar diferentes estaciones, los datos de humedad relativa pueden emplearse únicamente si han sido observados a la misma hora y si las temperaturas no son muy diferentes.

El sensor modelo 083D[4] de HUMEDAD RELATIVA, está formado por una fina película de material plástico, recubierta en ambas caras por oro, constituyendo un capacitor. La constante dieléctrica de la película varía con la humedad relativa del ambiente. Las características del sensor no varían con el contacto del agua, pero la exposición o vapores de acetona debe ser evitada.

Por ser un sensor que a la salida nos entrega una variación de voltaje proporcional a la variación de humedad relativa (0 volts para 0% HR y 1 volt para 100 %HR), no se necesita un circuito de acondicionamiento para conectarse a la entrada del convertidor analógico digital, eliminando errores por cambio de etapas.

El sensor de humedad relativa se muestra en la figura 3.7. Los sensores de humedad relativa y de temperatura están contenidos en el mismo dispositivo.

### 3.5 Presión atmosférica

El transductor que se utiliza para medir la presión atmosférica es el modelo PTB210[5]. Utiliza el principio capacitivo, es decir, un cambio de presión provoca un cambio en su capacitancia. Este sensor incorpora una tecnología nueva llamada BAROCAP, que consiste en dos películas de silicio separadas por una película de cristal. Una de las películas de silicio es más delgada y funciona como una cámara de vacío para formar un diafragma de silicio sensible al cambio de presión. La película más gruesa es la parte rígida del sensor, que le sirve de base. Además, está recubierta con una delgada capa de cristal que funciona como dieléctrico. En la figura 3.11 se muestra cómo es físicamente el sensor de presión.

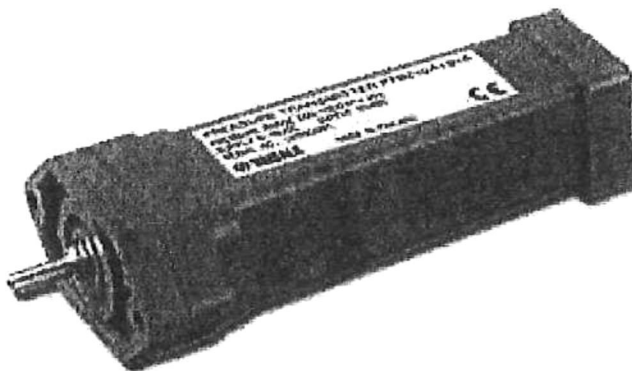


Figura 3.11: Sensor PTB210 de presión atmosférica.

La salida de los datos es en serie, en formato RS-232, a una velocidad que puede ser configurada de 1200 a 38400 bauds, paridad impar, 7 bits de datos, y un bit de parada. Los comandos de comunicación que el sensor recibe se muestran en la tabla 3.2.

El sensor de presión se configura una única vez para tener una velocidad de comunicación de 9600 baud, paridad impar, 7 bits de datos y un bit de parada. Posteriormente cada vez que se necesite una medición de presión se energiza al sensor, se le da un tiempo de estabilización (2s) y se le envía el comando `.P<CR>` para obtener una nueva lectura, teniendo en cuenta que la lectura del sensor son caracteres ASCII. El diagrama de flujo que se sigue para comunicarse con este sensor, es el que se muestra en la figura 3.12.

| Comando                                   | Acción del comando  |
|---|---|
| .BAUD.9600<CR>                            | Con este comando se puede cambiar la velocidad de intercomunicación entre el sensor y el sistema de adquisición |
| .E71<CR>                                  | Sirve para cambiar los parámetros de comunicación serie   |
| .ID.xxx<CR>                               | Regresa el número de identificación del sensor  |
| .MPM.xxxx<CR><br>Donde:<br>xxx = 6 a 4200 | Número de muestras por minuto   |
| .AVRG.xxx<CR><br>Donde:<br>xxx = 0 a 255  | Regresa el promedio de xxx muestras   |
| .BP<CR>                                   | Modo continuo   |
| .RESET<CR>                                | Inicializa al sensor  |
| .P<CR>                                    | Una única medición  |

Tabla 3.2: Principales comandos y acciones del sensor de presión atmosférica.

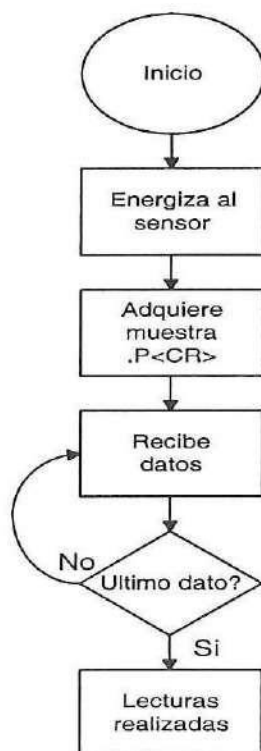


Figura 3.12: Diagrama de flujo para la lectura en el sensor de presión.

## 3.6 Corrientes marinas y temperatura del agua

### 3.6.1 Corrientes marinas

Un corrientímetro es un instrumento que mide la rapidez y la dirección con que se desplaza la masa de agua en las inmediaciones del mismo[6]. La manera en que el corrientímetro realiza esta medición depende de su principio de funcionamiento. En nuestro caso se utiliza un sensor tipo acústico Modelo 3900R[7] de la compañía de Aanderaa (Figura 3.13), el cual utiliza el efecto Doppler para hacer las mediciones de corrientes y dirección de la masa de agua.



Figura 3.13: Sensor acústico DSC 3500R.

El sensor transmite un pulso acústico en el agua. Como el sonido se propaga, pequeñas partículas o burbujas en el agua reflejan una porción de la energía. El transductor recoge la señal reflejada en una área de 0.4 a 2.2 metros y analiza cualquier frecuencia cambiante, (conocido como efecto Doppler). Un cambio hacia arriba significa que las partículas se están moviendo hacia el sensor y viceversa. Cabe aclarar que el área de medición del sensor está restringida, como se muestra en la figura 3.14.

La exactitud de la medición es proporcional a la raíz cuadrada del número de transmisiones en el intervalo de medición, pero a mayor ocurrencia de transmisión, mayor será la corriente que consumirá el sensor.

La salida del sensor es digital, con una resolución de 10 bits, para realizar una medición se tiene que seguir un diagrama de tiempos del protocolo SR10[8], el cual se explica enseguida.

Para utilizar el protocolo se usan dos líneas de control que son:

*Control voltage (CV)*: es la terminal que habilita al sensor a tomar lecturas.

*Bridge voltaje (BV)*: es la terminal donde se temporiza al sensor para interrogarlo.

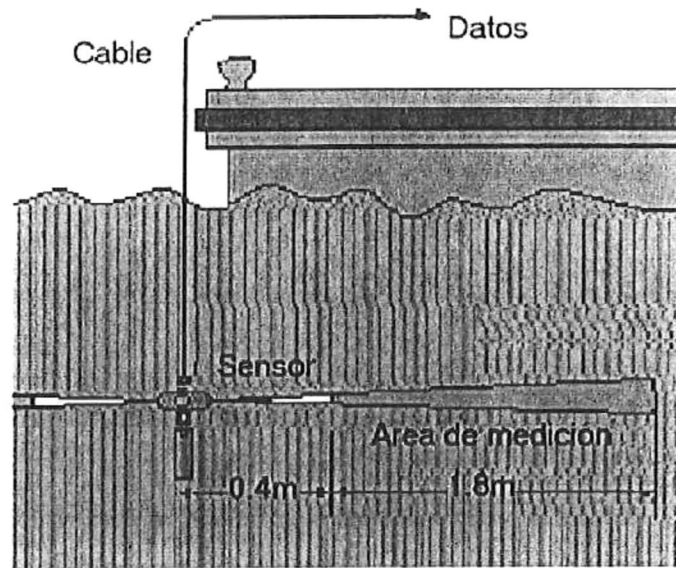


Figura 3.14: Área de medición del sensor de corrientes.

Además de las líneas de control, se tienen las terminales de salida que pueden ser una o varias, dependiendo del sensor.

Los voltajes que maneja este protocolo no son TTL, sino que son voltajes de 0 a -5 volts. Como el microcontrolador no puede leer voltajes negativos, se implementó un circuito de acondicionamiento para pasar los niveles de voltaje a positivos. El circuito de acondicionamiento consiste únicamente en un inversor con ganancia unitaria. En la figura 3.15 se muestra el diagrama de tiempos del protocolo SR10.

Inicialmente, las terminales CV y BV se encuentran en un nivel bajo. Para poder realizar una medición, la línea CV se tiene que poner en nivel alto durante toda la temporización. Una vez que CV está en nivel alto, la línea BV tiene que esperar 1.5s para poder iniciar la temporización, que son 10 pulsos de reloj. Cabe mencionar que los pulsos de la terminal BV no son simétricos. Para un nivel alto la duración es de 28 mS y para un nivel bajo es de 139 mS. Por cada transición de subida, el sensor entrega un bit iniciando con el más significativo. Para tener una lectura completa, se necesitan aproximadamente 4 segundos.

### 3.6.2 Temperatura del agua

Para medir la temperatura del agua, se utiliza un termistor que se encuentra en el interior del sensor de corrientes marinas. De tal modo, cuando se interroga al sensor se obtienen tres lecturas de 10 bits, que corresponden a la rapidez y dirección de las corrientes y la temperatura del agua.

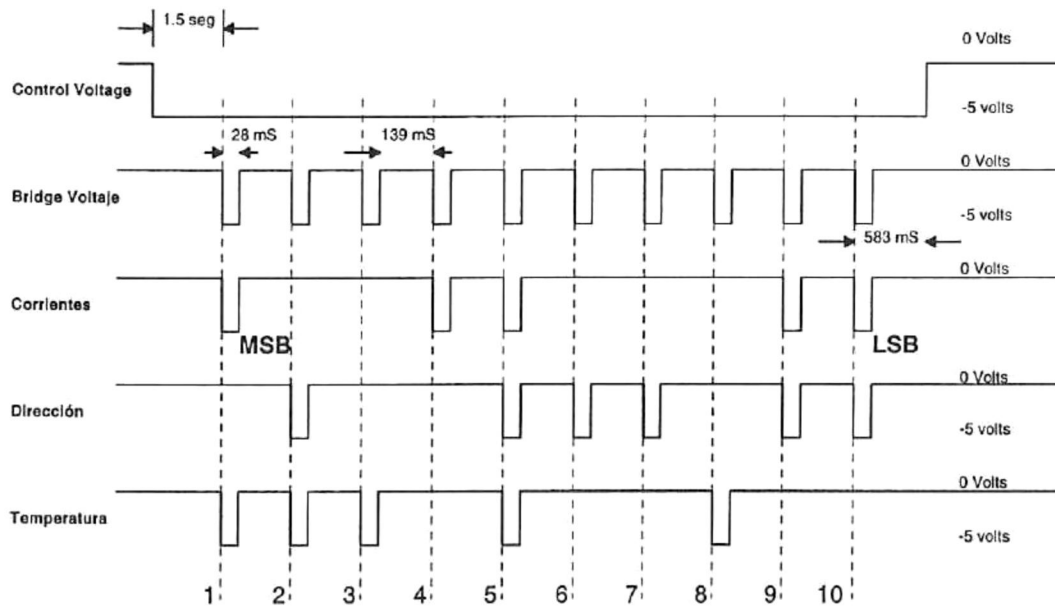


Figura 3.15: Diagrama de tiempos para la adquisición de corrientes, dirección y temperatura del agua.

### 3.7 Oleaje

El sensor que se utiliza para medir el oleaje es el modelo 3595[9] de la compañía Aanderaa. Es colocado en el interior de la boya que se mueve por influencia de las olas. Este movimiento es el que detecta el sensor. Internamente, el sensor tiene un acelerómetro que es montado sobre un péndulo para mantenerlo en posición vertical. El acelerómetro opera bajo el principio piezoeléctrico: un cristal genera un voltaje bajo, que varía de acuerdo con los movimientos del sensor. Los movimientos en dirección al sensor, lo presionan debido a la fuerza inercial y producen una señal proporcional a la aceleración de esa masa.

La aceleración es muestreada cuatro veces por segundo, después es integrada dos veces para dar la distancia vertical que recorrió el acelerómetro. La salida del sensor es la altura significativa ( $H1/3$ ), la cual es el promedio de las alturas del tercio más grandes de las olas registradas durante el período de medición.

Este sensor, al igual que el de corrientes marinas, tiene salida digital y utiliza el mismo protocolo SR10 para ser interrogado.

En la figura 3.16 se muestra físicamente el sensor de oleaje.



Figura 3.16: Foto del sensor de oleaje modelo 3595 de la compañía Aanderaa.

### 3.8 Brújula

Los datos de rapidez del viento y rapidez de las corrientes marinas tienen que tener una referencia en su dirección. Por tal motivo, es indispensable contar con una brújula. El sensor que se eligió es una brújula magnética modelo 32500[10] de la compañía YOUNG, la cual proporciona una referencia con respecto al norte geomagnético, para poder hacer las correcciones de los datos de viento y de corrientes una vez que se tengan los datos en la computadora.

La figura del sensor modelo 32500 se muestra en la figura 3.17.

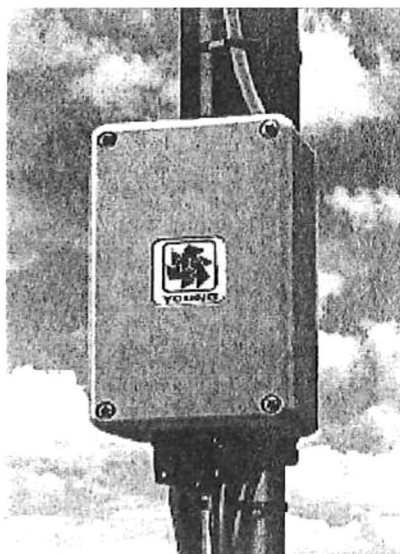


Figura 3.17: Sensor de orientación modelo 32500.

Como el microcontrolador únicamente tiene un puerto serie y ya está destinado para la comunicación con la computadora, se tuvo que implementar uno con dos terminales de un puerto. El diagrama de flujo que se sigue para hacer la interfaz entre el sensor y el sistema de adquisición, es el que se muestra en la figura 3.18.

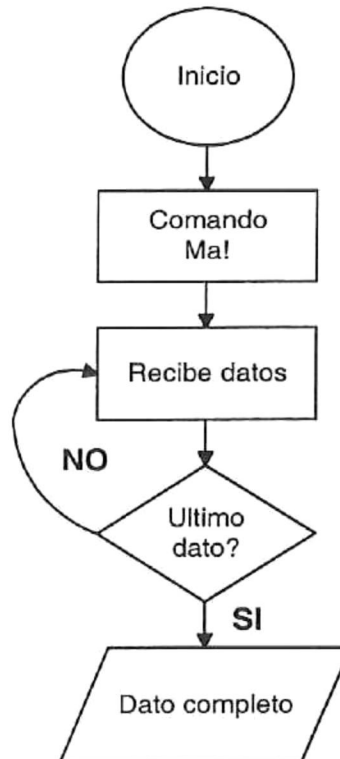


Figura 3.18: Diagrama de flujo para la interfaz entre el sensor y el sistema de adquisición.

Este sensor se encuentra en la parte superior de la estructura de la boya, donde se encuentran también los sensores climatológicos. El sistema de adquisición se encuentra en la parte inferior de la boya, sumergido en el agua, con una separación aproximada de 10 metros (ver apéndice C). Ya que la distancia es muy grande para algunos sensores, como el de temperatura y el de humedad relativa, se aprovecha que la brújula tiene cuatro entradas disponibles. En las entradas 1 y 2 se tiene un intervalo de medición de 0 a 1 volt. En una de ellas se conecta el acondicionamiento del sensor de temperatura, y en la otra entrada se conecta el sensor de humedad relativa, y así se pueden adquirir estas señales de manera serie.

## Capítulo 4

# Procesamiento y distribución de las señales.

### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se describen las principales características de los componentes digitales y la distribución de las señales.

### 4.2 El microcontrolador

El microcontrolador es el componente más importante del sistema de adquisición, ya que es el encargado de coordinar las principales tareas que realiza el instrumento. El microcontrolador que se eligió es MC68HC908GP32[11], cuyas características principales son:

- Frecuencia interna máxima de 8 Mhz
- Optimizado para compiladores en C
- Detección de caída de voltaje
- Dos modos de bajo consumo (STOP, WAIT)
- 32 KO de memoria FLASH
- 512 octetos de RAM
- Dos temporizadores de 16 bits
- Convertidor A/D de 8 entradas de 8 bits

- Módulo SPI (serial peripheral interface)
- Módulo de Base de Tiempo (MBT)
- 33 terminales de entrada/salida
- 8 interrupciones para un teclado
- Encapsulado tipo DIP ó QFP
- Puede operar con 5 ó 3V
- Encriptamiento del programa en la memoria FLASH

En la figura 4.1 se muestran los principales bloques que forman al microcontrolador. Las flechas indican el sentido que lleva la información en el ducto y las flechas externas representan entradas o salidas del microcontrolador.

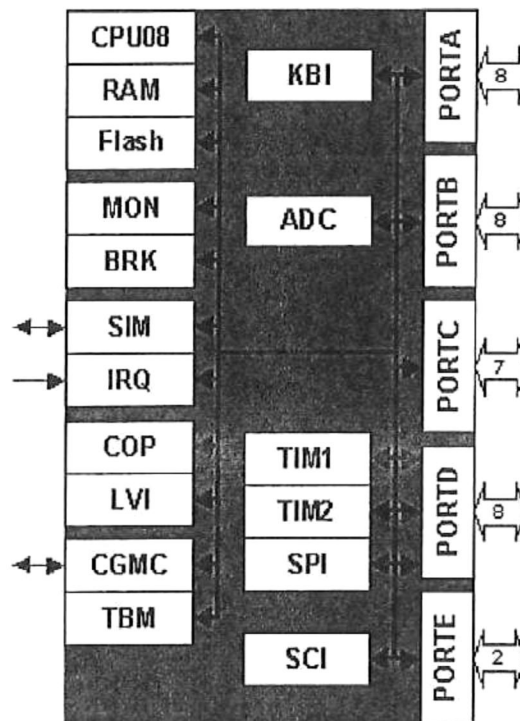


Figura 4.1: Diagrama a bloques del microcontrolador.

#### 4.2.1 Modos de bajo consumo

Con el fin de ahorrar energía, el microcontrolador cuenta con dos modos de bajo consumo que son:

1. Modo WAIT

Con una simple instrucción, el microcontrolador entra al modo WAIT, en el que es deshabilitada la señal de reloj al CPU, aunque en el ducto sigue presente. De este modo, el microcontrolador puede salir de este estado en caso de que alguno de los siguientes eventos se presente:

- Inicialización externa
- Caída de voltaje

Cualquiera de estos eventos hacen que se tenga que ejecutar el programa desde el inicio.

Otros eventos que pueden sacar al microcontrolador de este estado y ejecutar alguna rutina en especial son:

- Interrupción externa
- Interrupción del timer, comunicación serie, teclado, módulo de base de tiempo, etc.

## 2 Modo STOP

Cuando entra a este modo, el consumo se reduce aún más que en el modo WAIT. Aquí, la señal de reloj se detiene por completo.

Sólo es posible salir de este modo y continuar ejecutando el programa que está en memoria, si alguna de las siguientes interrupciones se presenta:

- Interrupción de teclado
- Interrupción del modulo de base de tiempo
- Interrupción externa

## 4.3 Reloj de tiempo real

El Reloj de Tiempo Real (RTR) nos ayuda a sincronizar y a referir las muestras tomadas con respecto a un tiempo y una fecha real.

En el mercado existen diferentes tipos de RTR, pero en nuestro caso aprovechamos un módulo que viene integrado en el microcontrolador; el Módulo de Base de Tiempo (MBT). Las características[11] de dicha base de tiempo son:

- Interrupción periódica seleccionada por el usuario
- Independencia total de los temporizadores

- Dependencia de un cristal externo
- Tiene la opción de seleccionar si el oscilador del reloj se habilita o deshabilita para ser despertado periódicamente del modo STOP

Para obtener una interrupción cada segundo, que es el mínimo cambio que registra el RTR, se conectó un oscilador de frecuencia de 32.768 Khz, la cual se divide para generar las interrupciones periódica deseadas. Dicha división se configura en el registro de control como se muestra a continuación.

### TBCR

|        | Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Esc.   | TBIF  | TBR2  | TBR1  | TBR0  | 0     | TBIE  | TBON  | TBTST |
| Lec.   |       |       |       |       | TACK  |       |       |       |
| Inicio | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Tabla 4.1: Registro de configuración de TBM.

Los bits que seleccionan el divisor son TBR0, TBR1, TBR2, de acuerdo a la siguiente tabla.

| TBR2 | TBR1 | TBR0 | Divisor | Interrupción<br>Hz | ms   |
|------|------|------|---------|--------------------|------|
| 0    | 0    | 0    | 32768   | 1                  | 1000 |
| 0    | 0    | 1    | 8192    | 4                  | 250  |
| 0    | 1    | 0    | 2048    | 16                 | 62.5 |
| 0    | 1    | 1    | 128     | 256                | 3.9  |
| 1    | 0    | 0    | 64      | 512                | 2    |
| 1    | 0    | 1    | 32      | 1024               | 1    |
| 1    | 1    | 0    | 16      | 2048               | 0.5  |
| 1    | 1    | 1    | 8       | 4096               | 0.24 |

Tabla 4.2: Selección del divisor para obtener la interrupción deseada.

En nuestro caso los valores que genera una interrupción de un segundo son: TBR0 = 0, TBR1 = 0, TBR2 = 0. Cabe mencionar que para que este módulo funcione se tiene que habilitar la interrupción TBIE y poner el TBON = 1.

Para implementar el RTR se definieron seis localidades de memoria como contadores de segundos, minutos, horas, días, meses, años. Una vez que se tiene la interrupción de un segundo se incrementan los contadores haciendo comparaciones para ir obteniendo minutos, horas, días, meses, y años. De esta forma, se genera el reloj en tiempo real, sin necesidad de incluir otro componente.

Inicialmente el instrumento se encuentra en modo STOP. Para que el sistema inicie la adquisición de un nuevo conjunto de mediciones, el microcontrolador se despierta al

salir del modo STOP mediante una interrupción generada por el MBT. Posteriormente se compara la fecha actual con la fecha del próximo muestreo, y si son iguales procede a adquirir las muestras de los diferentes sensores. Lo anterior se ejemplifica en el siguiente diagrama de flujo.

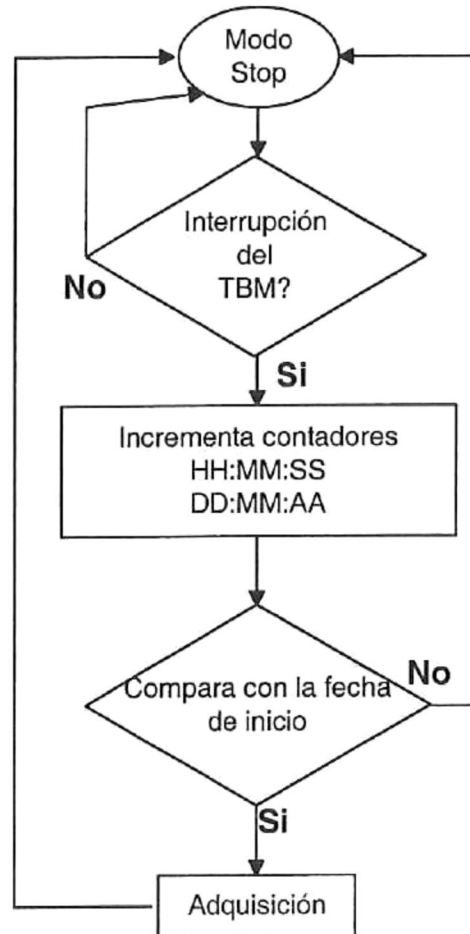


Figura 4.2: Diagrama de flujo del funcionamiento del RTR.

#### 4.4 Memoria de respaldo

La boya cuenta con una memoria de estado sólido, donde se almacenan los datos de los diferentes sensores. La función de esta memoria es respaldar la información en caso de que falle la telemetría.

La memoria que se está utilizando es la AT45DB321B[12] de la compañía de ATMEL. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Memoria tipo FLASH
- Alimentación entre 2.7V y 3.6V

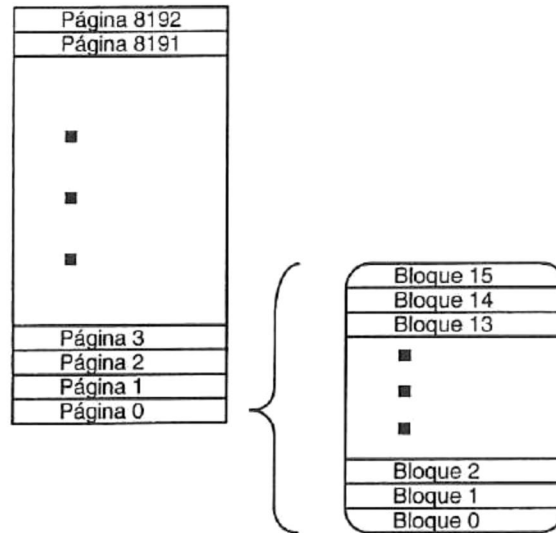


Figura 4.4: División de páginas y bloques en la memoria.

El microcontrolador también tiene un buffer interno de 33 octetos. Cuando está lleno, se pasa a uno de los bloques del buffer interno de la memoria, y si éste también está lleno, se transfiere el buffer completo a una de las páginas de la memoria. Lo anterior se muestra en la figura 4.5.

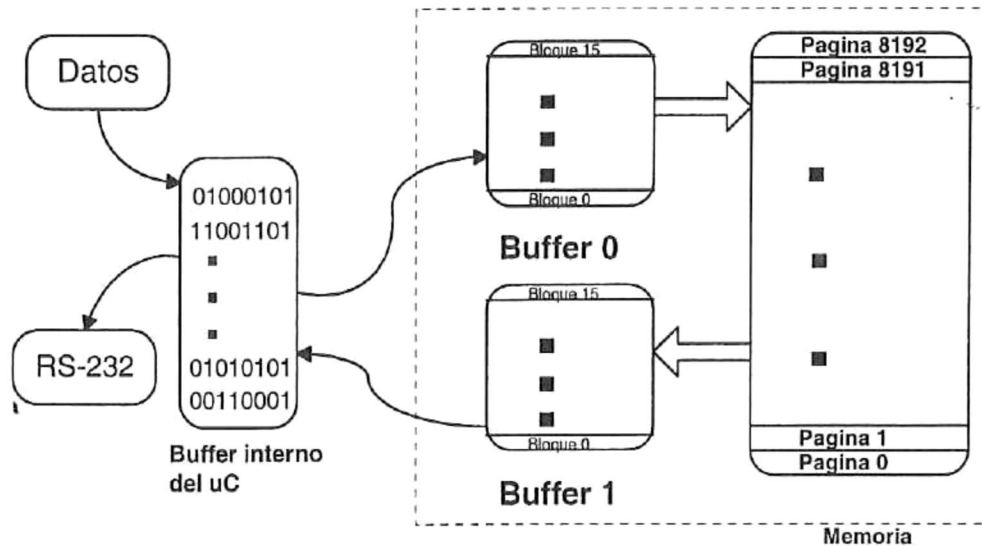


Figura 4.5: Buffer interno del microcontrolador y los buffers de la memoria.

Para transferir información del buffer interno del micro hacia la memoria, se utiliza el buffer 0, y para una transferencia de la memoria hacia el micro se usa el buffer 1.

Para escribir al buffer interno de la memoria se baja la línea de CS, Después se manda el comando (CMD) 84H por la línea SI (Serial Input), el cual indica una

escritura en el buffer 0. Este comando es seguido por 14 bits de no importa (X) y 10 bits (BFA9 - BFA0) que indican la dirección donde se van a grabar los datos. Finalmente, se envían los datos que se desean respaldar ( $n$ ). Dicho proceso se muestra en el siguiente diagrama de tiempos.

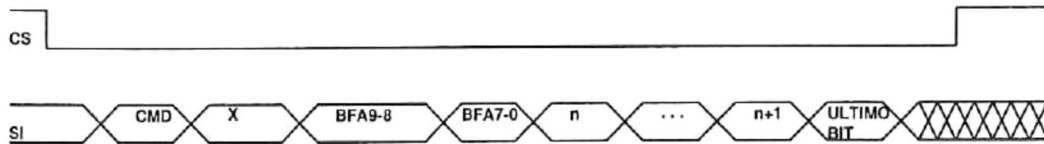


Figura 4.6: Diagrama de tiempo para la escritura en el buffer interno de la memoria.

Para leer los datos de la memoria al microcontrolador, primero se baja la línea de CS y después se manda el comando 56H por la línea SI, el cual indica una lectura del buffer 1. Este comando es seguido por 14 bits de no importa, 10 bits que indican la dirección donde se iniciará la lectura de datos y 8 bits de no importa. Finalmente, se leen los datos que se respaldaron. Dicho proceso se muestra en el siguiente diagrama de tiempos.

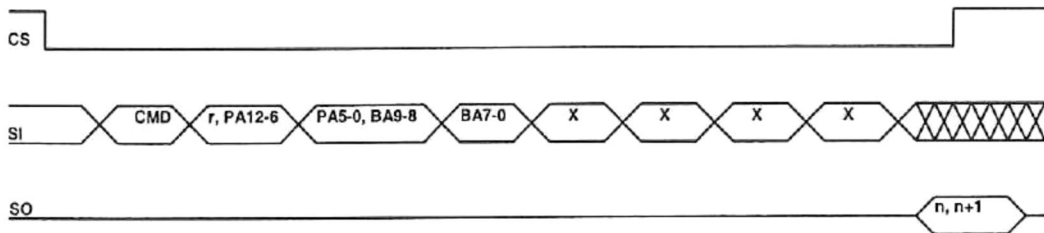


Figura 4.7: Diagrama de tiempos para la escritura al buffer de la memoria.

## 4.5 Convertidor analógico a digital (CAD)

El dispositivo empleado para realizar la conversión de las señales provenientes de los circuitos acondicionadores de señal de los diferentes sensores, es el ADC7870[13], que es un sistema completo de adquisición de datos en un solo integrado. Está diseñado especialmente para aplicarse en mediciones de señales muy pequeñas en las que se requiera eliminar niveles muy bajos de ruido que puedan interferir con la señal. Tal dispositivo emplea una técnica de conversión de aproximaciones sucesivas cuyas características principales son las siguientes:

- 12 bits de resolución
- Ganancia programable: 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20 V/V
- 4 entradas diferenciales u 8 sencillas

- Referencia interna: 2.048V, 2.5V, 1.15V
- Interfase serie
- 52 mil muestras/s
- Bajo consumo de corriente (1uA)
- Indicador de errores de sobrecarga
- Encapsulado SSOP de 28 pines

El diagrama interno del convertidor se muestra en la figura 4.8.

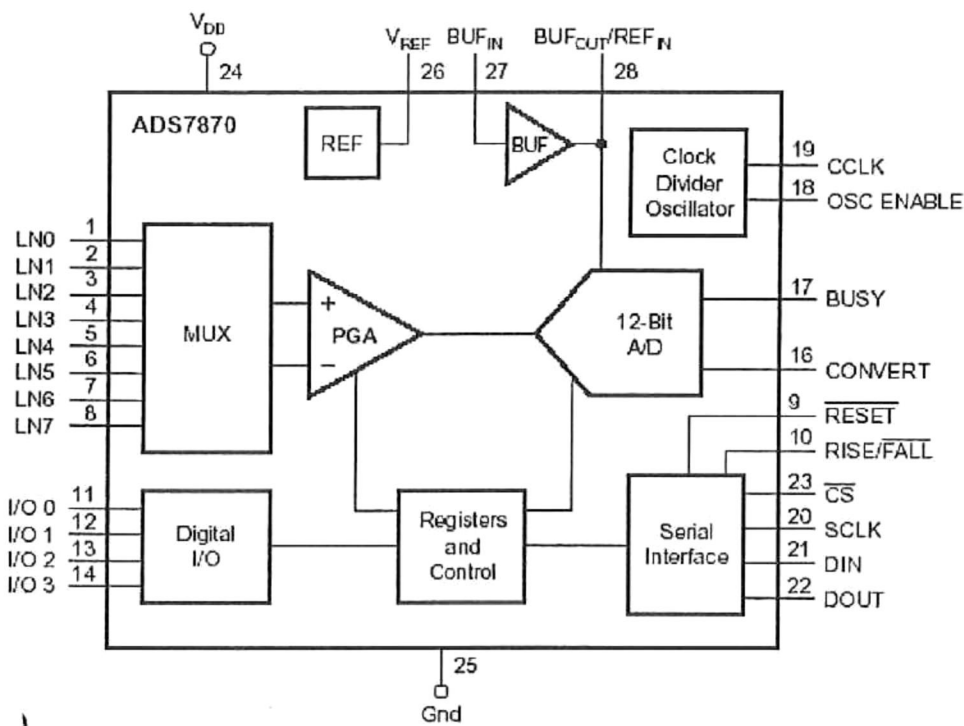


Figura 4.8: Diagrama interno del convertidor ADS7870.

Para realizar la comunicación entre el microcontrolador y el convertidor se usan las terminales: CS, DOUT, DIN, SCLK, que nos ayudan a configurar los registros internos del convertidor, lo cual nos permite cambiar el valor de la referencia, la frecuencia de muestreo, seleccionar el modo de la entrada (sencilla o diferencial), leer el valor de la conversión de un canal en específico, etc. En la tabla 4.3, se muestran los registros internos del convertidor.

| Dirección |     |     |     |     | L/E | Registro |       |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-------|------|------|------|------|------|------|
| AS4       | AS3 | AS2 | AS1 | AS0 |     | D7       | D6    | D5   | D4   | D3   | D2   | D1   | D0   |
| 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | L   | ADC3     | ADC2  | ADC1 | ADC0 | 0    | 0    | 0    | OVR  |
| 0         | 0   | 0   | 0   | 1   | L   | ADC11    | ADC10 | ADC9 | ADC8 | ADC7 | ADC6 | ADC5 | ADC4 |
| 0         | 0   | 0   | 1   | 0   | L   | 0        | 0     | VLD5 | VLD4 | VLD3 | VLD2 | VLD1 | VLD0 |
| 0         | 0   | 0   | 1   | 1   | L/E | 0        | 0     | 0    | 0    | RBM1 | RBM0 | CFD1 | CFD0 |
| 0         | 0   | 1   | 0   | 0   | L/E | C / B    | G2    | G1   | G0   | M3   | M2   | M1   | M0   |
| 0         | 0   | 1   | 0   | 1   | L/E | C / B    | 0     | 0    | 0    | IO3  | IO2  | IO1  | IO0  |
| 0         | 0   | 1   | 1   | 0   | L/E | 0        | 0     | 0    | 0    | OE3  | OE2  | OE1  | OE0  |
| 0         | 0   | 1   | 1   | 1   | L/E | 0        | 0     | OSCR | OSCE | REFE | BUFE | R2V  | RGB  |
| 1         | 1   | 0   | 0   | 0   | L/E | LSB      | 2W/3  | 8051 | 0    | 0    | 8051 | 2W/3 | LSB  |
| 1         | 1   | 1   | 1   | 1   | L   | 0        | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    |

Tabla 4.3: Registros internos del convertidor ADS7870.

Para escribir en los registros del CAD primero se baja el CS, después se envían 8 bits que contienen la dirección del registro que se va a modificar, finalmente se manda el dato de configuración. Cada bit se envía en forma secuencial en los flancos de subida del reloj a través de la línea DIN. Este procedimiento se muestra en la figura 4.9.

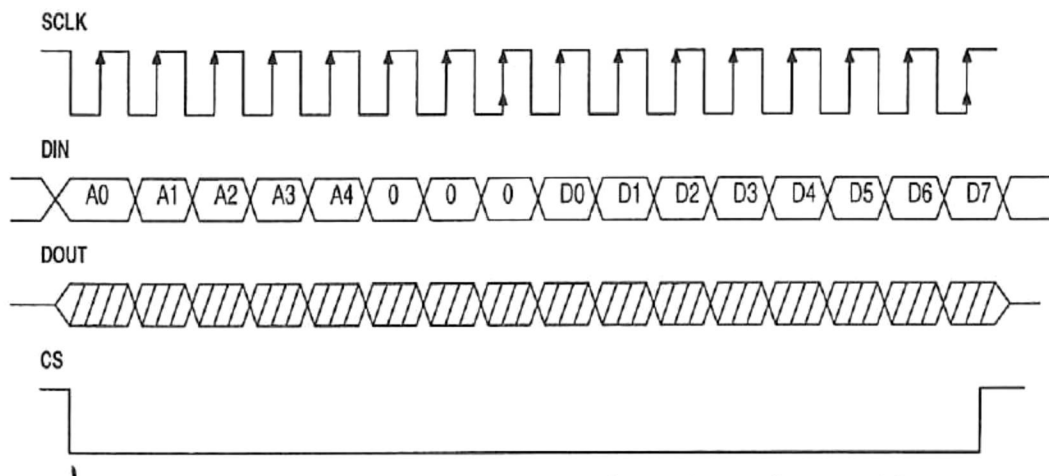


Figura 4.9: Diagrama de tiempos para la escritura al convertidor.

Para leer los registros del CAD, primero se baja el CS, después se envían 8 bits que contienen la dirección del registro que se va a leer y finalmente se obtiene la lectura del registro. Cada bit se envía en forma secuencial en los flancos de subida del reloj a través de la línea DIN. De la misma forma, para recibir la lectura del registro, se hace en forma secuencial en flancos de subida a través de la terminal DOUT. Este procedimiento se muestra en la figura 4.10.

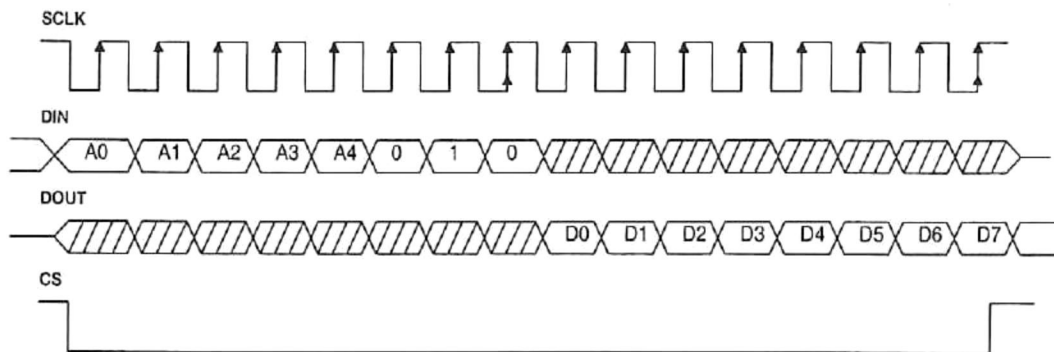


Figura 4.10: Diagrama de tiempos para leer al convertidor.

## 4.6 Fuentes de alimentación

La fuente de energía se compone de un paquete de baterías recargables comerciales de NiCd, un sistema de celdas solares y un conjunto de circuitos reguladores que a partir de los 15 volts del paquete de baterías generan los voltajes necesarios para el funcionamiento adecuado del instrumento (ver apéndice B figura B.2). La circuitería digital se alimenta con +5v, con excepción de la memoria que requiere +3v. Para la alimentación de los sensores se necesitan voltajes de +12v y -9v. Para la comunicación serie se utiliza una fuente de -5v.

## Capítulo 5

# Programación

La programación del sistema consiste en un programa de control escrito en lenguaje ensamblador almacenado en la memoria del microcontrolador, y un programa de comunicación entre el usuario y el sistema a través de una computadora personal, escrito en lenguaje Visual Basic sobre la plataforma WINDOWS. A continuación se describen las subrutinas principales de dichos programas.

### 5.1 Programa de control

El programa de control se ejecuta siempre que el sistema es energizado. Para que esto ocurra, existen dos posibilidades: la primera sucede cuando el sistema se conecta a la computadora a través del puerto serie, y la segunda ocurre cuando el sistema detecta una interrupción proveniente del RTR que indica que es tiempo de tomar una nueva ráfaga de lecturas.

En el primer caso se ejecuta el programa de control y se detiene en un lazo de espera hasta que le sea enviado algún carácter válido. En el otro caso, se ejecuta la rutina de adquisición y al terminar regresa a su estado de reposo. Esto se ilustra en la figura 5.1.

#### 5.1.1 Rutina de intercomunicación

Una vez que la boya es conectada a una computadora personal, se da por hecho que no se encuentra en el campo, y por lo tanto no le interesan ni adquisición ni almacenamiento de datos, por lo que el programa entra en un lazo de espera, verificación y ejecución de los mandos de intercomunicación, como se ve en la figura 5.2.

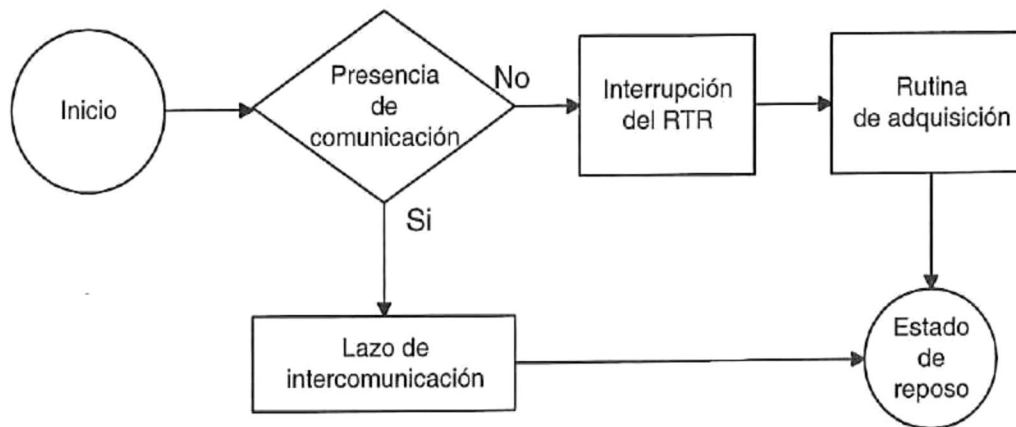


Figura 5.1: Inicio del programa de la boya.

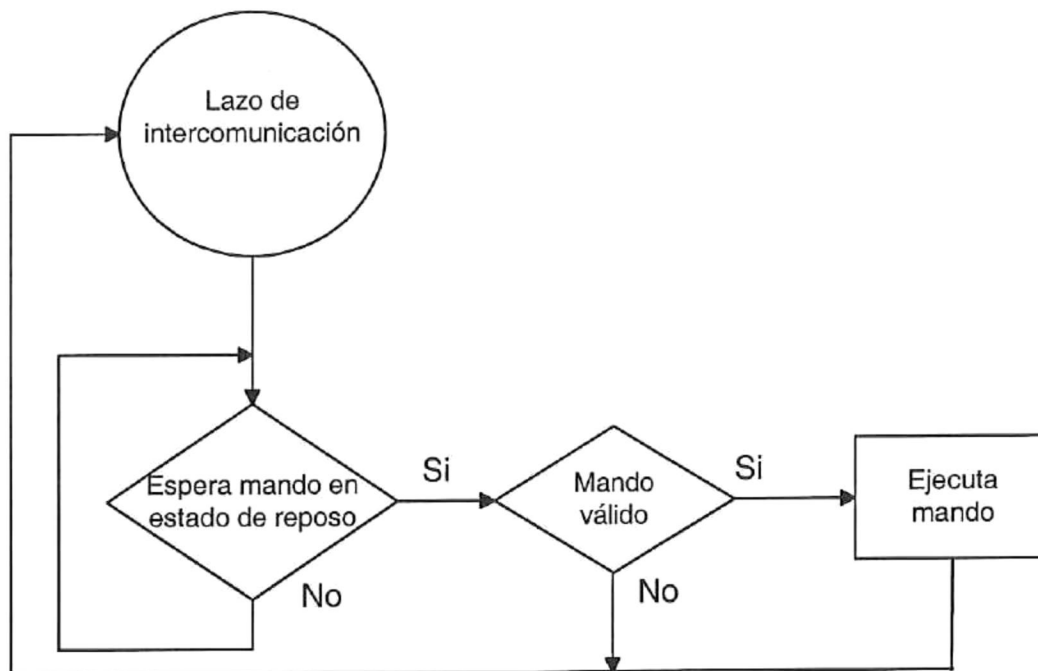


Figura 5.2: Diagrama de flujo de la rutina de intercomunicación

### 5.1.2 Mandos de la boya

Estos mandos se refieren a las principales rutinas de programación que utilizan para programar un experimento en el microcontrolador y recuperar los datos de la memoria de estado sólido.

*Mando "A" < Actualización de la fecha y hora del reloj de tiempo real >*

Este mando tiene como objetivo el actualizar el reloj de tiempo real con la fecha y hora actuales. Para actualizar el RTR se recibe el caracter "A" precedido de 5 octetos de datos que contienen: año (0-99), mes (1-12), día (1-31), hora (0-23) y minuto (0-59),

para terminar se inicializa el contador de segundos a cero. En la figura 5.3 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

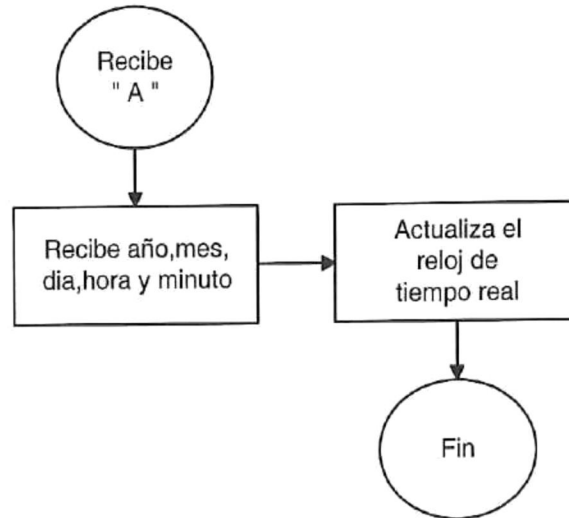


Figura 5.3: Diagrama de flujo del mando "A".

*Mando "L" <Transmite fecha y hora del reloj de tiempo real>*

Este mando sirve para leer la fecha y hora contenidas en el RTR. Una vez recibido el caracter "L", se transmite la información conteniendo fecha y hora. En la figura siguiente se muestra el diagrama de flujo de este mando. En la figura 5.4 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

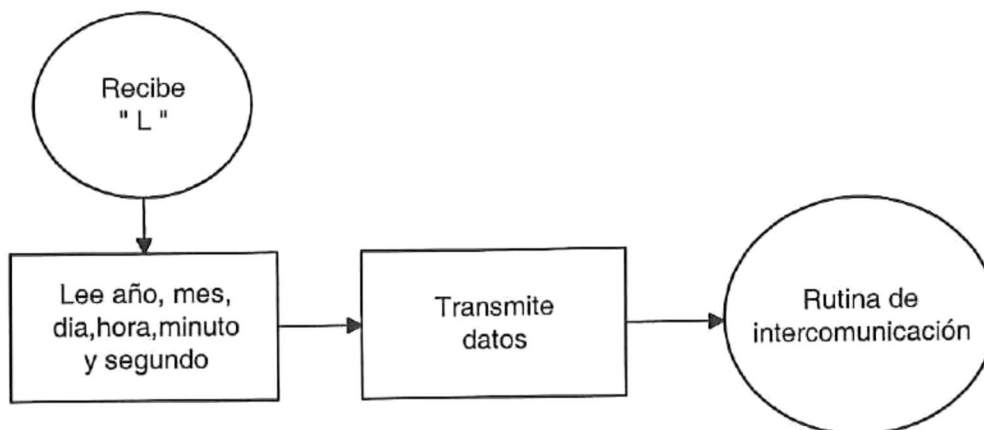


Figura 5.4: Diagrama de flujo del mando "L".

*Mando "P" <Programa un nuevo experimento>*

Este mando sirve para actualizar la fecha de inicio, fecha de fin y el intervalo de muestreo del RTR. Para realizar dicha actualización se recibe el caracter "P" seguido de 12 octetos de datos. Los 5 primeros contienen la fecha de inicio (año, mes, día,

hora, minuto), los siguientes 5 contienen la fecha de fin del experimento (año, mes, día, hora, minuto), y los últimos 2 contienen el intervalo de muestreo (hora y minuto). A continuación se muestra el diagrama de flujo de este mando. En la figura 5.5 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

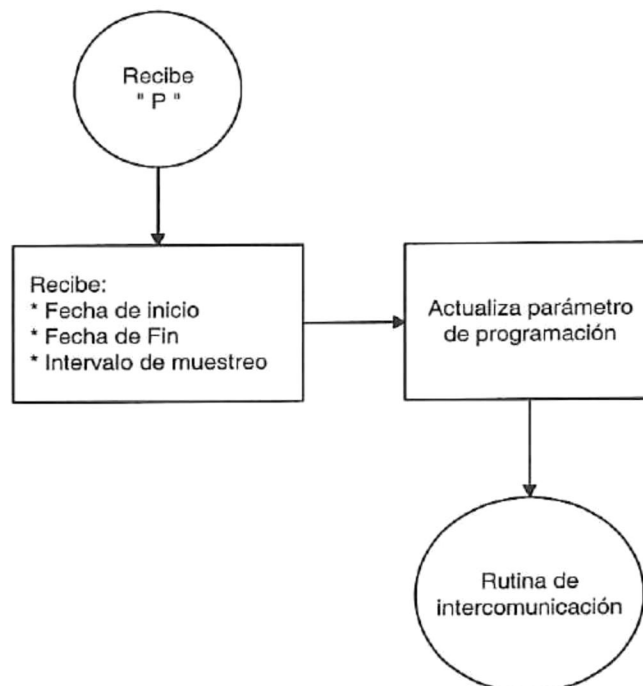


Figura 5.5: Diagrama de flujo del mando "P".

#### *Mando E < Descarga lecturas >*

La finalidad de este mando es recuperar el total de lecturas realizadas hasta el momento. Para recuperar los datos se recibe el carácter "E" que le indica al microcontrolador el inicio de transmisión del número total de lecturas y los datos en bloques de 32 octetos. Después de cada bloque, se espera un reconocimiento que manda la computadora para asegurar que el bloque llegó de manera correcta. En caso que el bloque no llegue de forma correcta, se puede repetir hasta 5 veces; después de la quinta vez, marca error de comunicación. En la figura 5.6 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

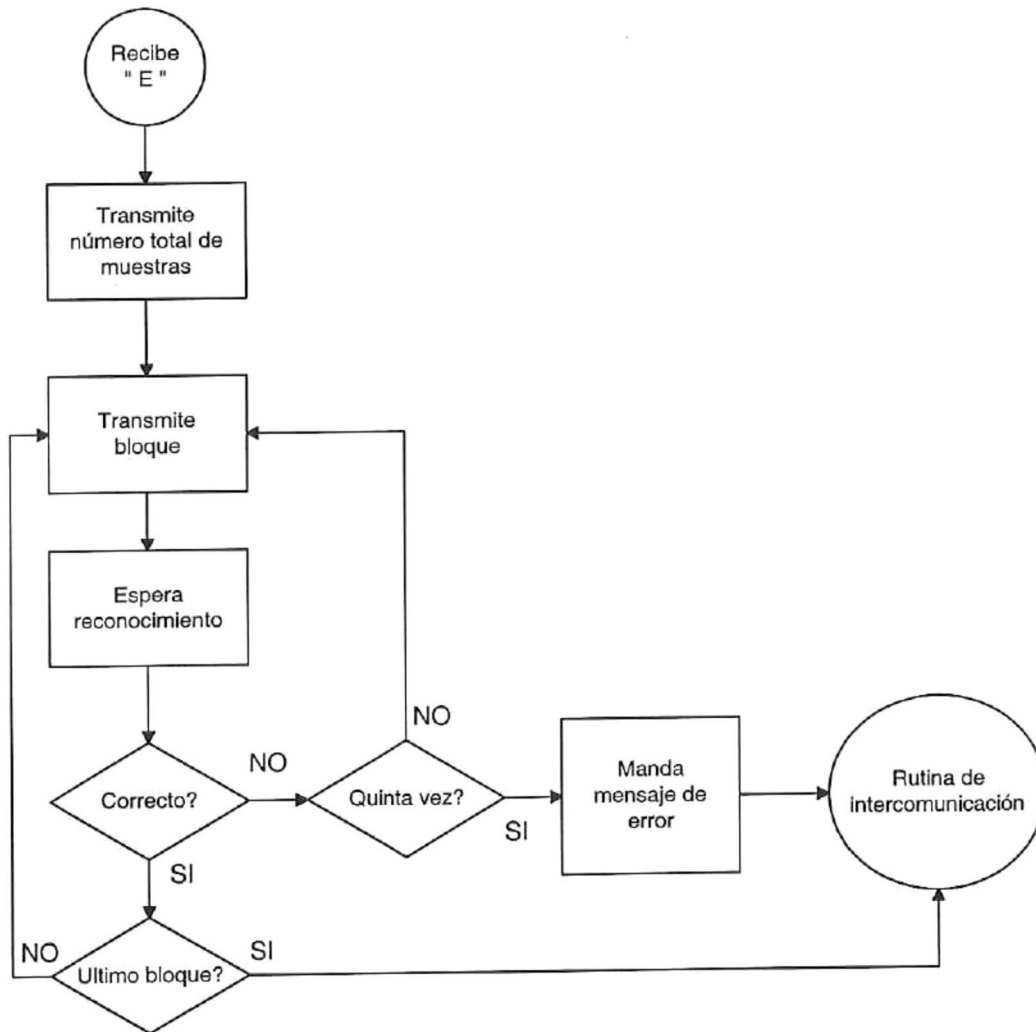


Figura 5.6: Diagrama de flujo del mando "E".

## 5.2 Programa de intercomunicación

El programa de intercomunicación sirve para realizar la comunicación con la boya a través del puerto serie de una computadora personal, lo cual permite programar un experimento y extraer los datos almacenados en memoria.

Al iniciar la intercomunicación, el programa solicita al usuario únicamente abrir el puerto serie, ya que los parámetros de configuración se establecen por omisión. Después de esto, se presenta el menú principal desde donde pueden ejecutarse los mandos que a continuación se explican.

### *Mando "Autoprueba"*

El objetivo de este mando es verificar el correcto funcionamiento del instrumento ya que permite revisar la memoria y cada uno de los sensores que se encuentran

conectados al mismo. Para revisar la memoria, se escriben y se leen dos bloques de datos. Si los datos son iguales, significa que la memoria está trabajando de manera correcta, en caso contrario, se manda un mensaje de error de memoria.

Para revisar los sensores, el sistema se configura para tomar una sola muestra de cada uno de ellos, y si los valores adquiridos están dentro de un intervalo esperado por el usuario entonces los sensores están funcionando de forma adecuada. Para revisar el sistema durante un determinado tiempo, el instrumento se configura para adquirir muestras de manera continua almacenándolas en disco hasta que el usuario determina que el período de prueba es suficiente. En la figura 5.7 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

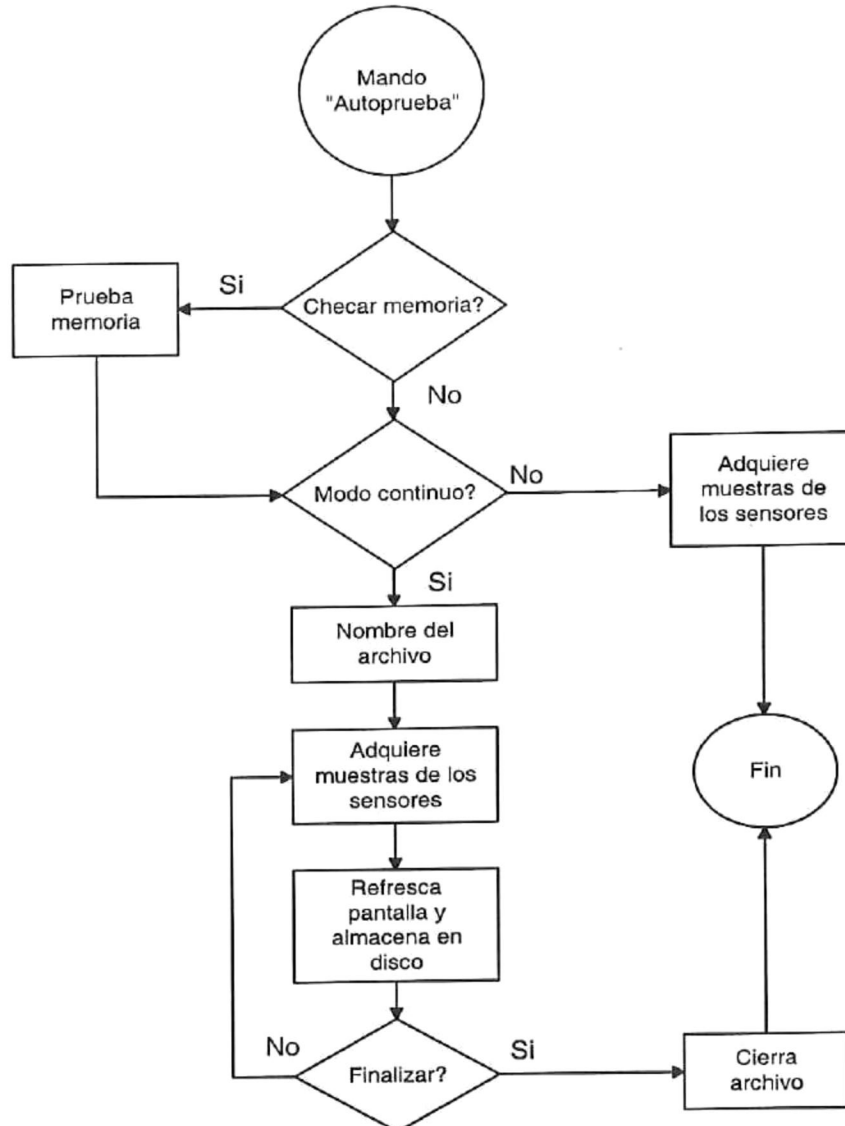


Figura 5.7: Diagrama de flujo para el mando autopruueba.

*Mando "Fechas"*

En este mando se despliega una ventana que contiene la fecha actual del RTR, la fecha de inicio y la fecha de fin del experimento (apéndice A, figura A.3). Estas fechas son actualizadas hacia la computadora cada 5 segundos. Para actualizar las fechas, se presiona un ícono que muestra otra pantalla (apéndice A figura A.4), donde se piden los parámetros de la nueva fecha. En caso de no necesitar actualizar las fechas, simplemente se oprime el botón de cancelar. Para finalizar este mando se presiona el botón actualizar. Una vez que se actualizan dichos parámetros se desconecta la comunicación serie y el instrumento se pone en bajo consumo hasta que la fecha actual y la de inicio son iguales, esto indica el inicio de un nuevo experimento. La figura 5.8 muestra el diagrama de flujo para este mando.

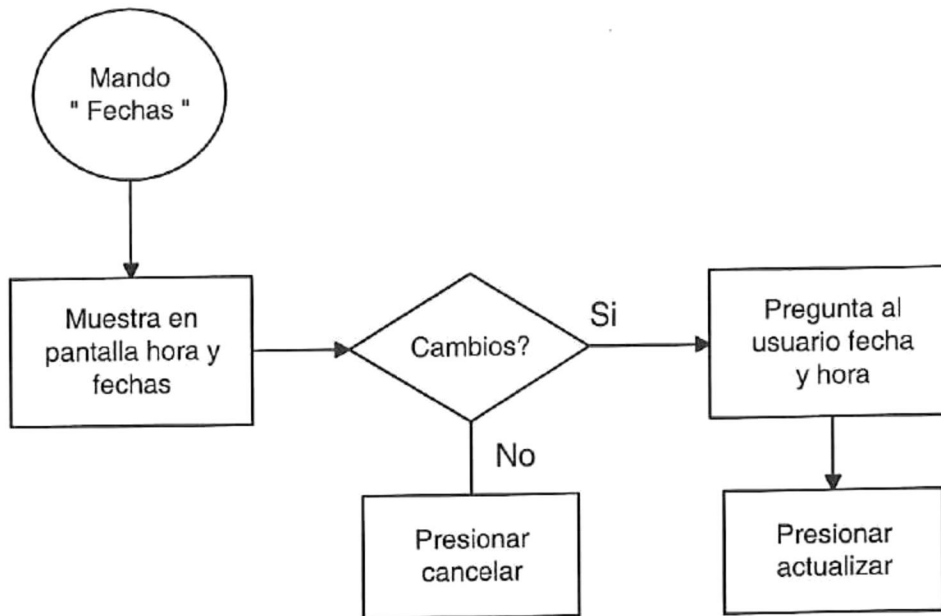


Figura 5.8: Diagrama de flujo del mando fechas.

*Mando "Archivo"*

La ejecución de este mando tiene por objeto respaldar todos los datos adquiridos durante un experimento que se encuentran almacenados en la memoria, en un archivo de la computadora. En este archivo, se guardarán la fecha y hora de inicio del experimento, el intervalo entre muestras, y las lecturas obtenidas del mismo.

Cuando se ejecuta este mando el programa verifica si hay muestras por respaldar. Si es así, pide al usuario un nombre para el archivo donde se almacenarán los datos, asegurándose de no sobrescribir en un archivo ya existente a menos que el usuario lo especifique. Posteriormente, se recibe el número total de datos almacenados. Cuando el número total de datos ha sido recibido y procesado, se cierra el archivo. En la figura 5.9 se muestra el diagrama de flujo de este mando.

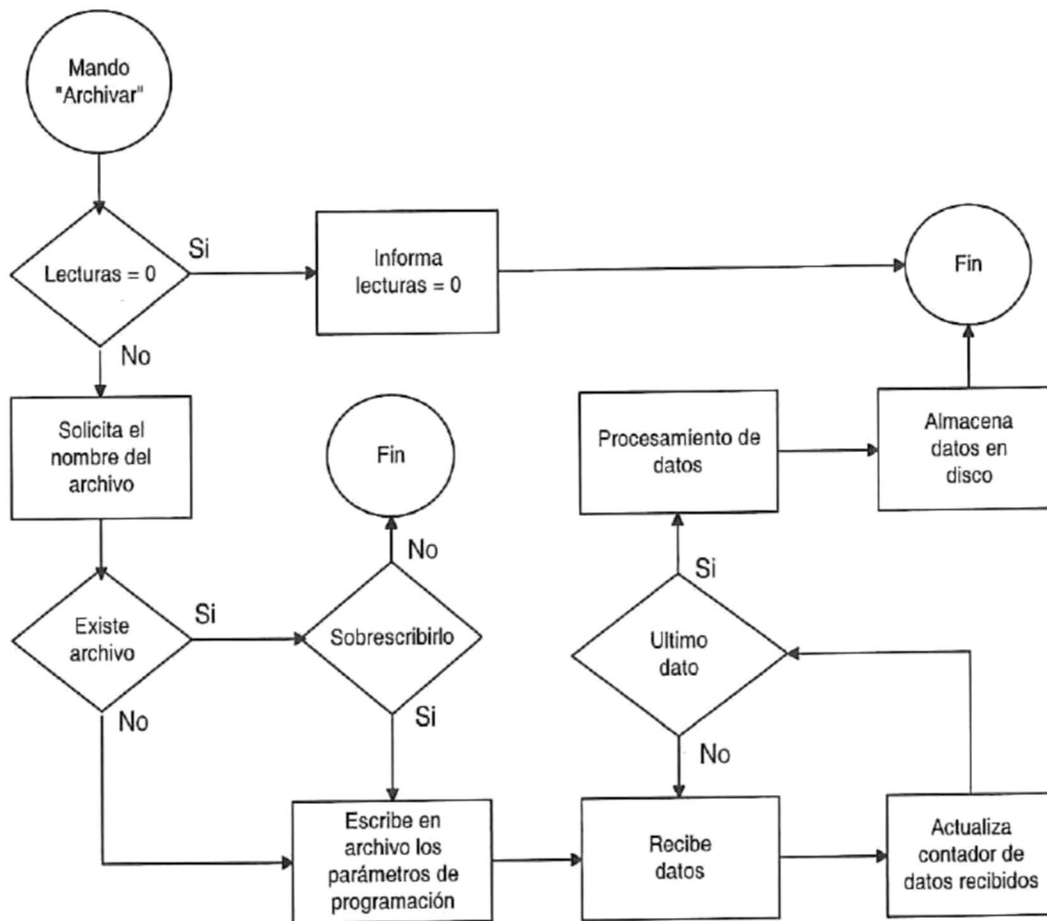


Figura 5.9: Diagrama de flujo del mando archivo.

### 5.3 Protocolo de comunicación

Para darle confiabilidad al instrumento, es necesario asegurar que la transferencia de datos e información entre éste y la computadora personal, se lleva a cabo de una manera segura y libre de errores, para lo cual se usa el protocolo INTEL HEX[14] que tiene el siguiente formato:

<Encabezado><Información en hexadecimal><Terminación>  
:ll aaaa tt dd..dd xx

En donde:

- : Indica el inicio de la cadena a transmitir
- ll Longitud en octetos de la cadena
- aaaa Dirección donde se desea cargar la información
- tt Fin del encabezado

dd Información en formato hexadecimal que se desea transmitir  
xx Terminación, la cual es el checksum de todo el formato, incluyendo el encabezado

Como ejemplo, para transmitir la letra A, la información resultante sería escrita de la siguiente manera:

:0100000041BE

El checksum BE es la suma en complemento a 2 de los octetos significativos de toda la cadena. Si el checksum recibido y calculado son diferentes indica que hubo un error de transmisión y se repite el bloque.

## Capítulo 6

# Pruebas de campo y laboratorio

### 6.1 Introducción

Antes de llevar el sistema a que tome muestras en el campo, es necesario realizar pruebas de laboratorio, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema completo. En el presente capítulo se analizan las pruebas de laboratorio y de campo de la boya.

### 6.2 Pruebas de laboratorio

El sistema completo de adquisición es muy importante para el instrumento, ya que sincroniza los muestreos, adquiere las lecturas y almacena las muestras. Las partes del sistema de adquisición que se probaron antes de llevar la boya al campo fueron: el reloj de tiempo real, el convertidor y la memoria.

#### 6.2.1 Pruebas al reloj de tiempo real

En esta prueba se sincronizó al reloj del instrumento con el reloj de la computadora. Después se programó el sistema para generar una interrupción cada 2 minutos; en cada interrupción se manda la fecha (año, mes, día) y hora (hora, minuto, segundo) del reloj a la computadora, éstas se comparan, y si hay alguna diferencia el programa de la computadora marca un error. La prueba descrita se realizó durante un lapso de una semana, al final del cual no existió ningún error. Otra de las pruebas fue verificar que no existiera ningún problema con el reloj en los años bisiestos, en los cambios de meses y en los cambios de años.

### 6.2.2 Pruebas al convertidor analógico a digital

Para probar el convertidor se hizo un barrido de voltaje de 0 a 1 volt, en intervalos de aproximadamente 0.05 volt. Se utilizó una fuente Agilent modelo E3630A para variar el voltaje de entrada y un multímetro Hart scientific modelo 5707 para medir el voltaje. Las mediciones se realizaron simultáneamente entre el multímetro y el convertidor. Los resultados que se obtuvieron presentaron un error de  $\pm 1$  LSB.

### 6.2.3 Pruebas a la memoria

Para asegurar que la memoria se encuentre en buen estado, se tienen que llenar todas las localidades cuatro veces con cuatro palabras diferentes que son: 00H, FFH, AAH, 55H, en cada una de ellas se extraen los datos y se comparan para ver si existe algún error. Esta prueba se realizó varias veces, y no se detectó ningún error.

### 6.2.4 Prueba de consumo

El consumo es un factor importante en un instrumento ya que de ello depende la duración de las baterías. En nuestro caso no es tan crítico ya que el sistema cuenta con un paquete de baterías recargables y un panel solar que se encuentra cargando las baterías. Cuando la boya no está adquiriendo mediciones todas las fuentes de alimentación se apagan con excepción de la fuente de alimentación del microcontrolador, el sensor de corrientes marinas y oleaje, ya que estos sensores no permiten que se interrumpa la alimentación, esto nos generó un consumo de 6.5 mA como mínimo y 120 mA como máximo.

## 6.3 Pruebas de campo

En la presente sección se analizan los resultados finales obtenidos por la boya. Cabe mencionar que las pruebas de campo no se hicieron en el mar, ya que la estructura a un se encuentra en fase de construcción. Debido a esto, se optó por hacer los experimentos en tierra.

El lugar donde se realizaron los muestreos fue frente a las instalaciones del IIO, ya que ahí se encuentra una estación meteorológica de la compañía Aanderaa que permitió comparar sus resultados con los obtenidos por la boya.

Se instaló un tubo a un costado de la estación meteorológica para poder sujetar los sensores de la boya. En la figura 6.1 se muestra la instalación de los sensores a un costado de la estación Aanderaa.

En el momento de instalar la brújula y el sensor de viento hubo necesidad de orientarlos hacia el norte, ya que los sensores de Aanderaa así están orientados. Para

orientar la brújula, se rotó el sensor hasta que la lectura fue cercana a los  $0^\circ$ . El sensor de viento tiene una marca que se utilizó para este fin como se muestra en la figura 6.2.

Para realizar el experimento se sincronizaron los relojes de la boya y la estación; se programaron los intervalos de muestreo para que tomaran muestras cada 5 minutos y se dejó muestreando 3 días. Los resultados del experimento se muestran a continuación.

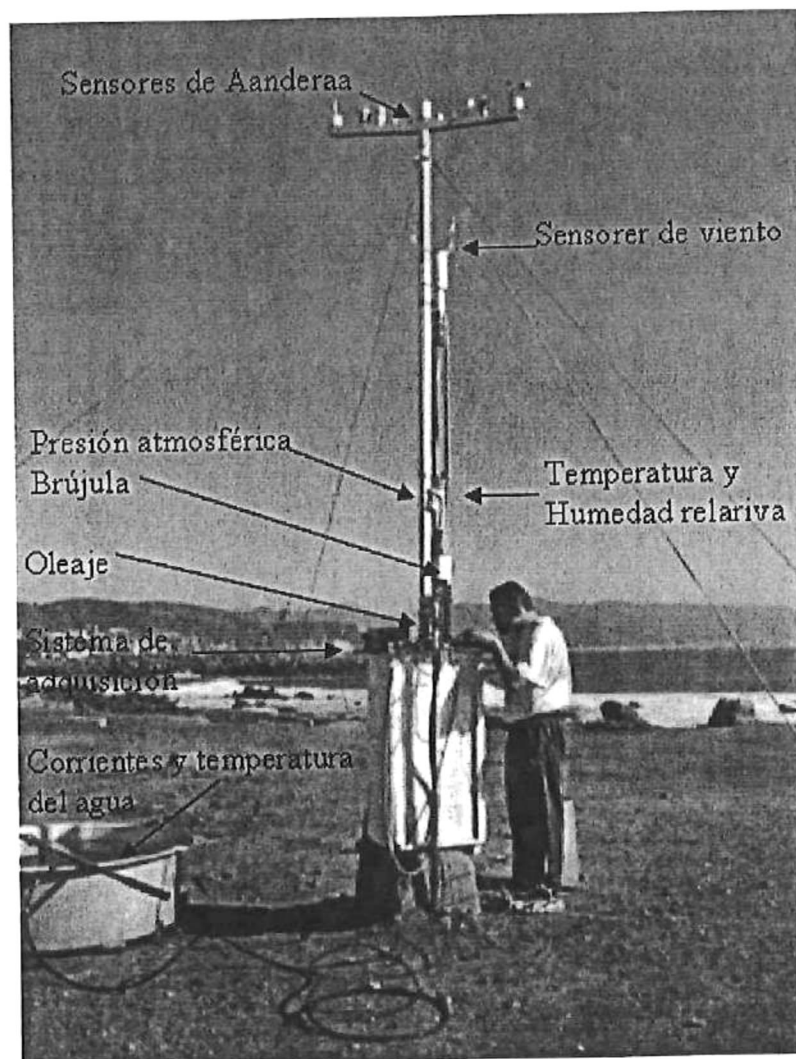


Figura 6.1: Instalación de los sensores de la boya a un lado de la estación de Aanderaa.

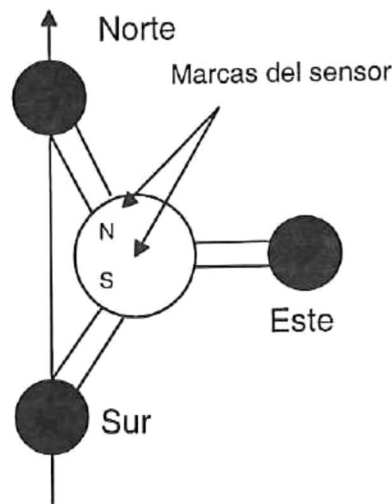


Figura 6.2: Marcas para el alineamiento al norte del sensor de viento.

### 6.3.1 Rapidez y dirección del viento.

La figura 6.3 muestra la gráfica de rapidez del viento y la figura 6.4 muestra la dirección. La línea azul representa los resultados de la estación Aanderaa y la línea roja de la boya. En la gráfica se observa que son diferentes, esto es debido a que los sensores de Aanderaa entrega un promedio sobre el intervalo de muestreo, mientras que el sensor de la boya entrega un dato instantáneo.

### 6.3.2 Temperatura ambiental.

La estructura temporal para hacer las pruebas de campo, no permitió instalar el protector de radiación solar. Esto afectó los resultados obtenidos de manera considerable, como se muestra en la figura 6.5.

### 6.3.3 Humedad relativa

Debido a que el sensor de humedad relativa y el sensor de temperatura ambiental vienen en un mismo envase, los datos de humedad relativa también son afectados por la ausencia del protector de radiación solar. La figura 6.6 muestra los resultados obtenidos.

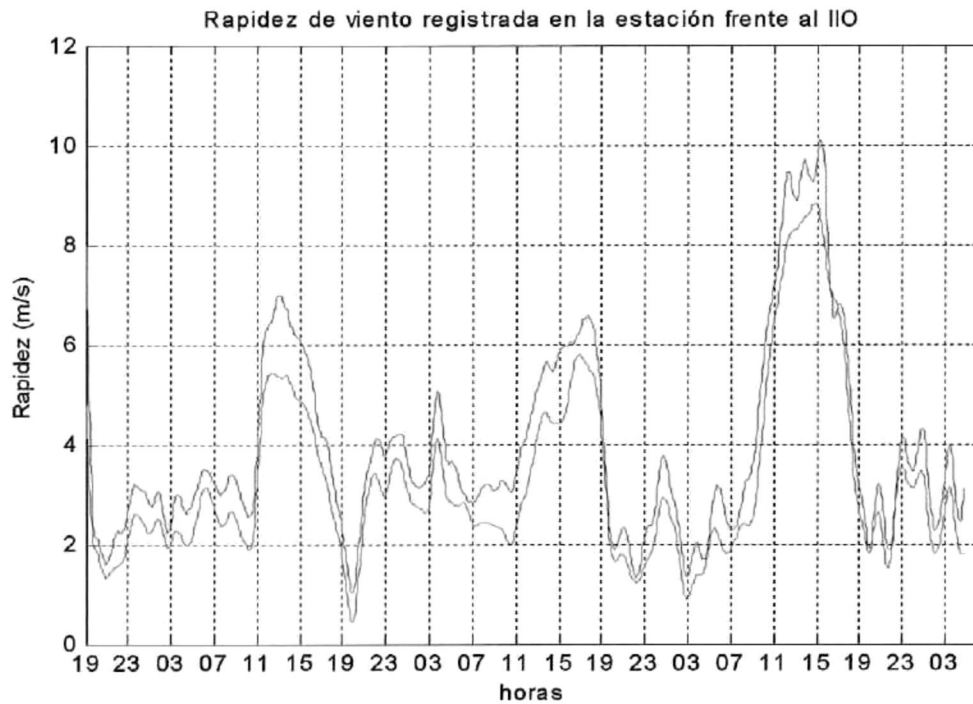


Figura 6.3: Resultados de rapidez de viento medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de  $1.5 \frac{m}{s}$ .

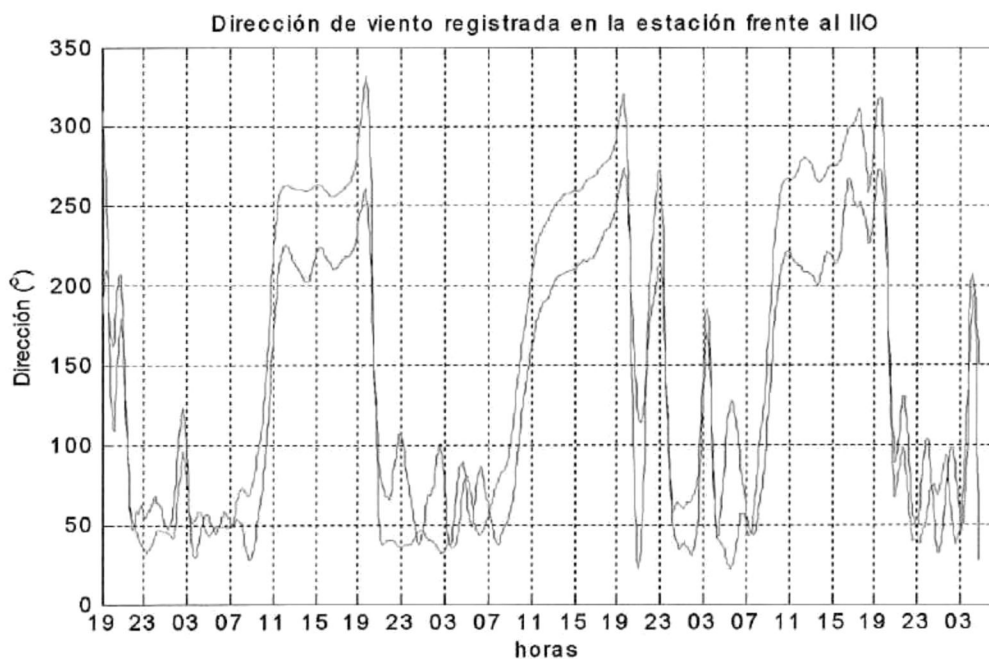


Figura 6.4: Resultados de dirección de viento medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de  $100^\circ$ .

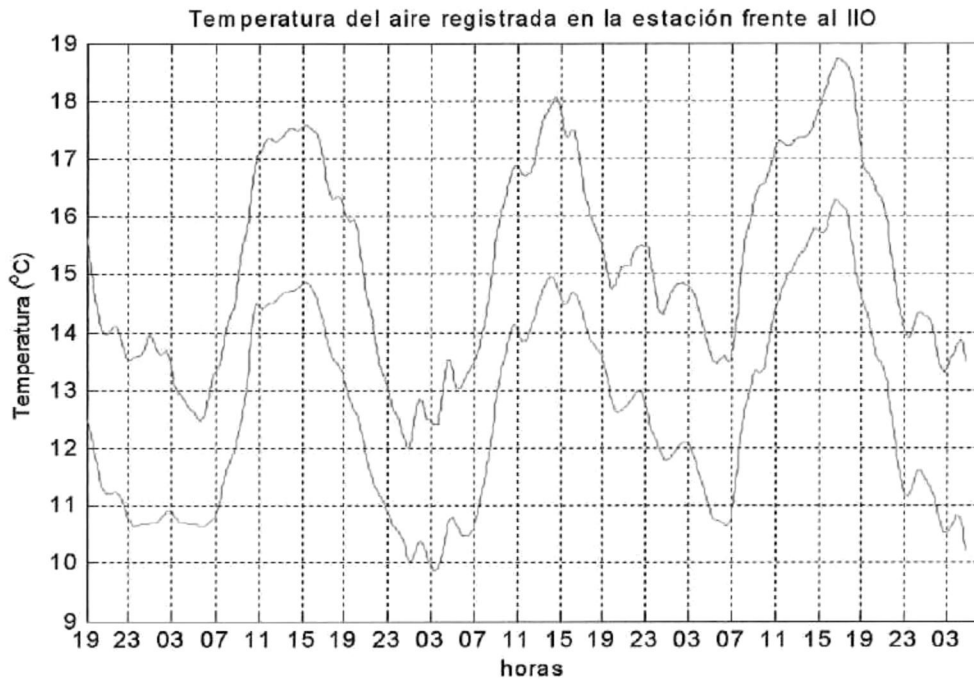


Figura 6.5: Resultados de temperatura ambiental medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de 3°.

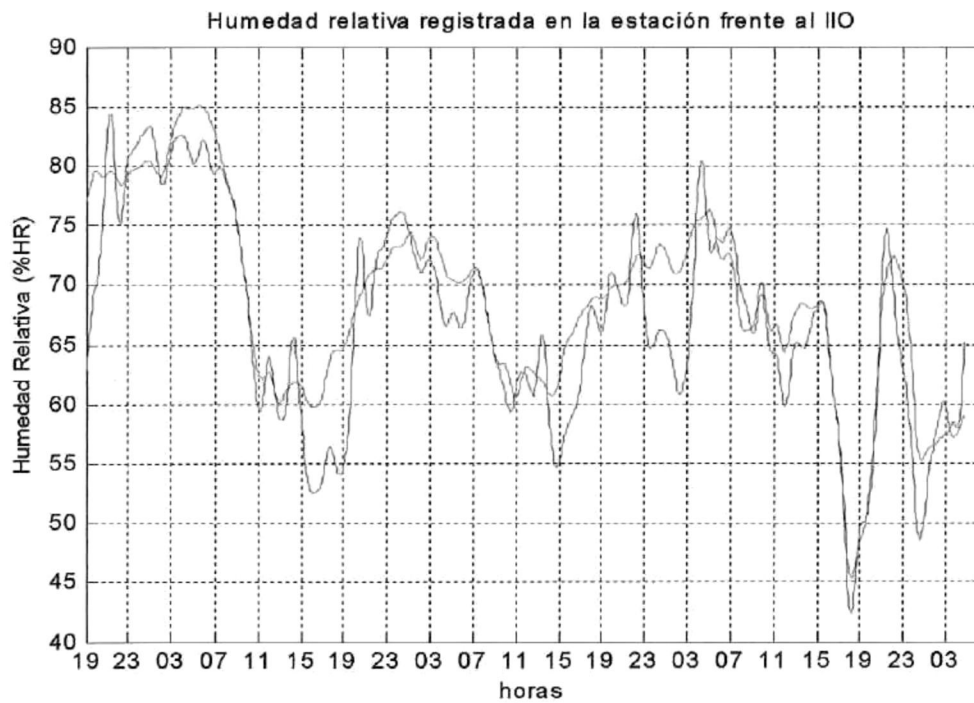


Figura 6.6: Resultados humedad relativa medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de  $\pm 8$  %HR.

### 6.3.4 Presión Atmosférica

Los resultados de presión atmosférica de la boya y Aanderaa no se ven afectados por el hecho de que los sensores no se encuentren en la misma posición, esto se refleja en la gráfica de resultados, como un traslape entre las dos gráficas. En la figura 6.7 se muestran los resultados de presión atmosférica.

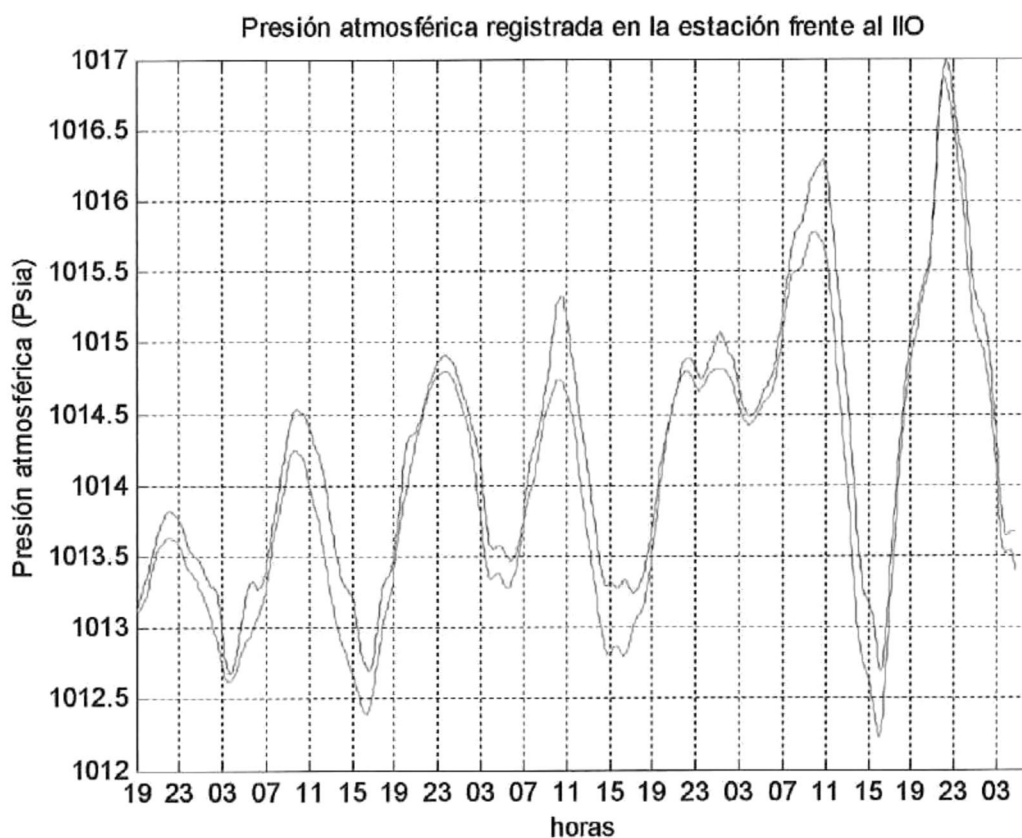


Figura 6.7: Resultados de presión atmosférica medidos por la boya y la estación meteorológica Aanderaa. La máxima diferencia fue de 0.4 psia.

### 6.3.5 Rapidez, dirección de las corrientes y temperatura del agua.

La estación meteorológica no mide ninguno de estos parámetros. Sin embargo, debido a que la salida del sensor es digital y viene calibrado de fábrica (ver apéndice D), podemos asumir que el sensor se encuentra funcionando bien. La figura 6.8 muestra la gráfica de los datos de rapidez de las corrientes; la figura 6.9, la dirección de las corrientes, y finalmente la figura 6.10, muestra la temperatura del agua.

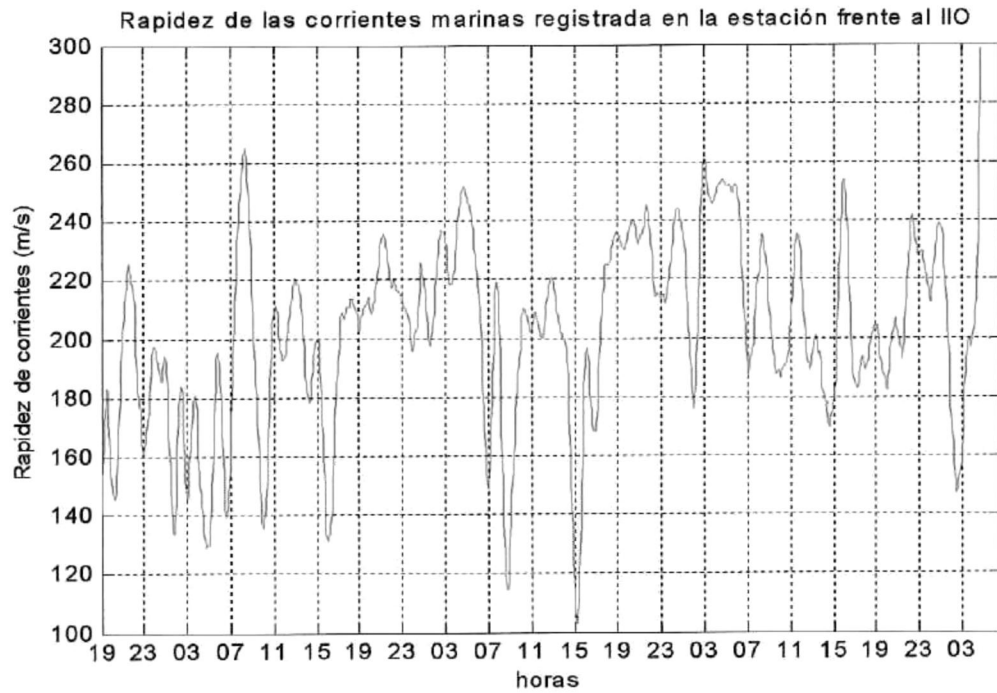


Figura 6.8: Resultados del sensor de rapidez de corrientes marinas.

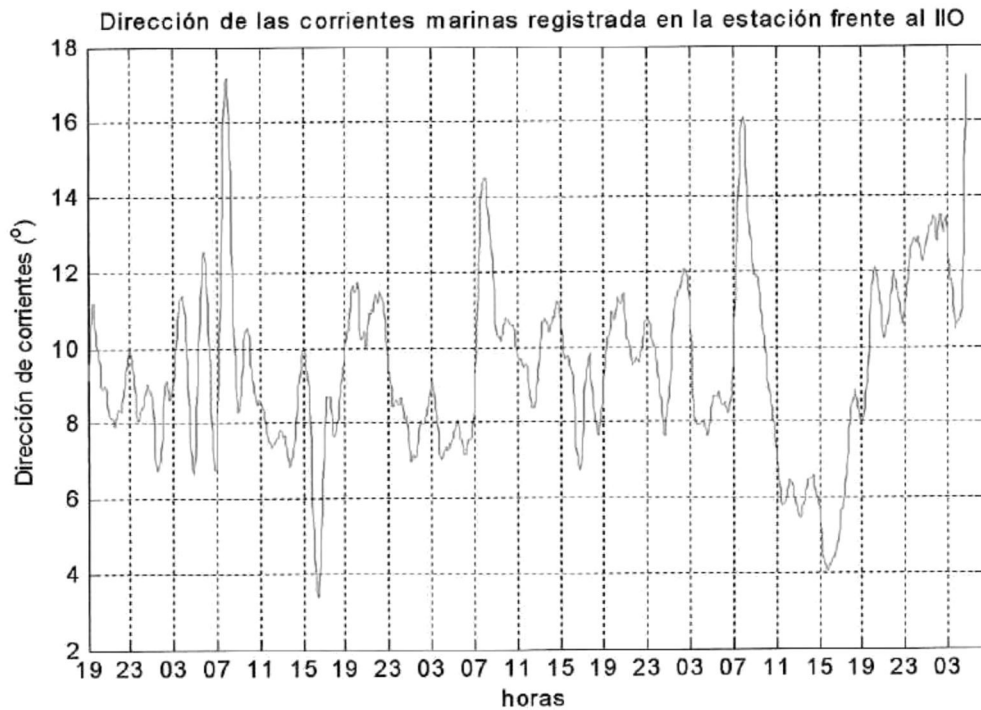


Figura 6.9: Resultados de dirección de corrientes marinas.

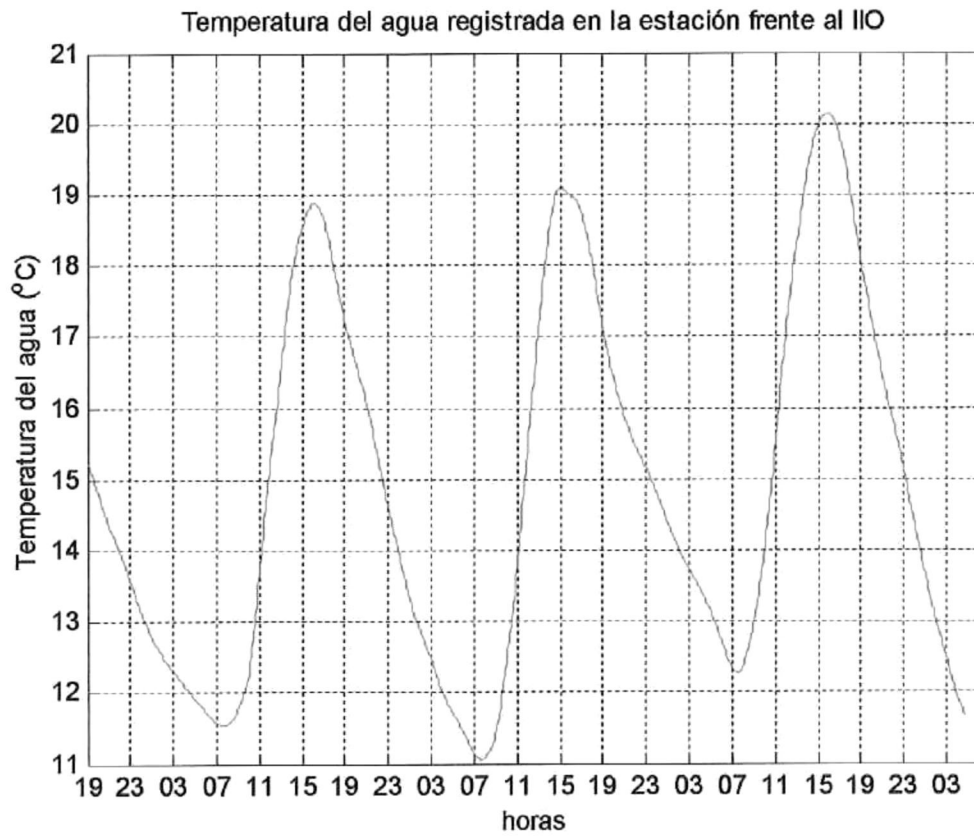


Figura 6.10: Resultados de temperatura del agua.

### 6.3.6 Oleaje

Para el caso del oleaje, tampoco existe un sensor en la estación meteorológica con el que se pueda comparar. Sin embargo, en las hojas de especificaciones (ver apéndice D), el fabricante menciona que el valor de la lectura cuando el sensor se encuentra en reposo, no debe exceder de 15 cuentas para la amplitud. Para el periodo no especifica nada. En la figura 6.11 se muestra la gráfica de los resultados de amplitud, y la figura 6.12 muestra los resultados para el periodo.

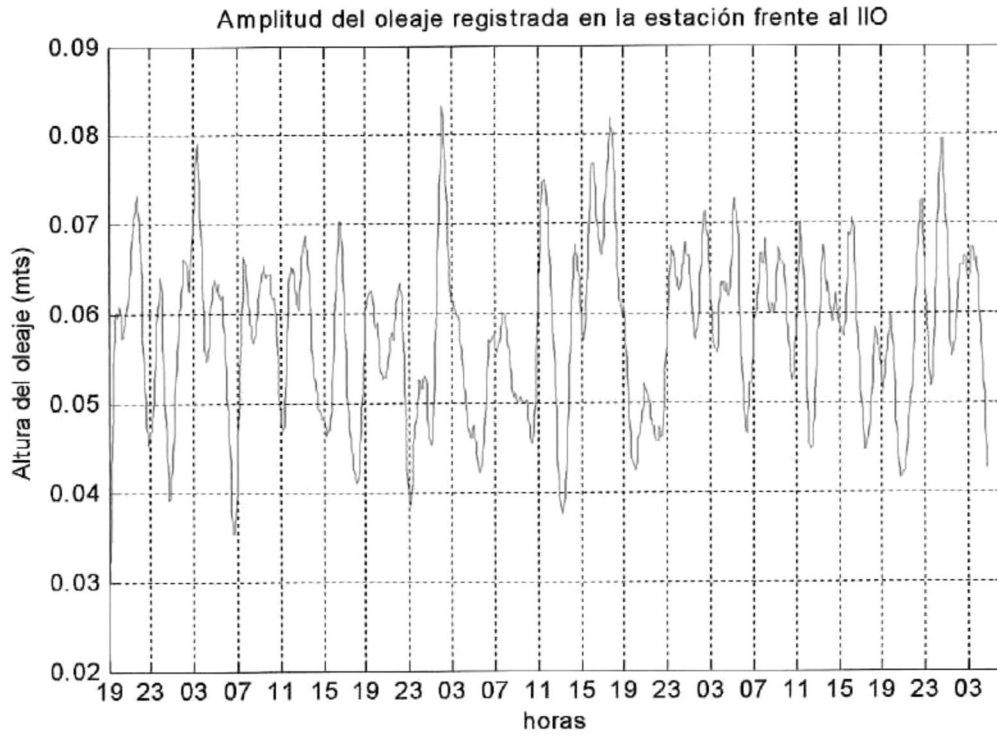


Figura 6.11: Resultados del sensor de altura del oleaje.

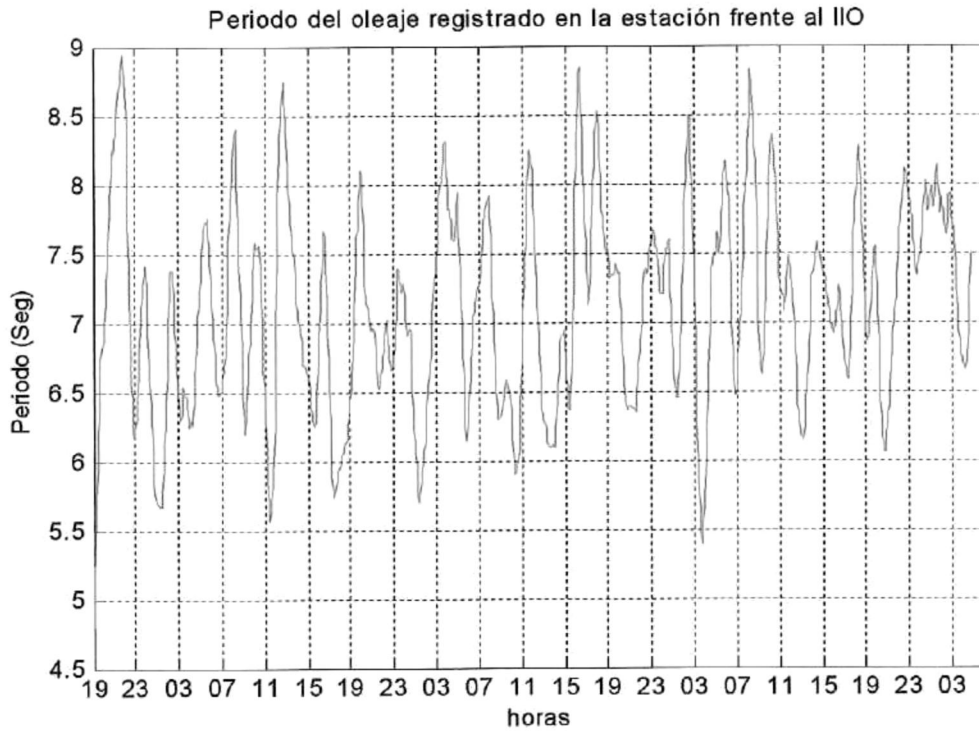


Figura 6.12: Resultados de periodo del oleaje.

### 6.3.7 Brújula

La función de la brújula es proporcionarnos una referencia con respecto al norte. Si el sensor se queda estático, la lectura de salida del sensor tiene que ser constante. Como en nuestro caso el sensor se mantiene inmóvil los valores obtenidos fueron constantes. La figura 6.13 muestra los resultados del sensor de orientación.

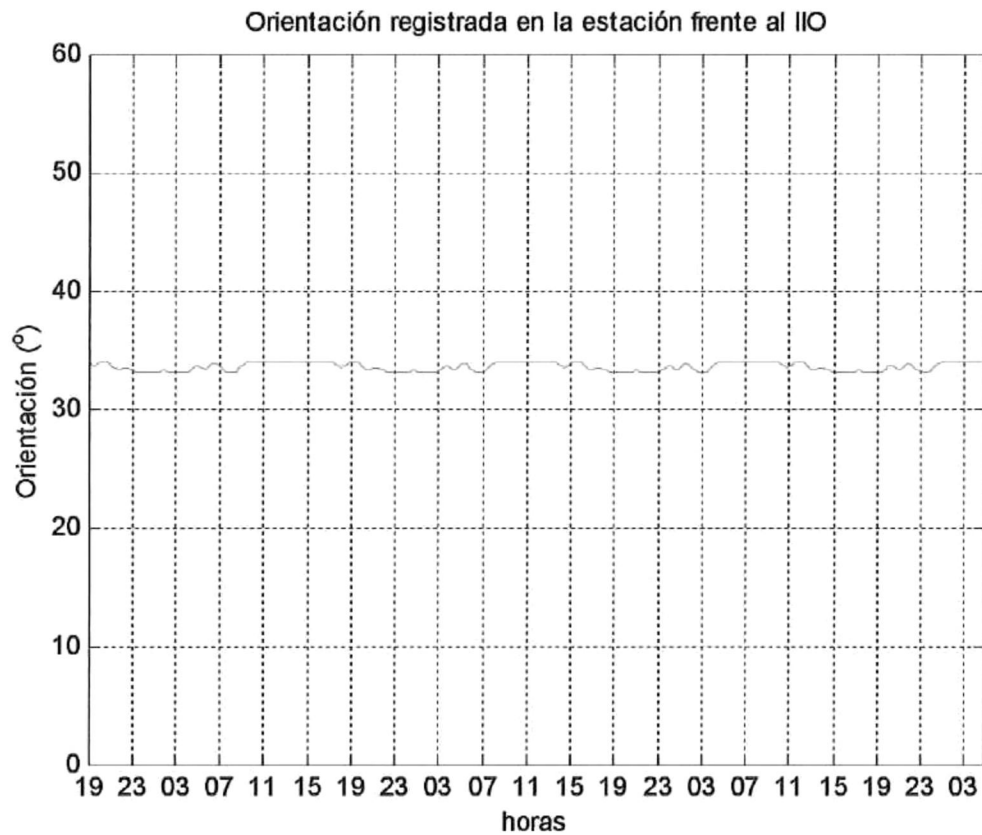


Figura 6.13: Resultados del sensor de orientación.

## Capítulo 7

# Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

En conclusión podemos decir que se cumplieron satisfactoriamente los objetivos inicialmente planteados:

- Se desarrollaron los acondicionamientos para los sensores de temperatura, oleaje, corrientes marinas y temperatura del agua
- Se elaboraron las rutinas de adquisición para sensores que entregan salida digital como lo son: brújula, presión atmosférica, rapidez y dirección del viento
- Se desarrolló el programa en ensamblador para el sistema de adquisición completo, que es el programa del RTR, el conjunto de las rutinas de adquisición de muestras de los sensores y el almacenamiento de datos
- Se desarrolló el programa de interfase entre la computadora y el instrumento. Este programa se realizó en ambiente WINDOWS, es muy versátil y presenta al usuario una visión general del comportamiento del instrumento

Los resultados presentados son comparados con la estación meteorológica Aanderaa ya que es una de las compañías mas reconocidas en el desarrollo de estos instrumentos.

De acuerdo a los experimentos realizados, en la mayoría de los resultados de los sensores se obtuvo un valor mayor con respecto al valor entregado por la estación Aanderaa. Esto es debido a que los sensores de Aanderaa proporcionan un promedio sobre el intervalo de muestreo y la boya proporciona un valor instantáneo.

Por ser una estación meteorológica, Aanderaa no cuenta con sensores oceanográficos, por lo cual no fue posible mostrar una gráfica de comparación para los sensores

---

de oleaje, corrientes marinas y temperatura del agua. Pero basandonos en las hojas de especificaciones, pudimos comprobar su correcto funcionamiento.

El resultado de las pruebas realizadas a la boya en el campo demuestran que es un instrumento confiable y de verdadero apoyo en la adquisición de datos oceanográficos.

Finalmente, el diseño del sistema de adquisición tiene la capacidad de aceptar hasta 8 sensores más, con salida analógica (0 a 1v) o hasta 9 sensores más con salida digital (utilizando el protocolo SDI-12), dándole al instrumento oportunidad de integrar nuevos sensores mediante la inclusión de su circuito de acondicionamiento y agregando la rutina de adquisición.

## 7.2 Recomendaciones

Se recomienda que al finalizar la construcción de la estructura de la boya, se lleven a cabo experimentos en el mar, con el fin de comparar los sensores de oleaje y de corrientes marinas con algún equipo comercial de las mismas características, como lo es la boya de Aanderaa. También se sugiere acoplar el módulo de telemetría para facilitar la obtención de datos.

Por otra parte, durante el desarrollo de la boya oceanográfica, han surgido nuevos componentes electrónicos, por lo que se sugieren dos cosas:

1. Aumentar la capacidad de almacenamiento de la memoria FLASH
2. Reemplazar algunos componentes que trabajan en 5v por componentes que trabajen en 3v, y así optimizar la energía del sistema.

# Bibliografía

- [1] Aanderaa instrument. 1999. " Operating manual CMB3280". pp 32
- [2] Handar A TSI Company. 1998. "Model 425 series of ultrasonic wind sensor". pp76
- [3] SDI-12 Support Group. 2000. "A serial-digital interface standard for microprocessor-based sensor". pp 30
- [4] Met One instruments. 1999. "Relative humidity/temperature sensor model 083D". pp 15.
- [5] Vaisala. 1999. "PTB210 series digital barometers with serial output". pp 26
- [6] Durazo R., Castañeda J. 2001. "Instrumentación Oceanográfica".  
*<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc/notes/lectura13.html>*, 25 de febrero, 2003
- [7] Aanderaa instrument. 2000. "Doppler current sensor 3900". pp 4
- [8] Aanderaa instrument. 2000."Signal Types - The VR22 and SR10 Signal Formats".  
*<http://www.aanderaa.com/VR22andSR10.htm>*, 25 de febrero, 2003
- [9] Aanderaa instrument. 2000. "Wave height sensor 3595". pp 4
- [10] R.M. Young company. 2000. "Model 32500 electronic compass". pp 7
- [11] Motorla. 1998. ""MC68HC908GP32 HCMOS Microcontroller unit". pp 404
- [12] Atmel. 2001. "DataFlash AT45DB321B".  
*<http://eu.atmel.com/atmel/acrobat/doc2223.pdf>*, 25 de febrero, 2003
- [13] Analog Device. 1999. "12 bits ADC".  
*[http://www.analog.com/productSelection/pdf/1375\\_b.pdf](http://www.analog.com/productSelection/pdf/1375_b.pdf)*, 25 de febrero, 2003
- [14] Dallas semiconductor.1993. "Soft microcontroller". pp.345
- [15] Intersil. 1999. "ICL7663".  
*<http://wwwwww.ges.cz/sheet/i/icl7663.pdf>*, 25 de febrero, 2003
- [16] Intersil. 1999. "ICL7660".  
*<http://wwwwww.ges.cz/sheet/i/icl7660.pdf>*, 25 de febrero, 2003

- 
- [17] MAXIM. 1996. "MAX666".  
*<http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/MAX663-MAX666.pdf>*, 25 de febrero, 2003
- [18] Morales, A.C.1995. "Medidor de parametros meteorológicos", Tesis profesional, Univ. Aut. de BC.
- [19] Coughlin R. 1993. Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, Prentice Hall. pp 354.
- [20] Ramón P. 1991. Sensors and signal conditioning. John Wiley & Sons, Inc. pp 245
- [21] Joseph J. 1993. Sensors and circuits. Prentice Hall. pp 168

## Apéndice A

# Programa BOYA

El programa BOYA proporciona la interfaz gráfica necesaria para operar el instrumento. Este programa aprovecha algunas de las ventajas gráficas que el ambiente WINDOWS proporciona al usuario, haciendo el uso del instrumento más sencillo y eficaz. La dinámica para operar al instrumento con este programa es la siguiente:

1. Corre el programa de intercomunicación. Al hacerlo, la primer ventana que aparece es la que se muestra en la figura A.1.

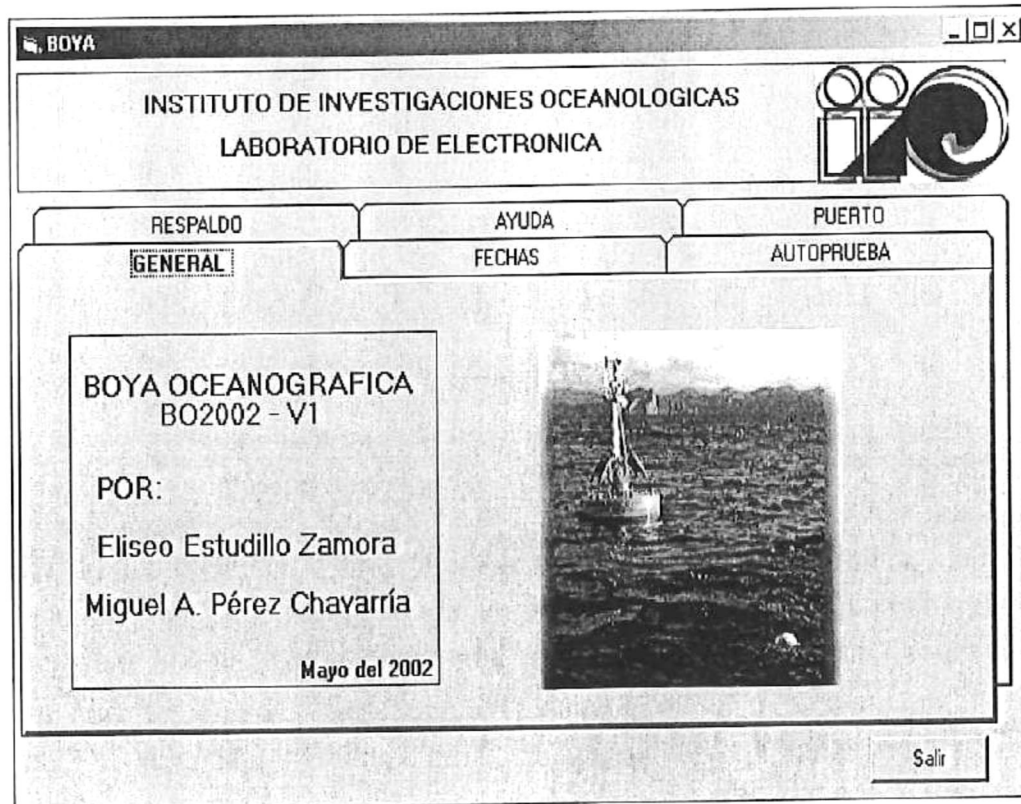


Figura A.1: Ventana principal del programa de intercomunicación.

En esta pantalla se muestran los principales menús a los que obedece la boya, en forma de archivero.

- 2 Seleccionar la opción PUERTO en el programa. Esto es con el fin de poder elegir un puerto de comunicación serie, donde se encuentra conectado el instrumento. La ventana que se abre cuando se elige esta opción es la que se muestra en la figura A.2.

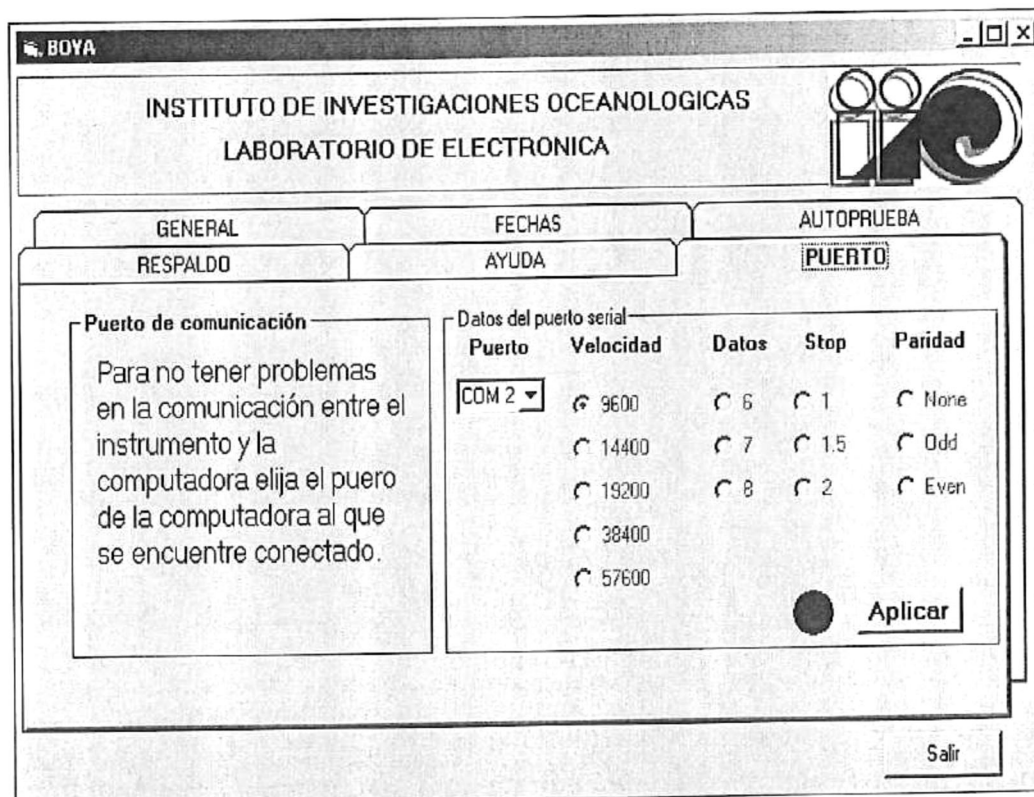


Figura A.2: Ventana para la opción PUERTO.

Después de haber elegido un puerto de comunicación se tiene que presionar el botón APLICAR, para abrir el puerto de comunicación. Cuando el puerto de comunicación está abierto, el círculo rojo cambia de color a verde.

- 3 Si únicamente se requiere programar al instrumento para un nuevo experimento, lo siguiente que se tiene que hacer es entrar a la opción FECHAS, donde la ventana que se abrirá es la que se muestra en la figura A.3.

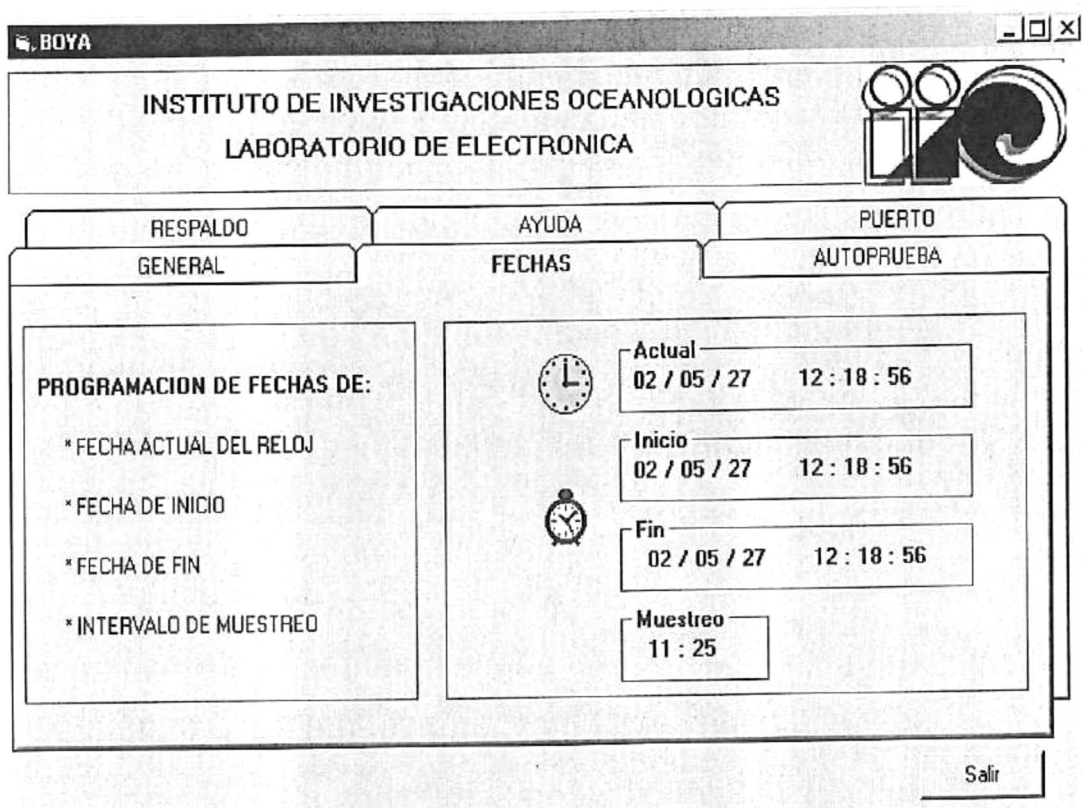


Figura A.3: Ventana para la opción FECHAS.

Las fechas se están refrescando cada 5 segundos, para que el usuario tenga presente cuáles son las fechas con las que cuenta el instrumento. Para cambiar las fechas únicamente se tiene que presionar uno de los dos íconos con los que cuenta esta ventana. Los íconos son:



Al presionar este ícono se despliega otra pantalla (figura A.4) en donde pide los datos para actualizar la fecha del instrumento.



Este es el ícono que se tiene que presionar en caso de querer cambiar la fecha de inicio, la fecha de fin y el intervalo de muestreo.

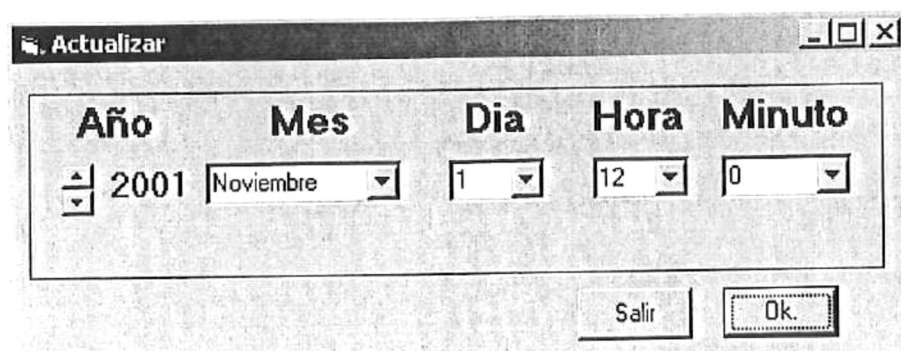


Figura A.4: Ventana para actualizar la fecha y hora del RTR.

Estas tres opciones son suficientes para que la boya quede programada para un nuevo experimento.

El programa cuenta también con la opción de respaldo de datos donde la ventana que abre es la que se muestra en la figura A.5.



Figura A.5: Ventana para la opción RESPALDO.



Al presionar este ícono se verifica cuántas muestras tiene la memoria, y si es mayor a cero, se pide el archivo donde se almacenarán las nuevas muestras. El archivo generado está en formato de renglones y columnas.

Este programa también tiene la opción de tomar muestra de los diferentes sensores conectados a la boya de manera independiente del intervalo de muestreo. Para esto se debe entrar a la opción de AUTOPRUEBA y aparecerá la ventana que se muestra en la figura A.6.

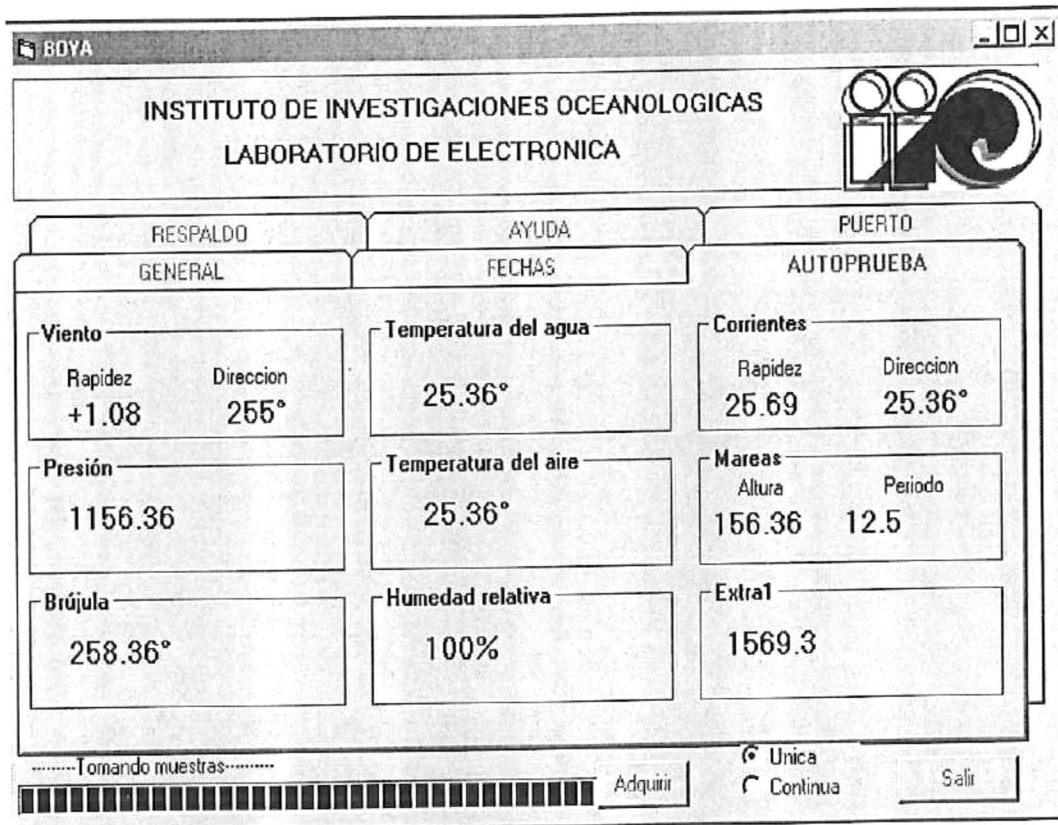


Figura A.6: Ventana para la opción AUTOPRUEBA.

Los datos son leídos de cada sensor y son mandados al programa de intercomunicación, el programa interpreta los datos y los despliega en la ventana. Si el usuario desea tener un muestreo de manera continua únicamente tiene que elegir la opción CONTINUA. Si esta opción es elegida, se pedirá el nombre del archivo donde se estarán grabando los datos.

El programa tiene también la opción de AYUDA donde se proporciona al usuario la asistencia necesaria para operar el programa. La ventana que aparece cuando se selecciona esta opción es la que se muestra en la figura A.7.

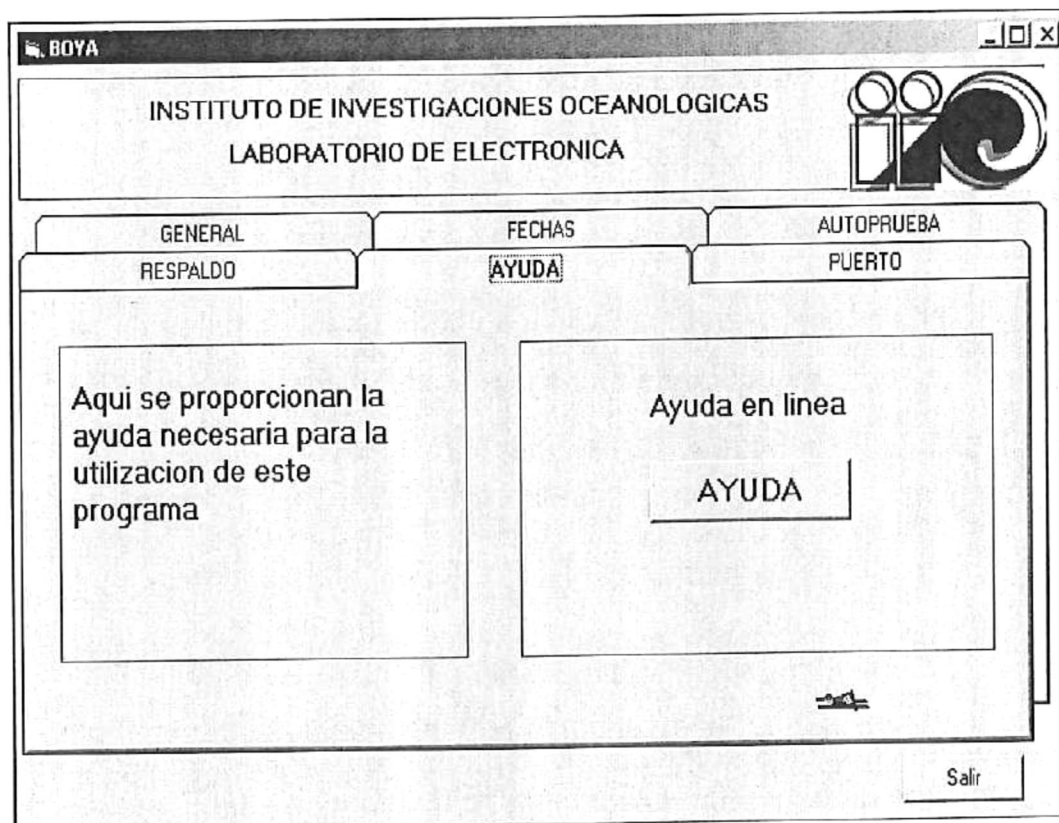


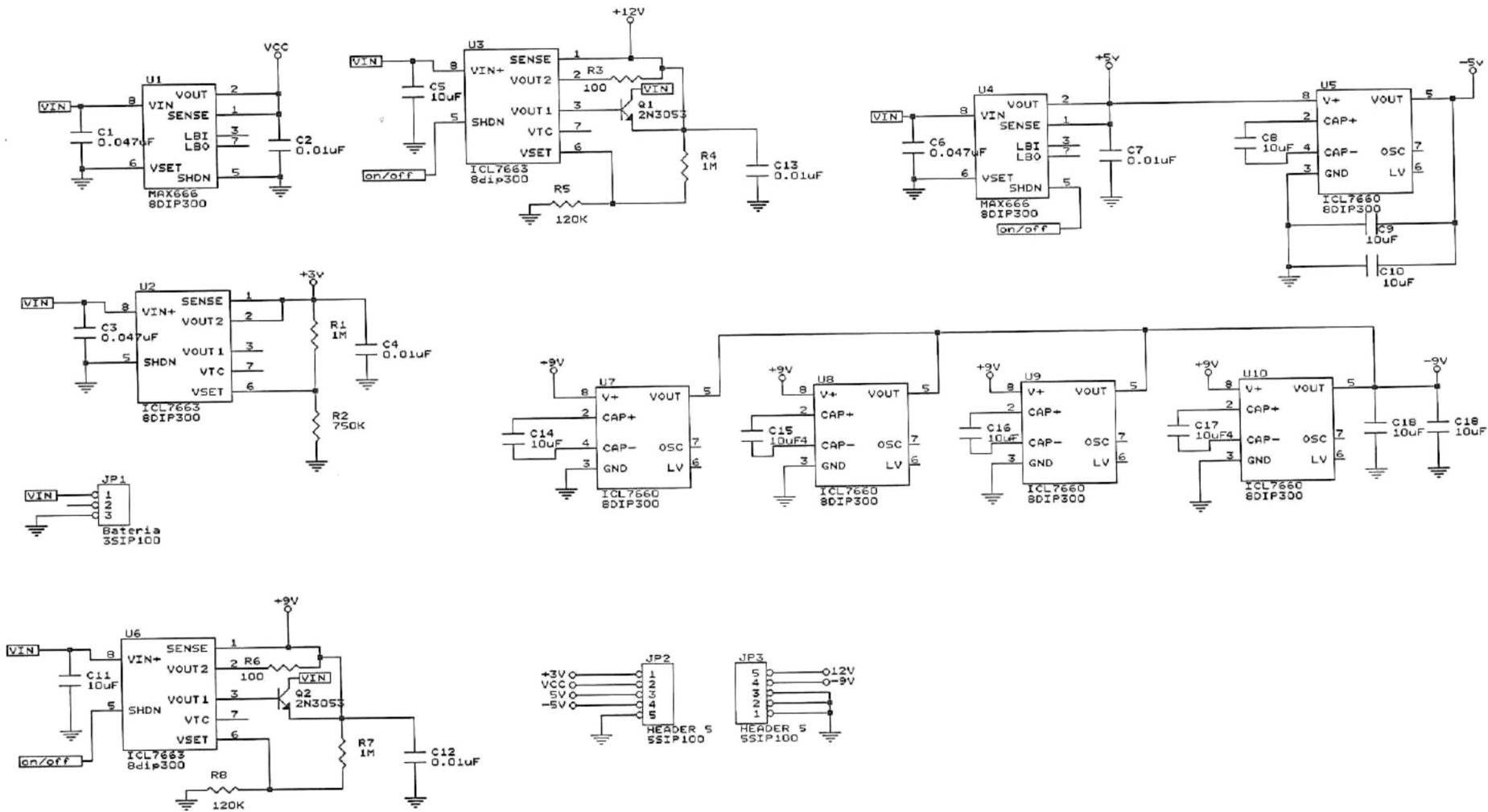
Figura A.7: Ventana para la opción AYUDA.

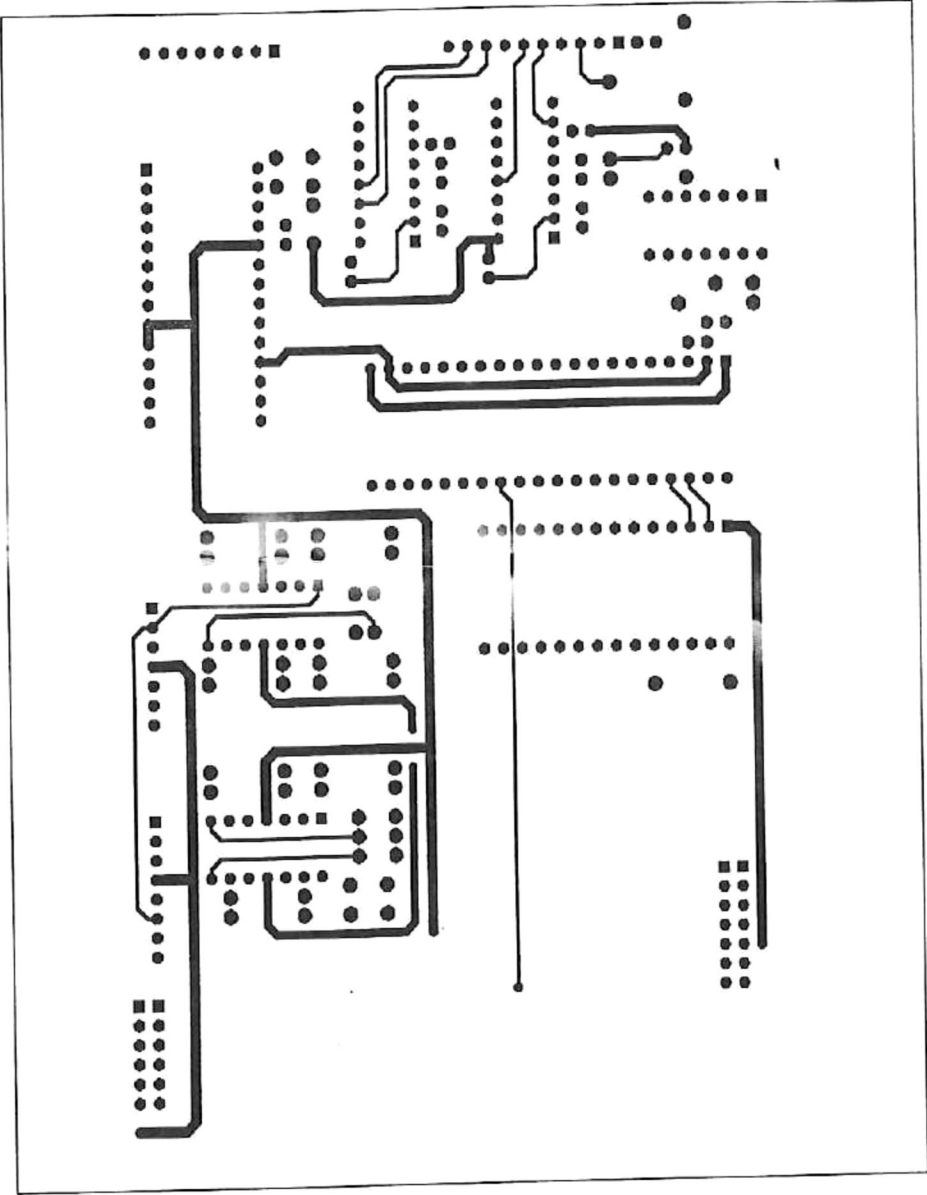
## Apéndice B

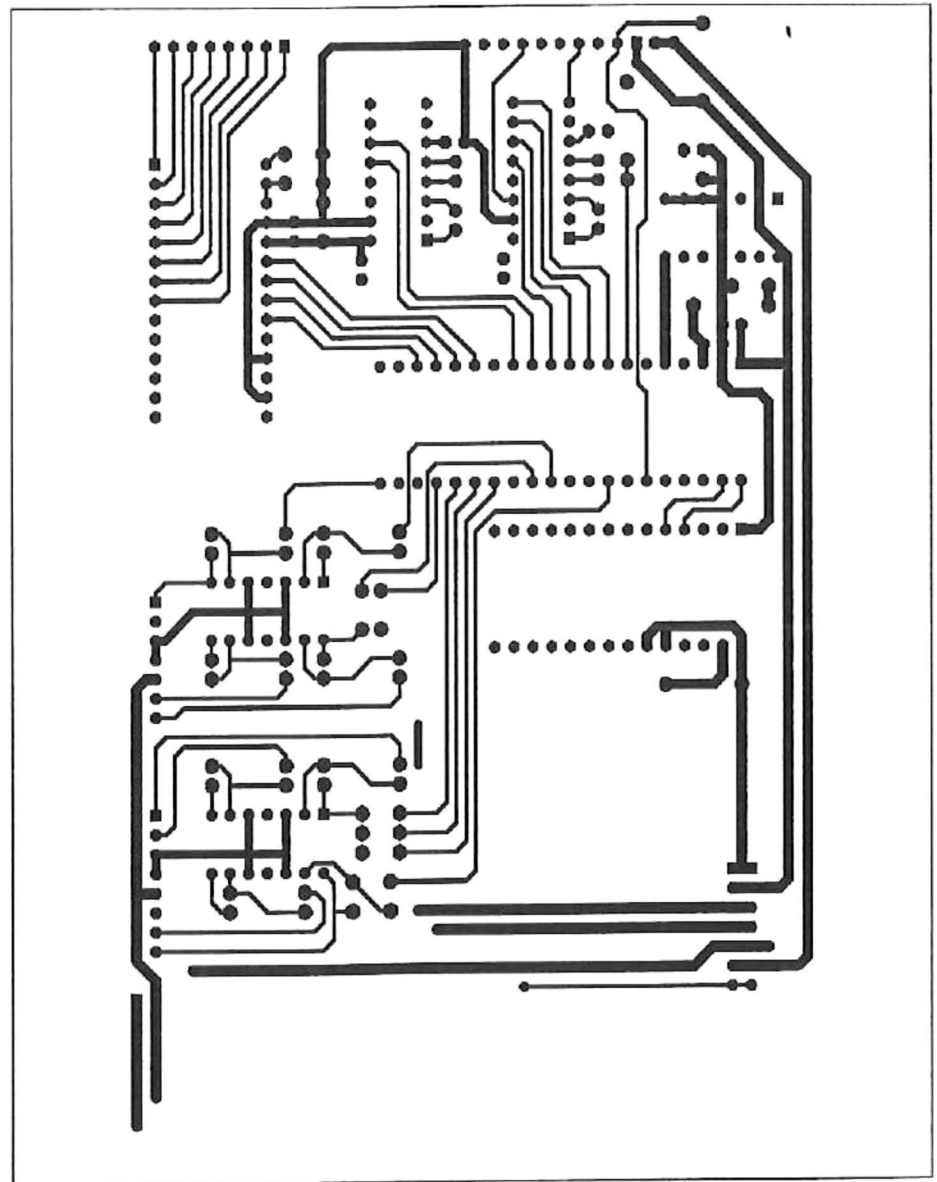
# Diagramas esquemáticos de la boya

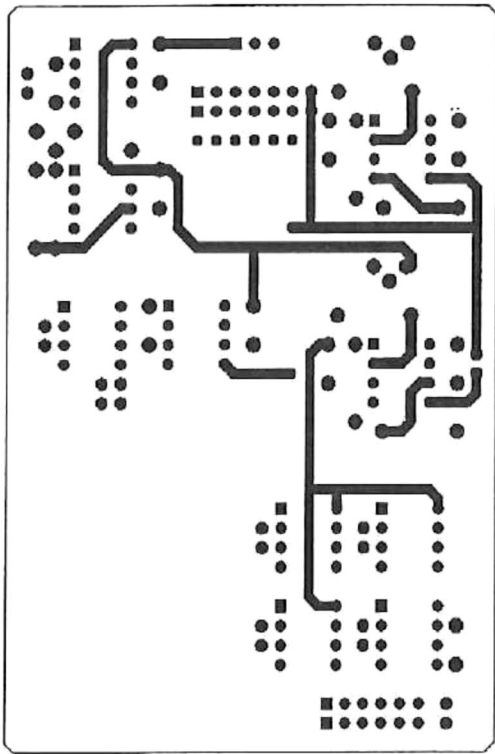
En este apéndice se muestran los diagramas esquemáticos, el diseño de la tablilla (PCB) y las fotos de sistema ensamblado. Lo anterior se muestra en el siguiente orden:

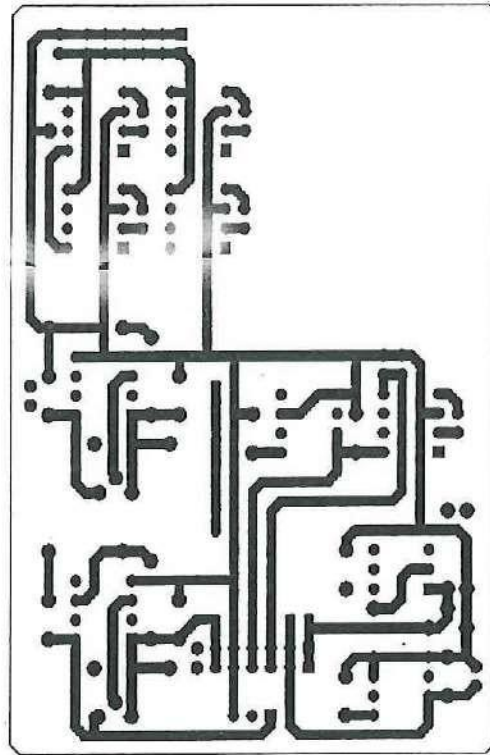
1. Diagrama esquemático del sistema de adquisición
2. Diagrama esquemático de las fuentes de voltaje de la boya
3. Diseño del PCB del sistema de adquisición
4. Diseño del PCB del circuito de las fuentes de voltaje
5. Fotografía del sistema completo ensamblado
6. Fotografía de los conectores para los diferentes sensores











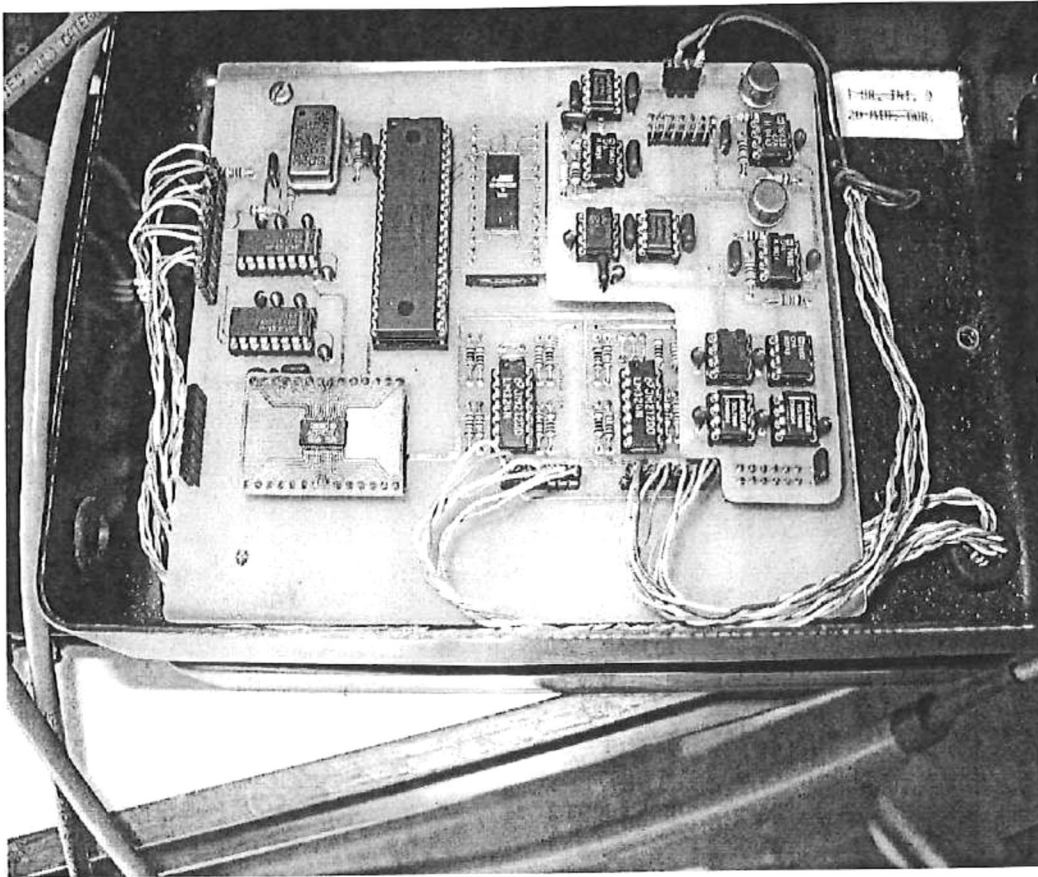


Figura B.5: Circuito ensamblado de la boya

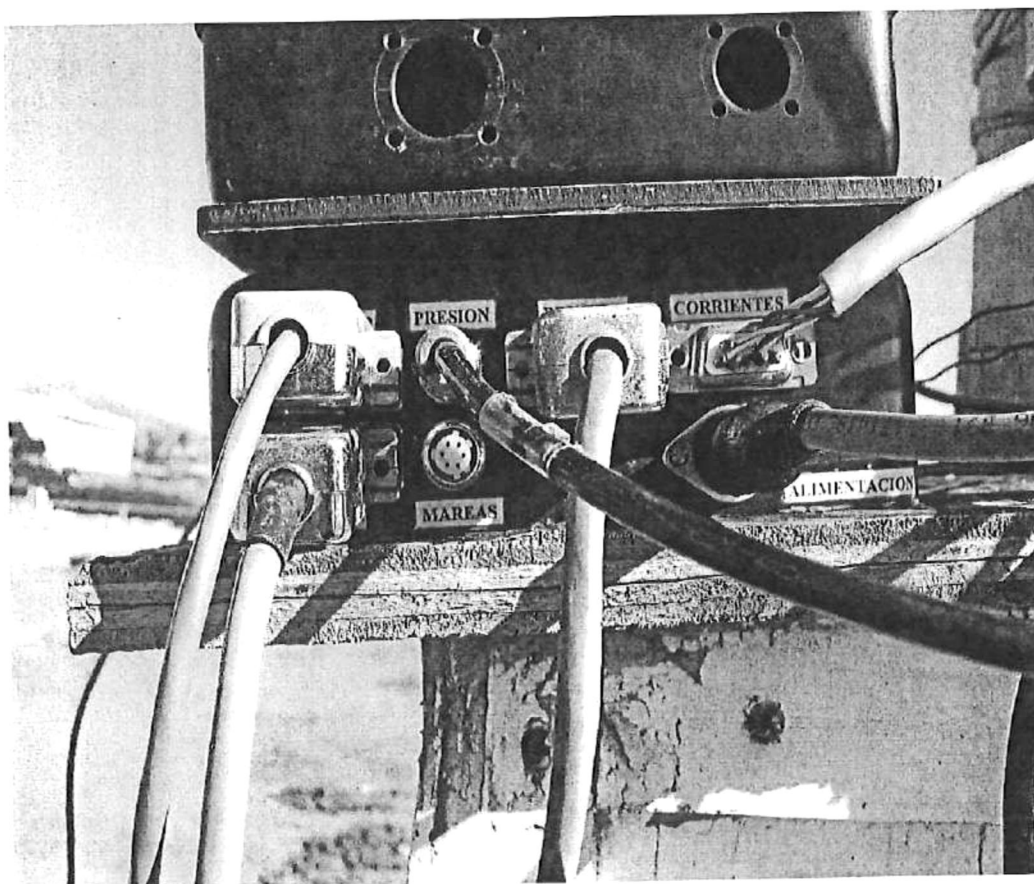


Figura B.6: Conectores para los diferentes sensores.

## Apéndice C

# Diagrama de la estructura de la boya

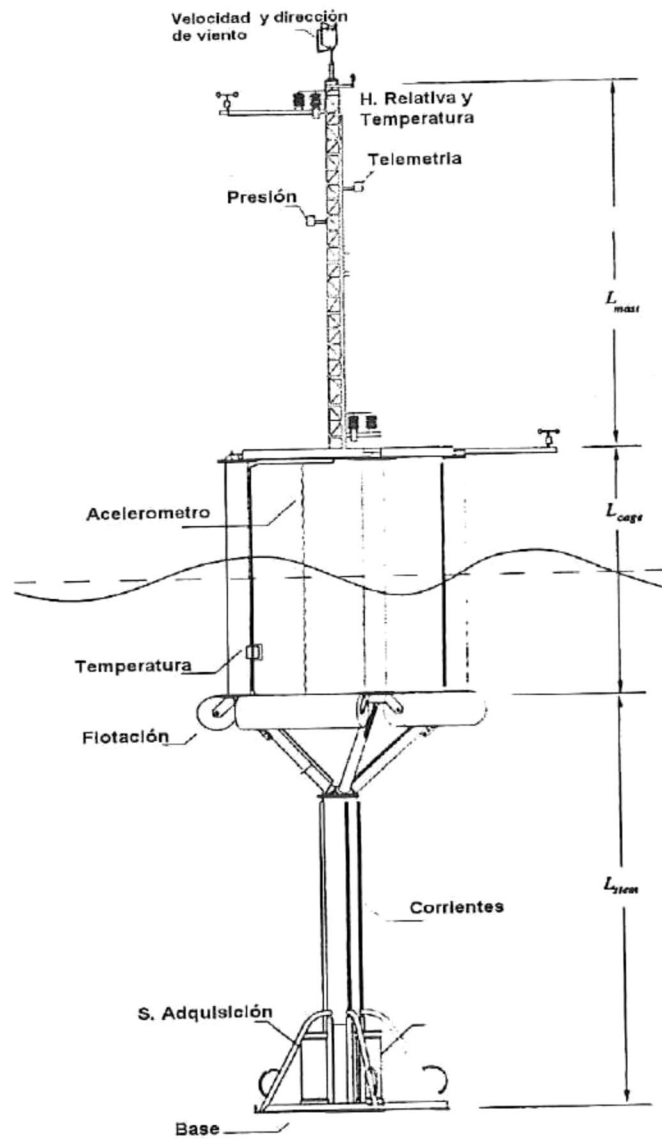


Figura C.1: Estructura de la boya.

## Apéndice D

# Hojas de especificaciones de las sensores

En este apéndice se muestran las hojas de especificaciones de los sensores de la boya en el siguiente orden:

1. Rapidez y dirección del viento
2. Humedad relativa y temperatura del aire
3. Brújula
4. Corrientes marinas y temperatura del agua
5. Oleaje
6. Presión atmosférica



# **Model 425 Series of Ultrasonic Wind Sensors**

---

## ***User's Guide version 1.6***

*July 1998*

1288 Reamwood Avenue  
Sunnyvale, CA 94089-2233  
408-734-9640  
FAX: 408-734-0655

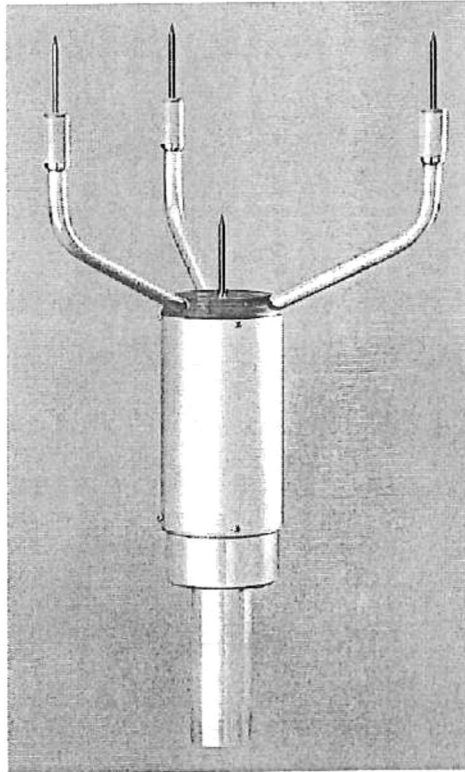
425-9001  
©1998 Handar, Inc., All Rights Reserved

## Section 1. Introduction

---

### Introducing the Model 425A ultrasonic wind sensor

The Model 425A ultrasonic wind sensor determines wind speed and wind direction. The sensor is shown in Figure 1.1.



*Figure 1.1 Model 425A ultrasonic wind sensor*

The sensor features:

- Communication with a wide range of data acquisition systems using:
  - Digital output for RS232 and SDI-12 serial data interfaces
  - Analog outputs (Models 425A and 425AH only)
- No moving parts

- Power-on self-tests of RAM and ROM
- Contamination and corrosion resistance since exposed surfaces are stainless steel and anodized aluminum
- Simple alignment to true north
- A built-in heater for the Models 425AH and 425AHW
- Heater diagnostics to diagnose to the lowest replaceable unit (power supply or wind sensor) for the Model 425AHW with Handar power supply, part number 425-7006.

This *User's Guide* uses the expression "Model 425A" to mean the 425A, 425AH and 425AHW models for almost all instances since they are the same except for the following:

- Models 425AH and 425AHW have built-in heaters
- Only Model 425AHW has heater diagnostics and does not have an analog mode.

When needed, the *User's Guide* explicitly notes the differences between the three models.

---

### How the ultrasonic wind sensor works

The Model 425A ultrasonic wind sensor has an on-board microcontroller that captures and processes data and performs serial communications.

The wind sensor has an array of three equally spaced ultrasonic transducers in an horizontal plane. The sensor measures **transit time**, the time that it takes the ultrasound to travel from one transducer to another. The transit time is measured in both directions.

Transit time depends on the wind velocity along the ultrasonic path. For zero wind velocity, both the forward and reverse transit times are the same. With wind along the sound path, the up-wind transit time increases and the down-wind transit time decreases.

The microcontroller's microprocessor computes the wind speed from the transit times using the formula:

$$V_w = 0.5 * L * (1/t_f - 1/t_r)$$

where  $V_w$  is the wind velocity,  $L$  is the distance between two transducers,  $t_f$  is the transit time in the forward direction, and  $t_r$  is the transit time in the reverse direction.

Table 1.1 Model 425A ultrasonic wind sensor modes

| Mode             | Description  | Power          |                               |
|------------------|--|----------------|-------------------------------|
|                  |  | Quiescent (mA) | Reading (mAseconds)           |
| SDI-12 submode A | The sensor is normally sleeping. A <i>measurement</i> command wakes the sensor to take a 0.35-second measurement. A subsequent <i>read instantaneous measured data in submode A</i> command gets the data and the sensor goes back to sleep.<br><br>The following information is available:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>wind speed</li> <li>wind direction</li> <li>x velocity</li> <li>y velocity</li> </ul>  | 0.2            | 7.5                           |
| SDI-12 submode B | The sensor initially sleeps. A <i>place sensor in submode B</i> command puts it into submode B until either a <i>reset to submode A</i> command or a two-hour timeout puts it back to sleep. In submode B, the sensor takes a fresh 0.35-second measurement every second (free running). The datalogger can send the <i>read average measured data in submode B</i> command at any time, causing the sensor to immediately return the following data:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>average wind speed</li> <li>average direction</li> <li>gust wind speed</li> <li>gust direction</li> </ul> Every time the datalogger sends the <i>read average measured data in submode B</i> command, the two-hour timer resets its timeout clock to zero. | 7.7            | 5                             |
| RS232            | The sensor is free running, taking continuous readings. When polled, it responds with a fixed length string of 19 characters that gives the average wind speed and wind direction.   | 18             | Included in quiescent current |
| Analog           | Model 425AHW does not have this mode. Sensor is normally powered down. When power is first turned on, it first takes about two seconds for the sensor to initialize and stabilize. It then takes a 0.35-second measurement and synthesizes the analog outputs of wind speed and wind direction. Every second, it repeats the cycle until power is removed.   | 12             |                               |

**Output data**

The microprocessor computes the polar wind speed and direction as well as the rectangular x and y components of wind velocity. The output is four fields named:

1. **Wind speed, s** [available in SDI-12 submode A and analog mode]
2. **Wind direction (azimuth), a** [available in SDI-12 submode A and analog mode]
3. **x velocity, x** [available in SDI-12 submode A]
4. **y velocity, y** [available in SDI-12 submode A]

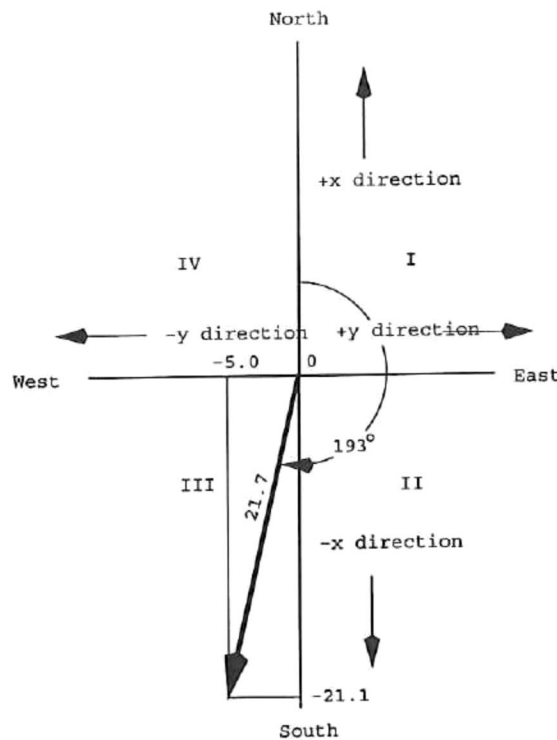
where  $x = s \cos(a)$  and  $y = s \sin(a)$

For example, if the wind speed is 21.7 mph and the wind direction is 193°, which is in quadrant III, then both the x and y velocities are negative.

The mathematics are:

$$x = 21.7 * \cos(193) = 21.7 * -0.97 = -21.1 \text{ mph}$$

$$y = 21.7 * \sin(193) = 21.7 * -0.23 = -5.0 \text{ mph}$$



**Specifications**

|   |  |
|---|--|
| <i>Type</i>                             | Ultrasonic 100 KHz. Fully compensated for temperature, humidity, and altitude.   |
| <i>Mean time between failure (MTBF)</i> | 26 years calculated per the standard assumptions of MIL-HDBK-217, Revision E.  |
| <i>Range</i>                            | Operating: 0 to 144 miles per hour (0 to 65 meters per second — 125 knots)<br>Survival: 0 to 180 miles per hour (0 to 81 meters per second — 156 knots)  |
| <i>Response characteristics</i>         | Maximum reading rate: 1 per second<br>Sonic measurement time: 0.2 second<br>Signal processing time: 0.15 second<br>Response time: 0.35 second  |
| <i>Accuracy</i>                         | Wind speed:<br>±0.3 miles per hour (0.135 meters/second — 0.26 knots) or ±3% of reading, whichever is greater, for readings up to 110 miles per hour (49.5 meters/second — 95.52 knots)<br>±5% of reading for readings of 110 miles per hour or greater<br><br>Wind direction: ±2 degrees  |
| <i>Resolution</i>                       | Wind speed: 0.1 miles per hour (0.1 Km/hour — 0.1 meters/second — 0.1 knots)<br><br>Wind direction: 1 degree   |
| <i>Power</i>                            | 10 to 15v dc<br><br>Operating: 12 milliamperes (analog)<br>Quiescent (standby): 200 µAmp typical (SDI-12)<br>(See Table 1.1 on page 13.)<br><br>Heater (Models 425AH): 36v dc ± 10%, 0.7 Amp<br>Heater (Models 425AHW): 36v dc ± 2%, 0.7 Amp   |
| <i>Heater</i>                           | (Models 425AH and 425AHW only)<br><br>Thermostatically controlled in the transducer heads prevent freezing rain or snow build up.  |
| <i>Heater diagnostics</i>               | (Model 425AHW only)<br><br>1. Measures incoming heater supply voltage and tests against upper and lower limits.<br>2. Measures heater current to compute heater resistance. If any of the three heaters have failed, the test fails.<br>3. Measures received signal. If too small, it indicates that either the sensor failed or there is an obstruction in the ultrasonic path, such as a windblown plastic bag wrapped around a transducer head. |
| <i>Available averages:</i>              | 1 to 9 seconds (RS232)<br>3 to 3,600 seconds (SDI-12)  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <i>Output</i>                | Serial Data Interface (SDI-12)<br>RS232 — on request the sensor outputs a fixed-length string of 19 characters at 2400 baud, 8 data bits, no parity, 1 stop bit<br>Analog wind speed:<br>frequency: 5 Hz/mile per hour (0 to 625 Hz at 0 to 125 mph)<br>voltage: 8.0 mV/mile per hour (0 to 1.0 volt at 0 to 125 mph)<br>Analog wind direction: simulated potentiometer (0 to $V_{ref}$ at 0 to 359°)<br>(reference voltage: 1.0 to 4.0v dc, for 5.0v reference an additional -2° error occurs for angles greater than 291°) |
| <i>Delay distance</i>        | Virtually zero since there are no mechanical parts to be accelerated   |
| <i>Starting threshold</i>    | Virtually zero   |
| <i>Dead band</i>             | Wind direction: none   |
| <i>Operating temperature</i> | Model 425A: -40° C to +50° C<br>Model 425AH: -50° C to +50° C  |
| <i>Dimensions</i>            | 11 inches wide x 9.5 inches deep x 21 inches high<br>(27.94 cm wide x 24.3 cm deep x 53.34 cm high)  |
| <i>Weight</i>                | 25 oz. (0.7 Kgrams)  |

**MODEL 083D  
RELATIVE HUMIDITY/TEMPERATURE SENSOR**

**OPERATION MANUAL**



**Met One  
Instruments**

1600 Washington Blvd.  
Grants Pass, Oregon 97526  
Telephone 541-471-7111  
Facsimile 541-471-7116

Regional Sales & Service  
3206 Main St., Suite 106  
Rowlett, Texas 75088  
Telephone 972-412-4715  
Facsimile 972-412-4716

083D RELATIVE HUMIDITY/TEMPERATURE SENSOR  
OPERATION MANUAL

1.0 GENERAL INFORMATION

1.1 The 083D Sensor is an extremely accurate and sensitive relative humidity sensor which responds to the full range of 0-100% humidity. Response is linear with small hysteresis and negligible temperature dependence. The sensor is designed to be housed in a radiation shield when used outdoors. Certain models also contain a high-accuracy linearized air temperature sensor, permitting simultaneous measurement of relative humidity and temperature.

1.2 The 083D Sensor model number describes the sensor options as follows:

083D - A - B

X is the temperature option:

- 0 = no temperature sensor
- 1 = -50 to +50°C temperature sensor

Other temperature options are available.

Y is the radiation shield compatibility option:

| <u>-Y</u> | <u>Radiation Shield</u> | <u>Signal Cable</u>                  |
|-----------|-------------------------|--------------------------------------|
| - 1       | 071                     | 1873 -XX (XX = cable length in feet) |
| - 6       | 076                     | 2144 -XX                             |
| - 6       | 077                     | 2408 -XX                             |
| - 35      | 073B                    | 2348 -XX                             |
| - 35      | 075B                    | 2348 -XX                             |
| - 35      | 5980                    | 2348 -XX                             |

1.3 The Sensor Cable is vinyl-jacketed and shielded. Cable length is given in feet on each cable part number. The cable part number depends on which radiation shield the sensor is mounted in. The 077 Radiation Shield has a screw type terminal strip to accept wire leads from the 2408 cable. All other Radiation Shields and cables have Mil Spec screw-on or twist-on cable connectors.

The 083D-X-6 sensor mounts in either a 076B Radiation Shield, with a 2144-XX signal cable or a 077 Radiation Shield with a 2408-XX signal cable.

The 083D-X-35 mounts in a 073B, 075B, or 5980 Radiation Shield with a 2348-XX signal cable.

Table 1.1  
Model 083D Relative Humidity Sensor Specifications

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Sensing Element         | Thin-film capacitor                                    |
| Range                   | 0-100% RH  |
| Temperature Range       | -20°C to +60°C   |
| Response Time           | 15 seconds at 20°C<br>90% of final RH value            |
| Accuracy                | Better than $\pm 2\%$ RH between 10%<br>RH and 100% RH |
| Hysteresis              | For 0% to 100% to 0% excursion<br>less than $\pm 1\%$  |
| Temperature Coefficient | $\pm 0.04\%$ per 1°C                                   |
| Output                  | 0 - 1V full scale (standard)                           |
| Input Power             | 12V DC $\pm$ 2V, 12 ma                                 |

Table 1.2  
Model 083D-1 RH/Temp Sensor Specifications

|               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| Range         | -50° to +50°C (standard range) |
| Accuracy      | $\pm 0.10^\circ\text{C}$       |
| Time Constant | 10 sec.                        |

## 2.0 INSTALLATION

- 2.1 If sensor comes mounted in a radiation shield, refer to radiation shield manual section for mounting details. Sensors not furnished in a radiation shield should be mounted in a representative location having good air flow and shaded from sunlight or other heat radiation sources that would affect measurement of relative humidity or temperature.

Sensor Model 083-1-x

| <u>Tc</u><br>°C | <u>Rt</u><br>kΩ | <u>Tc</u><br>°C | <u>Rt</u><br>kΩ | <u>Tc</u><br>°C | <u>Rt</u><br>kΩ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| -50             | 158.181         | -14             | 47.173          | 19              | 21.908          |
| -49             | 150.561         | -13             | 45.997          | 20              | 21.423          |
| -48             | 143.555         | -12             | 44.861          | 21              | 20.949          |
| -47             | 137.093         | -11             | 43.761          | 22              | 20.484          |
| -46             | 131.114         | -10             | 42.696          | 23              | 20.029          |
| -45             | 125.564         | -9              | 41.665          | 24              | 19.583          |
| -44             | 120.400         | -8              | 40.665          | 25              | 19.147          |
| -43             | 115.583         | -7              | 39.696          | 26              | 18.719          |
| -42             | 111.079         | -6              | 38.755          | 27              | 18.300          |
| -41             | 106.858         | -5              | 37.843          | 28              | 17.899          |
| -40             | 102.895         | -4              | 36.957          | 29              | 17.147          |
| -39             | 99.166          | -3              | 36.097          | 30              | 17.092          |
| -38             | 95.651          | -2              | 35.260          | 31              | 16.705          |
| -37             | 92.333          | -1              | 34.447          | 32              | 16.325          |
| -36             | 89.196          | 0               | 33.657          | 33              | 15.952          |
| -35             | 86.224          | 1               | 32.888          | 34              | 15.586          |
| -34             | 83.406          | 2               | 32.139          | 35              | 15.227          |
| -33             | 80.729          | 3               | 31.410          | 36              | 14.875          |
| -32             | 78.183          | 4               | 30.700          | 37              | 14.529          |
| -31             | 75.760          | 5               | 30.009          | 38              | 14.190          |
| -30             | 73.449          | 6               | 29.335          | 39              | 13.856          |
| -29             | 71.245          | 7               | 28.677          | 40              | 13.528          |
| -28             | 69.138          | 8               | 28.037          | 41              | 13.206          |
| -27             | 67.124          | 9               | 27.411          | 42              | 12.890          |
| -26             | 65.195          | 10              | 26.801          | 43              | 12.579          |
| -22             | 58.242          | 11              | 26.206          | 44              | 12.274          |
| -21             | 56.671          | 12              | 25.624          | 45              | 11.974          |
| -20             | 55.160          | 13              | 25.056          | 46              | 11.678          |
| -19             | 53.705          | 14              | 24.501          | 47              | 11.388          |
| -18             | 52.303          | 15              | 23.959          | 48              | 11.102          |
| -17             | 50.952          | 16              | 23.429          | 49              | 10.822          |
| -16             | 49.648          | 17              | 22.911          | 50              | 10.545          |
| -15             | 48.389          | 18              | 22.404          |                 |                 |

Sensor Range = -50 to +50°C (-58 to +122°F)

Conversion Formulas:

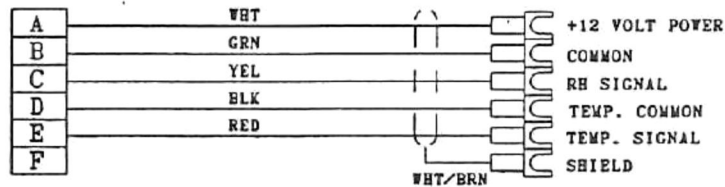
$$T_c = (((R_t - 1) + (23100 - 1))^{-1} - 13698.3) / -129.163$$

$$R_t = ((((-129.163 T_c) + 13698.3)^{-1} - 1) - 23100 - 1)^{-1}$$

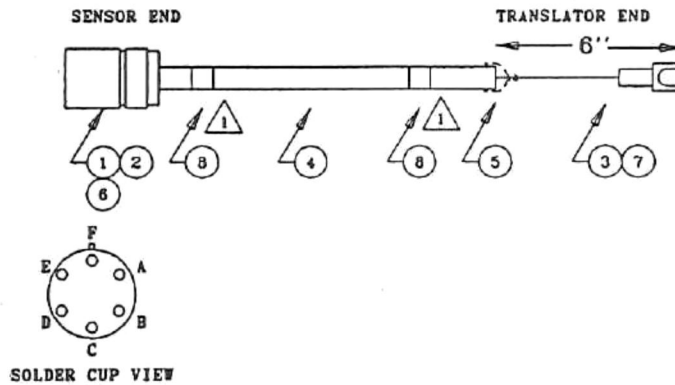
Where: T<sub>c</sub> = Temperature in °C

R<sub>t</sub> = Sensor Resistance in Ohms (Ω)

| REVISIONS |                       |         |          |
|-----------|-----------------------|---------|----------|
| REV       | DESCRIPTION           | DATE    | APPROVED |
| C         | REDRAWN PER E.O. 1131 | 9/11/91 | DH       |



| ITEM | PART NO. | DESCRIPTION                  | QTY |
|------|----------|------------------------------|-----|
| 1    | 500391   | CONNECTOR, 6 PIN, FEMALE     | 1   |
| 2    | 480508   | CLAMP                        | 1   |
| 3    | 800193   | LUG, SPADE, #6               | 6   |
| 4    | 400014   | CABLE, 5 COND., SHIELDED     | A/R |
| 5    | 960050   | SLEEVING, 1/4", SHRINK       | A/R |
| 6    | 960075   | SLEEVING, 1/8", SHRINK       | A/R |
| 7    | 980510   | WIRE, 22 AWG, WHT/BRN        | 6"  |
| 8    | 960060   | SLEEVING, 1/4", CLEAR SHRINK | A/R |
| 9    |          |                              |     |
| 10   |          |                              |     |



△ IDENTIFY CABLE 18" FROM EACH END.  
DASH NUMBER = LENGTH IN FEET.

|                                     |             |         |     |
|-------------------------------------|-------------|---------|-----|
| MET ONE INSTRUMENTS                 |             |         |     |
| ASSY, CABLE, 083 RH AND TEMPERATURE |             |         |     |
| SIZE                                | FSCH NO.    | DWG NO. | REV |
|                                     |             | 1873    | C   |
| SCALE                               | SEET 1 OF 1 |         |     |



Met One  
Instruments

1600 Washington Blvd.  
Grants Pass, Oregon 97526  
Telephone 541-471-7111  
Facsimile 541-471-7116

Regional Sales & Service  
3206 Main St., Suite 106  
Rowlett, Texas 75088  
Telephone 972-412-4715  
Facsimile 972-412-4716

Test Certification

Model SENSOR RH 083D-1-35 Serial No. A3752  
 Job Number \_\_\_\_\_ Customer \_\_\_\_\_  
 Test Date 06/27/2002 Recalibration date 06/27/2002 Tested by Mark Bailey  
 Room Temperature 23.5 °C Room Relative Humidity 51.9 %

TEST STANDARDS

| Standards           | Model           | SN         | Cal Date |
|---------------------|-----------------|------------|----------|
| DMM                 | HP34688         | 2231A01057 | 12/27/00 |
| TEMPERATURE         | FISHER T-200    | 746835     | 7/31/00  |
| RELATIVE HUMIDITY   | V AISALA HMP-35 | 10025      | 4/14/01  |
| BAROMETRIC PRESSURE | M.O.I. 090B-STD | H6507      | 2/28/01  |
| FREQUENCY           | PROTEK B-2000A  | U20003371  | 3/6/01   |

RELATIVE HUMIDITY CALIBRATION *PARA ESTE SENSOR EN PARTICULAR*

| RELATIVE HUMIDITY CALIBRATOR | EXPECTED RH  | MEASURED RH |         |
|------------------------------|--------------|-------------|---------|
| DIGILOG INSTRUMENTS          | 12.2 PERCENT | 10.7        | PERCENT |
| MODEL VAPORTRON H-100L       | 44.0 PERCENT | 44.0        | PERCENT |
| SER # 9726-R47217            | 75.5 PERCENT | 75.4        | PERCENT |
| ROOM AIR REL HUMIDITY        | 51.9 PERCENT | 52.1        | PERCENT |

Output measured at room temperature 20761 Ohms = 21.40°C  
 Ambient air temperature measured 108.337 Ohms = 21.43°C

The Standards used for calibration have accuracies equal to or greater than the instruments tested. These standards are on record and traceable to NIST to the extent allowed by the institutes calibration facility. Unless other wise stated heron, all instruments are calibrated to meet manufacture's published specifications. The calibration system complies with MIL-STD-45662A.



## Warranty

Products manufactured by Met One Instruments, Inc. are warranted against defects in material and workmanship for a period of one (1) year from the date of shipment from the factory. Offered products not manufactured by Met One Instruments, Inc. will be warranted to the extent and in the manner warranted by the manufacturer of that product.

Any product found to be defective during the warranty period will, at the option of Met One Instruments, Inc., be replaced or repaired. In no case shall the liability of Met One Instruments, Inc. exceed the purchase price of the product.

This warranty may not apply to products that have been subject to misuse, negligence, accident, acts of nature or that have been altered or modified other than by Met One Instruments, Inc. Consumable items such as bearings and batteries are not covered under this warranty.

Other than the warranty set forth herein, there shall be no other warranties, whether expressed, implied or statutory, including warranties of fitness or merchantability.

## Service

Any product being returned to Met One Instruments, Inc. for service, repair or calibration must be assigned a return authorization (RA) number. Please call (541) 471-7111 or (972) 412-4715 for an RA number and shipping instructions.

Products manufactured by Met One Instruments, Inc. that are returned for service, repair or calibration are warranted against defects in material and workmanship for ninety(90) days from date of shipment, under the same conditions as stated above.

**MODEL 32500  
ELECTRONIC COMPASS**



**NOVEMBER 2000**

**MANUAL PN 32500-90**

**R. M. YOUNG COMP.**

2801 AERO PARK DRIVE, TRAVERSE CITY, MI  
TEL: (231) 946-3980 FAX: (231)

MI 49686, USA  
72



## 1.0 INTRODUCTION

The Model 32500 ELECTRONIC COMPASS measures magnetic heading and incorporates auxiliary inputs to measure signals from YOUNG sensors. Wind speed and direction sensors, temperature and humidity sensors, barometers and other meteorological instruments can connect directly to 32500 inputs. Two specialized wind sensor inputs and four general purpose voltage inputs convert measurements to high-resolution numerical values. Wind direction input may be combined with compass readings to obtain true direction.

Measurements are converted to RS-232 or RS-485 serial formats or calibrated voltage outputs. Both continuous and polled outputs are available. When polled, up to 16 units can be networked together. For marine applications the 32500 produces standard NMEA output sentences. Voltage output for wind speed and direction is available when the 32500 is connected to a YOUNG wind sensor.

## 1.1 INSTALLATION

The 32500 is supplied in a weather-resistant enclosure with a mounting adapter that fits 1 inch IPS pipe (1.34 inch nominal diameter). When used with the YOUNG Wind Monitor, the mounting adapter engages the Wind Monitor orientation notch. Refer to the WIRING DIAGRAM for electrical connection details and jumper settings. Place jumpers to select desired output format. Once installed, the compass must be calibrated to correct for local magnetic distortions caused by nearby structures. To calibrate the compass, follow the procedure outlined below.

## 1.2 SETUP

Operating mode may be set with simple jumpers or customized with software commands via serial connection. Settings are retained when power is removed.

### 1.2.1 COMPASS CALIBRATION

1. Remove cover from compass. Press and hold CALIBRATE button for 5 seconds. The CALIBRATE indicator will begin to blink. Refer to WIRING DIAGRAM to locate CALIBRATE button.
2. Slowly rotate vehicle on which compass is mounted. Steer vehicle in a tight circle and make TWO complete revolutions. Each revolution should take at least one minute. THE COMPASS MUST REMAIN LEVEL DURING CALIBRATION.
3. After two complete revolutions, press and hold CALIBRATE button until indicator stops blinking. Calibration is now complete. Calibration parameters are retained when power is removed.
4. Replace cover. Use this procedure to recalibrate compass at any time.

### 1.2.2 AUXILIARY INPUTS

The 32500 has two special inputs for wind speed and direction and four auxiliary voltage input channels for connection to other meteorological instruments like temperature and humidity sensors, and barometers. Measurements from the auxiliary inputs channels are converted to numerical values and sent in the selected serial output string. Refer to the WIRING DIAGRAM and SPECIFICATIONS sections for details.

## 1.2.3 JUMPERS

**W1 JUMPERS** The two W1 jumpers determine serial output format. The two jumper positions are designated A and B. Four possible jumper configurations and associated output format are listed below. The first three configurations set the 32500 output to a popular format without further intervention. The last configuration, SOFTWARE MODE, allows output format and other operating parameters to be set via a software Command menu. Refer to the WIRING DIAGRAM for jumper locations. Refer to the SERIAL FORMAT DIAGRAM for details regarding serial output format. The SERIAL COMMUNICATION section provides details about SOFTWARE MODE.

### JUMPERS SERIAL OUTPUT FORMAT

|       |   |
|-------|---|
| NONE  | WS WD1 V1 V2 V3 V4 COMPASS WD2            |
| A     | RMYT for connection to YOUNG Wind Tracker |
| B     | NMEA sentences (MWV-relative & XDR)       |
| A & B | SOFTWARE MODE                             |

The first 3 format selections override any software commands given in the above SOFTWARE MODE. See page 4 for detailed SERIAL OUTPUT FORMAT information.

**W2 JUMPERS** The W2 jumper pattern sets the output connection type. Only one connection type may be used at one time. Refer to the WIRING DIAGRAM drawing for jumper location and connection details.

### JUMPERS OUTPUT TYPE

|      |   |
|------|---|
| VOUT | Calibrated output for wind speed and direction.<br>0-5000mV = 0-100 m/s<br>0-5000mV = 0-360 degrees |
| 232  | RS-232 full duplex serial input/output  |
| 485  | RS-485 half duplex serial input/output  |

## 1.2.4 SERIAL COMMUNICATION

Both RS-232 and RS-485 connections are available. The RS-232 type is simplest to use and features full-duplex operation. The RS-485 option is a good choice in electrically noisy environments, in cases where the units must be networked, or in NMEA marine applications where the differential RS-485 signals are required.

The RS-485 connection is half-duplex meaning the 32500 cannot transmit and receive at the same time. Internal hardware and software automatically manage the transition from transmit to receive as needed. However, when using RS-485, be sure that any externally connected devices are also capable of managing the transition. YOUNG RS-485/232 converter modules incorporate this capability.

Three of the W1 jumper configurations set predetermined serial output formats without further setup or user intervention. When W1 jumpers are set for SOFTWARE MODE, operating parameters may be set via the 32500 Command menu using a simple serial communications program such as the popular HyperTerm or ProComm.

## 1.2.5 COMMANDS

To access the Command menu, with W1 jumpers set to SOFTWARE MODE, send three ESC (ASCII 27) characters to the 32500 in quick succession via the serial connection. The 32500 replies by sending the Command menu with these options:

#### COMMANDS

- B) BAUD
- C) CALIBRATE VOLTAGE
- D) DAMPING
- F) FORMAT
- R) RATE
- S) STATUS
- X) EXIT TO OPERATE MODE

NOTE: The RATE menu item does not appear when the output format is RMYT. In that case the rate is preset.

BAUD sets the serial communications baud rate.

NOTE: Selecting output formats NMEA or RMYT via W1 jumpers or the FORMAT menu item may change the baud rate without user intervention. Also, your serial communications program must always be set to the same baud rate as the 32500 or it will be unable to communicate.

#### BAUD RATE

- A) 1200
- B) 2400
- C) 4800
- D) 9600
- X) EXIT

CALIBRATE VOLTAGE is used to calibrate voltage inputs and external devices connected to the voltage outputs. This command should be used only by qualified technicians.

To calibrate the voltage inputs, apply full scale reference voltage to an input and select the menu item associated with that input. The standard full scale input for VIN1 and VIN2 is 1.000 VDC. For VIN3 and VIN4 the full scale input is 4.000 VDC.

Whatever voltage appears on the input when the menu item is selected will be recorded internally as the full scale value and used to scale all measurements on that input channel when the 32500 is in OPERATE mode. IMPROPER CALIBRATION WILL RESULT IN ERRONEOUS MEASUREMENTS.

Use menu items E and F to calibrate externally connected devices such as data loggers and chart recorders. To use items E and F, jumper W2 must be set for voltage outputs. See W2 JUMPERS for additional details.

OPTIONS A THRU D FOR  
QUALIFIED TECHNICIAN ONLY!  
IMPROPER USE CAUSES ERRONEOUS  
CALIBRATION DATA TO BE STORED.

#### CALIBRATE VOLTAGE

- A) VIN1 FS
- B) VIN2 FS
- C) VIN3 FS
- D) VIN4 FS
- E) VOUT ZERO
- F) VOUT FS
- X) EXIT

DAMPING sets the amount of averaging to use on compass measurements. When DAMPING is set to NONE or FAST, compass readings change quickly. When set to SLOW, the readings change more gradually and are often easier to interpret.

#### COMPASS DAMPING

- N) NONE
- F) FAST
- S) SLOW
- X) EXIT

FORMAT selects the serial output format. Formats RMYT and NMEA will automatically change the baud rate. See the SERIAL FORMAT DIAGRAM for details.

#### OUTPUT FORMAT

- A) DIAGNOSTIC
- B) RMYT
- C) RMY POLLED
- D) NMEA (KNOTS DEGREES (RELATIVE))
- E) NMEA (KNOTS DEGREES (RELATIVE)) TEMP RH BARO
- F) SPEED DIR V1 V2 V3 V4
- G) SPEED DIR (CORRECTED) V1 V2 V3 V4 COMPASS DIR (UNCORRECTED)
- H) NMEA (KNOTS DEGREES (TRUE))
- I) NMEA (KNOTS DEGREES (TRUE)) TEMP RH BARO
- X) EXIT

When RMY POLLED is selected, a prompt appears for entering a single character 'address':

ENTER SINGLE CHAR POLL ADDR [0-9, A-Z, a-z] : a

This is the address character that must be used when polling the 32500 for data. By using unique addresses, up to 16 units may be networked on the same RS-485 connections.

RATE sets the output rate. The RATE menu item does not appear when the output format is RMYT since, for that format, the output is fixed at 15 Hz. The 0.1 Hz output means that an output appears once every 10 seconds.

#### OUTPUT RATE

- A) 15 HZ
- B) 2 HZ
- C) 0.1 HZ
- X) EXIT

STATUS reports firmware version and other parameters. These values are used only by qualified technicians to assess the state of the 32500. A typical STATUS report appears below. Depending on output format, some items may be absent.

```
STATUS
YOUNG 32500 ELECTRONIC COMPASS v1.15
-----
VIN1 FS: 3716
VIN2 FS: 3715
VIN3 FS: 4094
VIN4 FS: 4095

FORMAT: RMY POLLED
POLL ADDR: a
OUTPUT RATE: 15 HZ
BAUD: 9600
OFFSET X, Y, RATIO: -251, 75, 847
COMPASS DAMPING: SLOW
WATCHDOG TIMER: ENABLED
```

### 1.2.6 POLLED MEASUREMENTS

When the serial output format is RMY POLLED, the 32500 sends data only when it receives a polling command that contains the unique address of the unit being polled. The command for polling is:

Ma!

where a = address character.

See the SERIAL FORMAT DIAGRAM for details on the data sent from the 32500 when polled.

### 1.3 MAINTENANCE

Like all quality measuring instruments, the 32500 Electronic Compass should be periodically recalibrated. The recalibration period depends on the application but once per year is typical. The unit may be sent to the factory or your distributor for recalibration. A copy of the calibration procedure is available to qualified technicians.

In order to compensate for local magnetic conditions, the compass calibration can take place only at the site where it is installed. If the installation is changed, the compass must be recalibrated for the new conditions. In addition to changing the actual installation, local conditions may also change by the introduction of iron masses or electrical machinery and thus warrant recalibration.

#### 1.4 WARRANTY

This product is warranted to be free of defects in materials and construction for a period of 12 months from date of initial purchase. Liability is limited to repair or replacement of defective item. A copy of the warranty policy may be obtained from R. M. Young Company.

#### 1.5 SPECIFICATIONS\*

##### Compass:

Resolution: 0.5 degrees  
Accuracy: ±2 degrees (rms)

##### Wind Speed Input:

Sensor Type: AC Frequency Generator  
Sensitivity: 50mV p-p minimum  
Range: 0-2000 Hz

##### Wind Direction Input:

Sensor Type: Potentiometer  
Range: 0-5000mV = 0 to 355 degrees  
Excitation: 5000mV (limited to 5 mA)

##### Voltage Inputs (Auxiliary Sensor Inputs):

VIN1 and VIN2 0-1000mV  
VIN3 and VIN4 0-5000mV

##### Voltage Outputs:

OUT1 0-5000mV 0-100 m/s wind speed  
OUT2 0-5000mV 0-360° true wind dir  
(Uses compass measurement to produce true wind direction.)

##### Serial Output:

Full duplex RS-232,  
Half duplex RS-485 (25 mS switchover)  
1200, 2400, 4800, and 9600 baud  
8 data, 1 stop, no parity

##### Operating Temperature:

-50°C to 50°C

##### Power:

11 to 30 VDC, 40 mA

##### Mounting:

1 inch IPS (1.34 inch actual diameter)

##### Size:

4.75" (12cm) H  
0.87" (7.3cm) W  
2.12" (5.3cm) D

#### CE COMPLIANCE

This product has been tested and shown to comply with European CE requirements for the EMC Directive. Please note that shielded cable must be used.

#### Declaration of Conformity

Application of Council Directives: 89/336/EEC

Standards to which Conformity is Declared:

EN 50081-1  
EN 55022 (CISPR 22 class A)  
EN 50082-1 (IEC 801-2, 3, 4)

Manufacturer's Name and Address: R. M. Young Company  
Traverse City, MI, 49686, USA

Importer's Name and Address: See Shipper or Invoice

Type of Equipment: Meteorological Instruments

Model Number / Year of Manufacture: 32400/32500/2000

I, the undersigned, hereby declare that the equipment specified conforms to the above Directives and Standards.

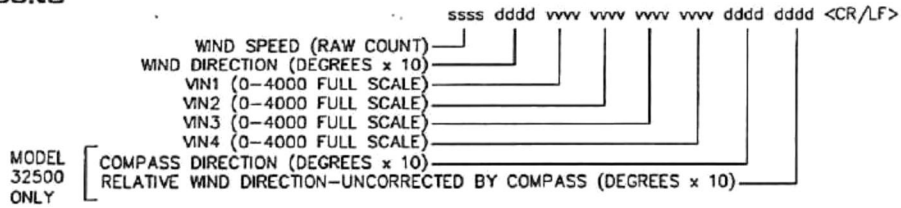
Date / Place: Traverse City, Michigan, USA September 1, 2000



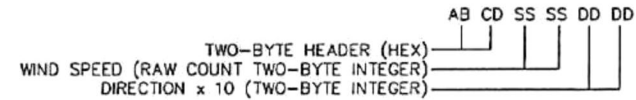
David Poinsett  
R & D Manager, R. M. Young Company



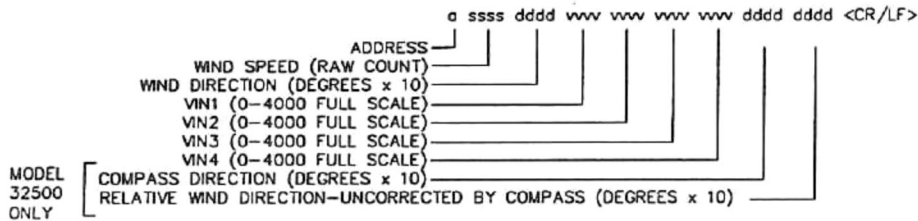
**RMY SERIAL OUTPUT**  
EACH FIELD CONSISTS OF ALPHANUMERIC ASCII TEXT.



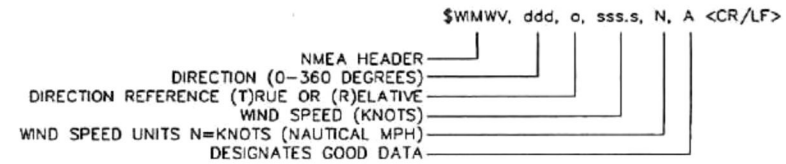
**RMYT SERIAL OUTPUT**  
SIX BYTES IN BINARY FORMAT.



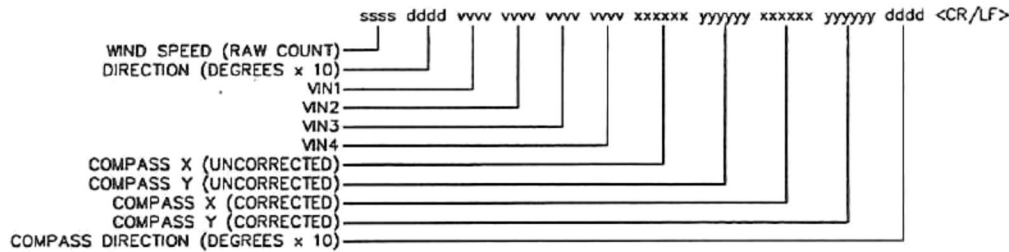
**RMY POLLED SERIAL OUTPUT**  
EACH FIELD CONSISTS OF ALPHANUMERIC ASCII TEXT.



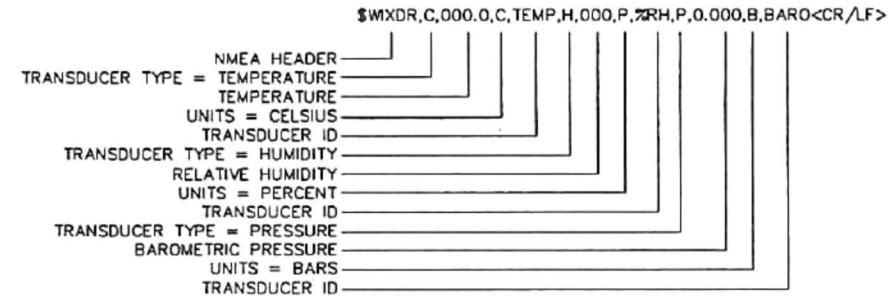
**NMEA (KNOTS DEGREES) SERIAL OUTPUT**  
EACH FIELD CONSISTS OF ALPHANUMERIC ASCII TEXT.



**DIAGNOSTIC SERIAL OUTPUT**  
EACH FIELD CONSISTS OF NUMBERS AS ASCII TEXT.



**NMEA (TEMP RH BARO) SERIAL OUTPUT**  
EACH FIELD CONSISTS OF ALPHANUMERIC ASCII TEXT.



| WIND SENSOR | M/S               | MPH               | KNOTS             | KM/HR             |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 03002 *     | M=0.3752<br>O=0.2 | M=0.8390<br>O=0.4 | M=0.7285<br>O=0.4 | M=1.3505<br>O=0.7 |
| 04101       | 0.04903           | 0.1097            | 0.09526           | 0.1765            |
| 04106       | 0.04903           | 0.1097            | 0.09526           | 0.1765            |
| 05103       | 0.04903           | 0.1097            | 0.09526           | 0.1765            |
| 05106       | 0.04903           | 0.1097            | 0.09526           | 0.1765            |
| 05305       | 0.05123           | 0.1146            | 0.09956           | 0.1844            |

PULSES FROM THE WIND SPEED SENSOR ARE ACCUMULATED OVER 0.9994 SECONDS. CIRCUITS IN THE 32400 CAUSE TWO PULSES TO BE COUNTED FOR EACH ONE RECEIVED.

THE ADJACENT CHART SUMMARIZES MULTIPLIERS USED TO CONVERT RAW PULSE COUNT VALUES IN THE SERIAL STRING TO STANDARD WIND SPEED UNITS.

FOR EXAMPLE:  
SENSOR = 05103 WIND MONITOR  
RAW PULSE COUNT IN SERIAL STRING = 323  
FOR MPH USE MULTIPLIER = 0.1097  
WIND SPEED = 323 x 0.1097 = 35.4 MPH

\* Model 03002 is a cup wheel type sensor therefore the wind speed must be calculated using a multiplier (M) and offset (O).

|  |                 |           |
|--|-----------------|-----------|
| MODEL 32400/32500  | DWG A           | PRD 07-00 |
| SERIAL OUTPUT FORMAT                                       | DWN KL          | DWG 11-00 |
| AND WIND SPEED MULTIPLIERS                                 | CHK <i>g.e.</i> | 32X00FRMT |
| R.M. YOUNG CO. TRAVERSE CITY, MI 49686 U.S.A. 231-946-3980 |                 |           |

| SERIAL FORMAT SUMMARY - JUMPER W1 |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| FORMAT                            | JUMPER POSITION |
| ASCII TEXT                        | o o A           |
|                                   | o o B           |
| RMYT                              | o o A           |
|                                   | o o             |
| NMEA                              | o o             |
|                                   | o o B           |
| SOFTWARE<br>(TECHNICIAN USE ONLY) | o o A           |
|                                   | o o B           |

| OUTPUT TYPE SUMMARY - JUMPER W2 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| OUTPUT                          | JUMPER POSITION |
| SERIAL RS485                    | o o o o 485     |
|                                 | o o o o         |
| SERIAL RS232                    | o o o o         |
|                                 | o o o o 232     |
| VOLTAGE<br>0-5000 mV            | o o o o         |
|                                 | o o o o VOUT    |

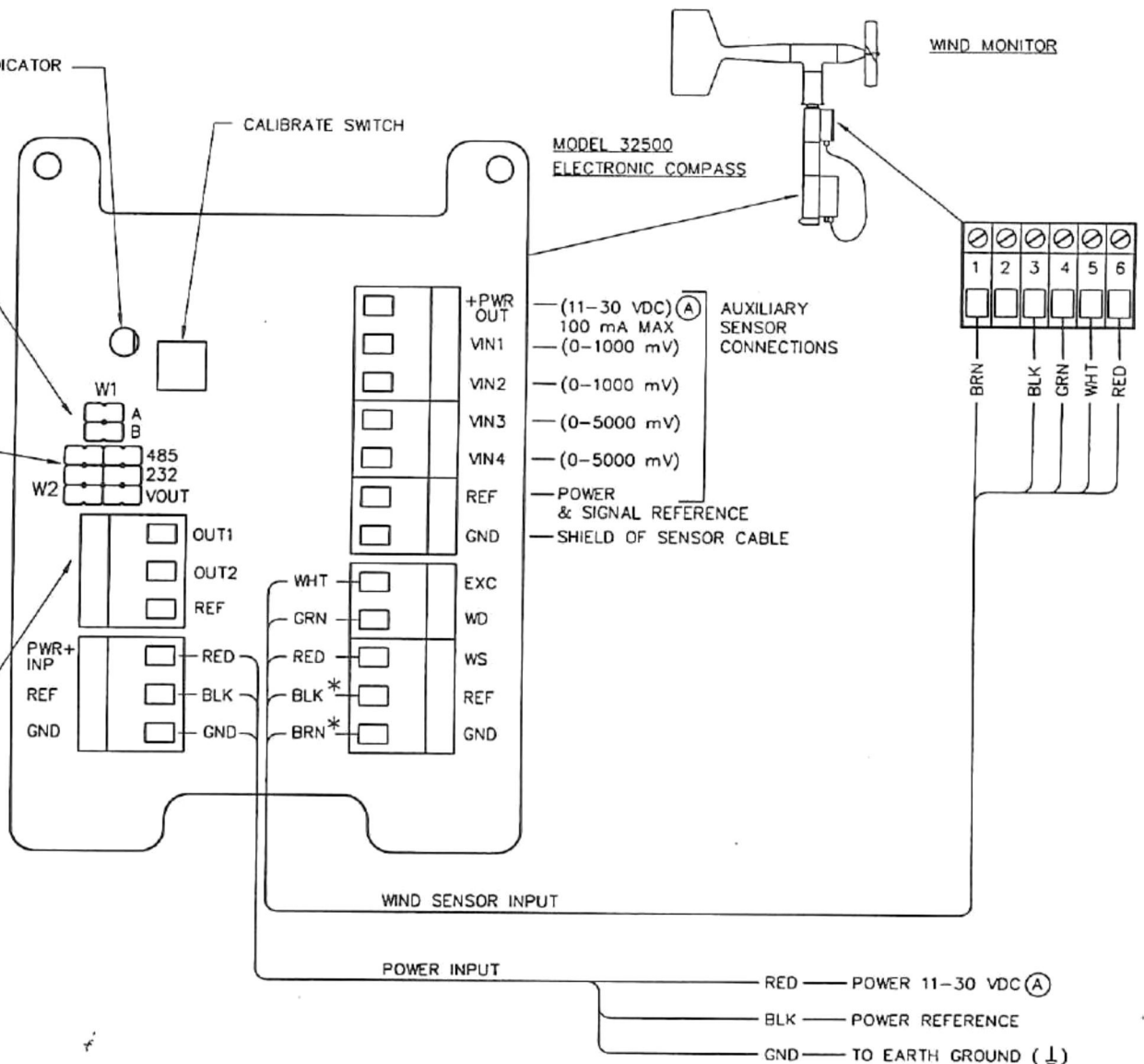
| OUTPUT TERMINAL FUNCTIONS |                         |                          |           |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| SELECTED OUTPUT           | OUT 1                   | OUT 2                    | REF       |
| RS485                     | (A)                     | (B)                      | REFERENCE |
| RS232                     | RECEIVE                 | TRANSMIT                 | REFERENCE |
| VOLTAGE<br>0-5000 mV      | WIND SPEED<br>0-100 m/s | WIND DIRECTION<br>0-360° | REFERENCE |

CALIBRATE INDICATOR

CALIBRATE SWITCH

MODEL 32500  
ELECTRONIC COMPASS

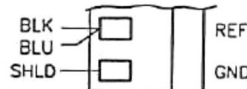
WIND MONITOR



(A) THESE VOLTAGES ARE THE SAME

\* WIRING-WIND MONITOR-MA (MARINE VERSION)

AS ABOVE WITH  
FOLLOWING EXCEPTIONS  
ON WIND SENSOR INPUT

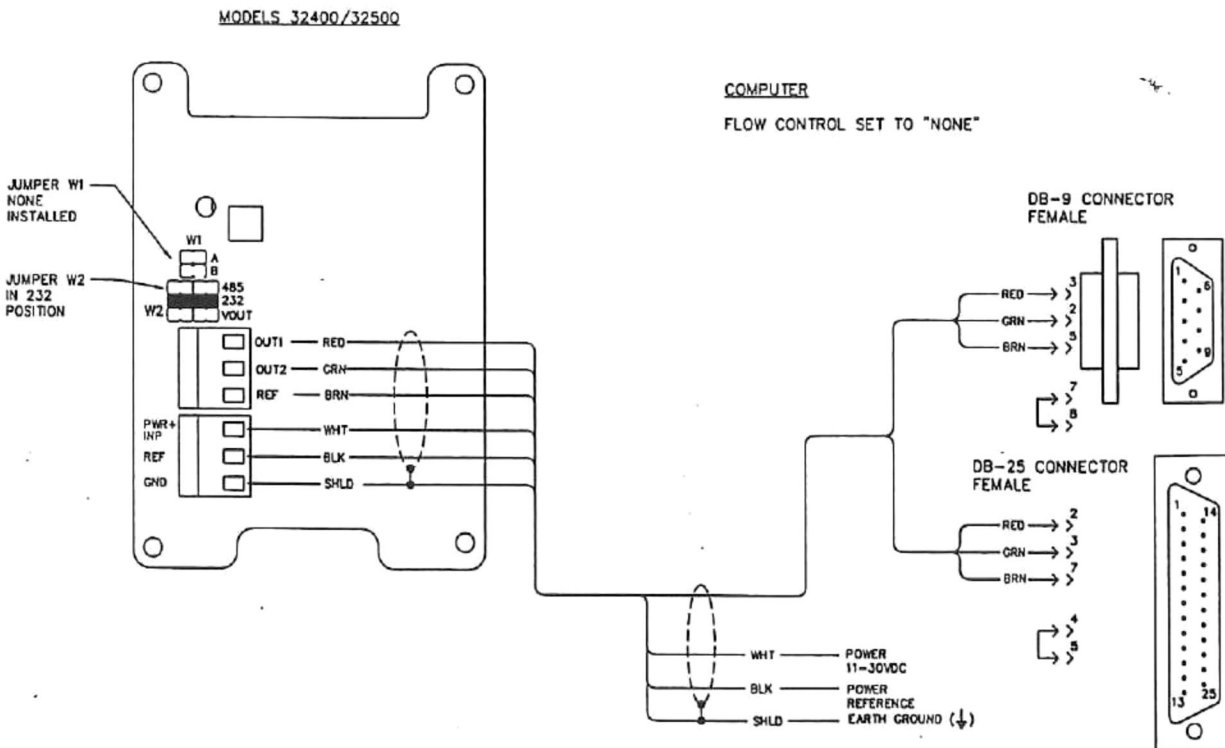
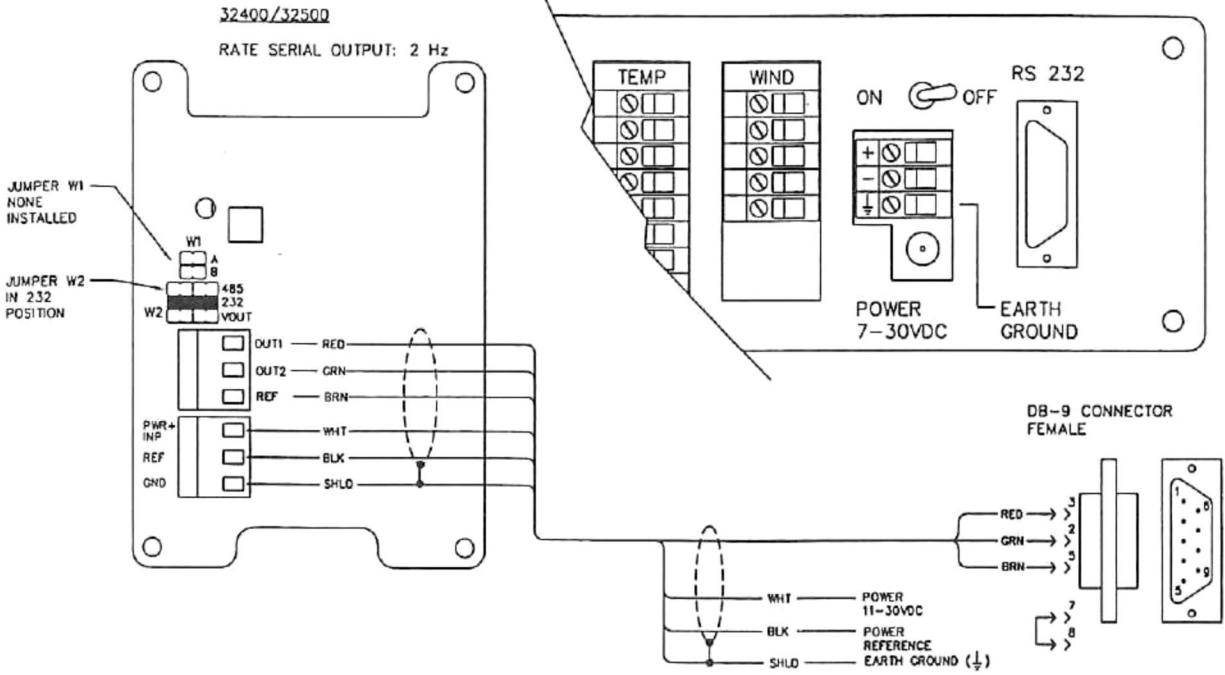


|  |          |           |
|--|----------|-----------|
| MODEL 32500  | DWG A    | PRD 07-00 |
| ELECTRONIC COMPASS   | DWN KL   | DWG 07-00 |
| WIRING DIAGRAM   | CHK Y.C. | W32500    |
| R.M. YOUNG CO. TRAVERSE CITY, MI 49686 U.S.A. 231-946-3980 |          |           |



**MODEL 26700 PROGRAMMABLE TRANSLATOR**

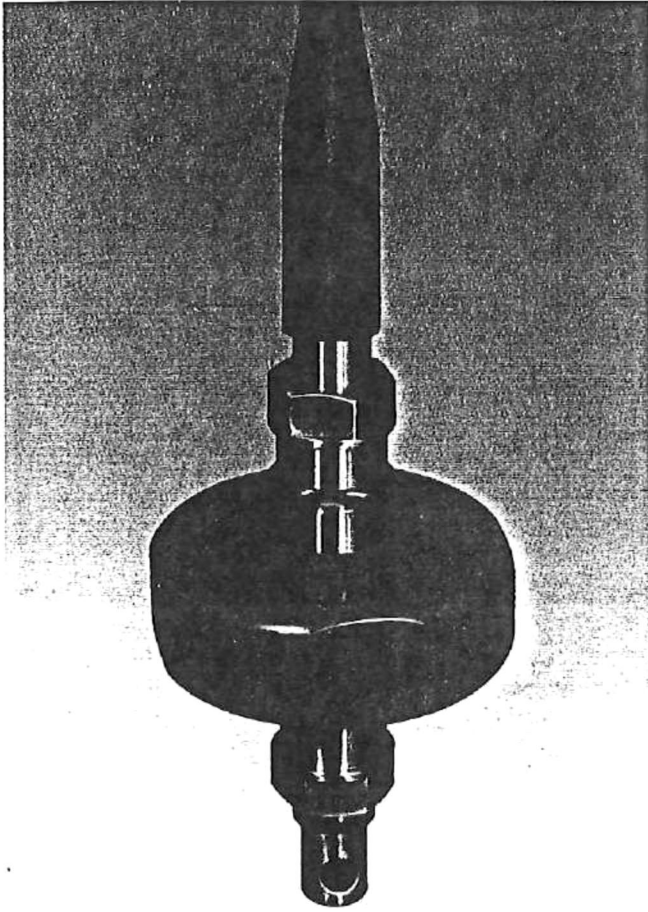
INPUT INSTRUCTION: "INP SERIAL"  
SET COMM/NUM ONLY INP: "YES"





# AANDERAA INSTRUMENTS

DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND SEA AND AIR



## DOPPLER CURRENT SENSOR 3900

*A rugged, true vector averaging sensor for measuring current speed and direction in the sea.*

**Features:**

- Rugged, Small Size
- High Accuracy
- Insensitive to fouling
- Ideal for use on buoys, quays, piers and in hand held systems.
- Function test easily carried out with Test Unit 3731

The DCS 3900 is intended for commercial as well as for research purposes. It can be used to monitor the water current in harbors, along the coast, near offshore oil platforms etc. The In-line Doppler Current Sensor DCS 3900 is a rugged and reliable sensor that offers users great flexibility to obtain accurate current measurements.

The sensor uses the Doppler Shift principle as the basis for its measurements. The sensor transmits acoustic pulses into the surrounding water. As the sound propagates, small particles or air bubbles in the water reflect a portion of the energy.

The transducers pick up the back-scattered energy from the area 0.4 to 2.2 meters from the sensor. This energy is analyzed to find any frequency change (known as the Doppler Shift). An upward shift signifies that the particles are moving towards the sensor and vice-verse.

After reading the internal compass circuit (Hall effect compass), the sensor is able to determine the current speed

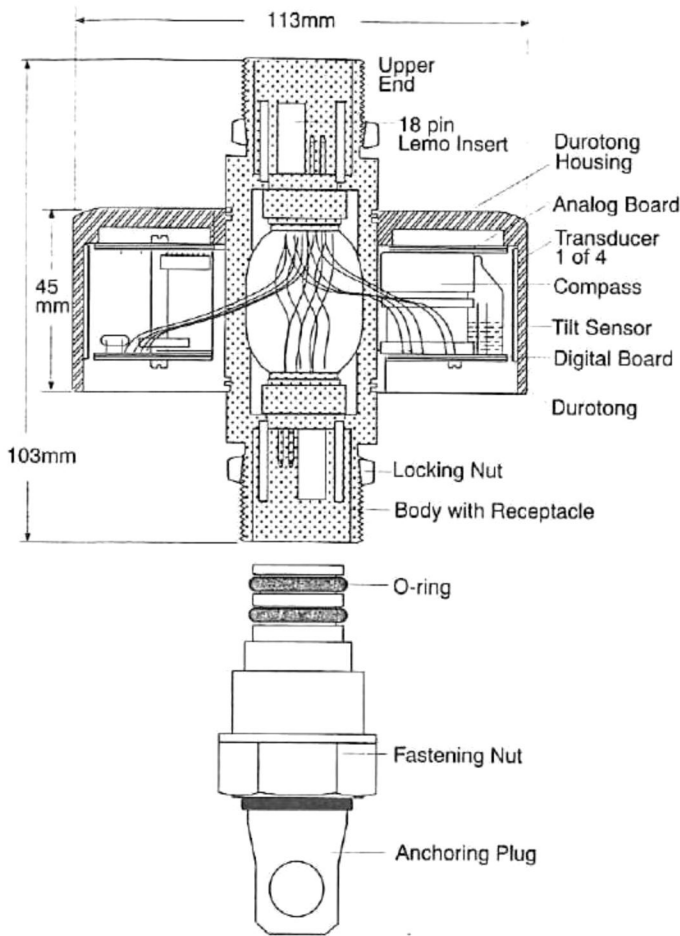
and direction. The sensor will ping towards the water current. The current measurements are compensated for tilt by the use of an electrolytic tilt sensor.

The measurement accuracy is proportional to the square root of the number of pings in a measuring interval. The sensor automatically chooses the ping rate after the first measuring interval. If the previous interval lasted less than 2.5 minutes, the ping rate will be set to 10 pings per second. If the previous interval lasted more than 2.5 minutes, the ping rate will be set to 1 ping per second. The current consumption will be greater with increasing ping rates and decreasing intervals.

The DCS 3900 output data is in the Aanderaa SR10 standard format.

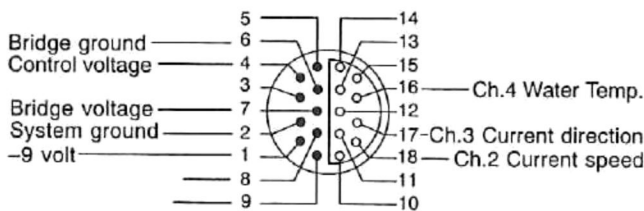
The sensor will output Current Speed, Current Direction and Water Temperature where Current Speed and Direction are averaged values. The temperature is measured using a temperature dependent crystal-oscillator-circuit.

# SPECIFICATIONS FOR DOPPLER CURRENT SENSOR 3900



## PIN CONFIGURATION (Upper and Lower Receptacle)

External view. Pin= ●; Bushing=○



All connections wired through from upper to lower receptacle.

\*) For the 0-500cm/s range the resolution is reduced to 0.5 cm/s and the static precision is reduced to 0.55cm/s.

## CALIBRATION

Serial No: **60**.....

The sensor has nominal calibration coefficients for temperature, current speed and direction. To convert the raw data readings to engineering units use the formula:  $R = A + BN + CN^2 + DN^3$ , where  $R_{Speed} = \text{cm/s}$ ,  $R_{Dir} = \text{Deg. Mag}$ ,  $R_{Temp} = \text{Deg. C}$ .

The nominal coefficients are:

For Current speed, range 0-300 cm/s P/N 3900

|   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
| A | 0         | C | 0 |
| B | 2.933E-01 | D | 0 |

For Current speed, range 0-500 cm/s. P/N 3900A

|   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
| A | 0         | C | 0 |
| B | 4.889E-01 | D | 0 |

## Current Speed:

(Vector averaged, SR10 output)

Available Ranges:

P/N 3900 0-300 cm/s, standard  
P/N 3900A 0-500 cm/s, on request \*)

Resolution: 0.1% of FSR

Accuracy:

Absolute: ±0.15 cm/s  
Relative: ± 1% of reading  
Statistic precision: 0.5 cm/s (Standard deviation)

## Current Direction:

(Vector averaged)

Range: 0-360° magnetic

Resolution: 0.35°

Accuracy: ±5° for 0-15° tilt  
±7.5° for 15-35° tilt

## Temperature:

Range: -10 to 43°C

Resolution: 0.05°C

Accuracy: ±0.08°C

Acoustic Frequency: 2MHz

Acoustic Power: 25W in 1ms pulses

Beam Angle: ±1° (Main lobe)

Installation distance: Minimum 0.5m from the bottom  
Minimum 0.75m from the surface

Current consumption: 1 ping per second: 5mA  
10 pings per second: 50mA

Supply Voltage: 7-14VDC

Operating Temp.: -10 to +50°C

Depth Capability: 500 meters

Electrical Connection: 18-pin Strain-proof Plug

Breaking Load: 1500kg

Material and Finish: Durotong, titanium

Net. Weight: 800 grams

Accessories: Interconnecting Cable 3810,  
Cable to Reading Unit  
3863/3809/3852  
Test Unit 3731

Warranty:

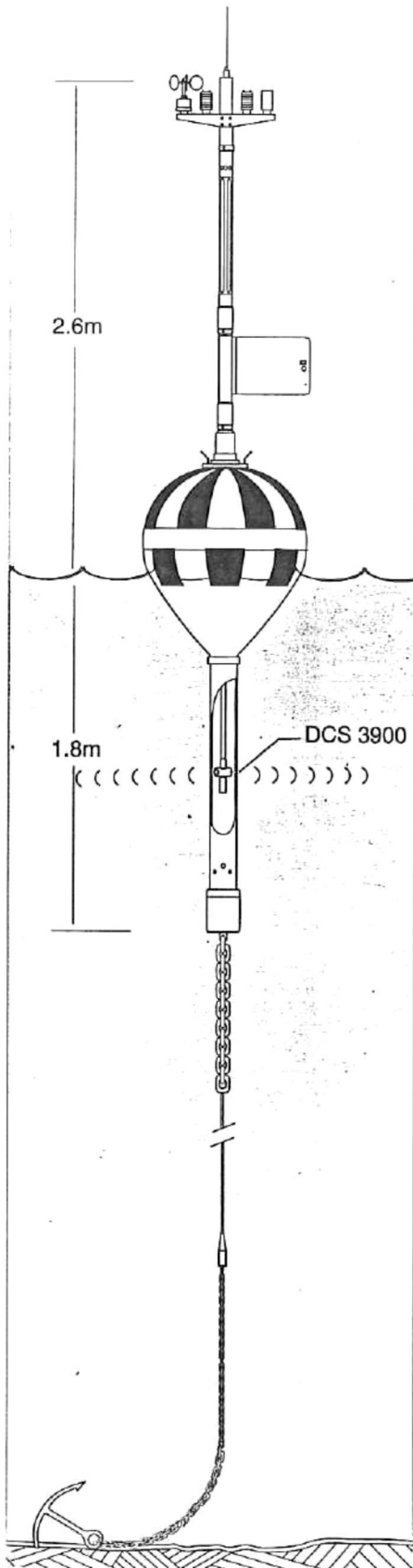
Two years against faulty materials and workmanship

*Our standard warranty (2 years) is not applicable in cases where breakage or malfunction occur to the subsurface cable during installation or when caused by excessive wear or other external forces.*

**COMMON APPLICATIONS FOR THE DOPPLER CURRENT SENSOR 3900**

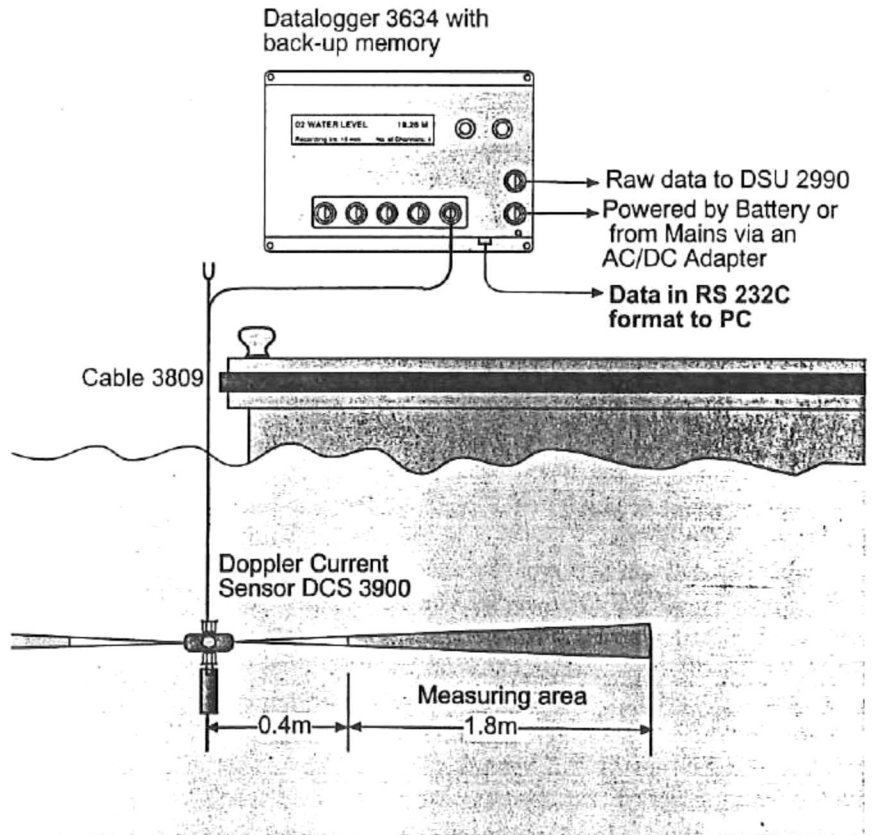
*In many cases where current measurements are needed, the solid-state Doppler Current Sensor 3900 is superior to other current sensors.*

Due to its small size and built in compass, the sensor is easy to install and the acoustic principle makes it almost insensitive to fouling. The DCS 3900 normally operates at a ping rate of 1 ping per second. To increase the accuracy at lower recording interval, the DCS 3900 will automatically increase the ping rate to 10 pings per second when the recording interval is less than 2.5 minutes. Some practical ways to use the sensor are shown on this and next page.



**A small measuring System with DCS 3900 and Datalogger 3634.**

The submerged Doppler Current Sensor is connected to the Datalogger 3634 via Cable 3809. The cable can be made in different lengths and the system is powered either by battery or via an AC/DC Adapter from mains. The sensor readings, current speed, current direction and water temperature are displayed on an LCD in engineering units. The signals are available as raw data in the standard Aanderaa PDC-4 code for storage in the Data Storage Unit DSU 2990. The same signals are also available in RS 232C format for input to a PC.

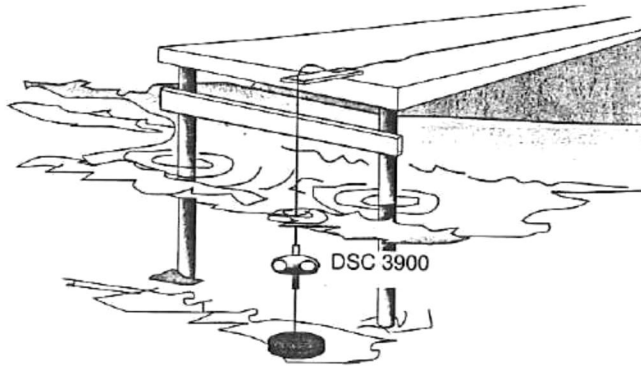


**DCS 3900 on a BUOY**

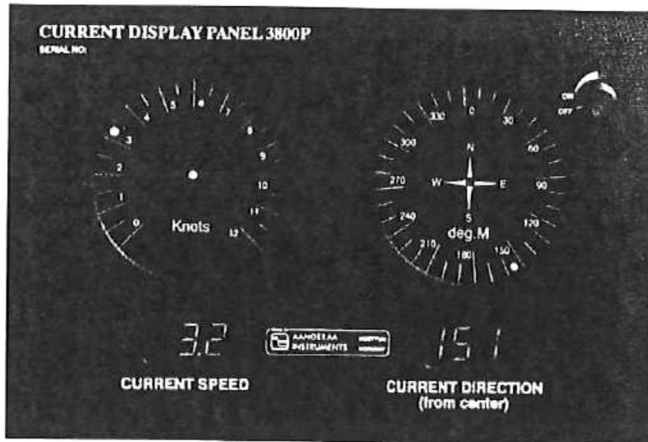
On the Coastal Monitoring Buoy 3280 the DCS is placed inside a central PVC tube at 1m depth. This gives a symmetrical installation with minimal interference from the buoy structure. The buoy can be equipped with up to three Doppler Current Sensors and also sensors for wave and atmospheric parameters. Data can be relayed ashore by VHF radio where the data is displayed or conveyed further by telephone. See Data Sheet D 299 for further information

### DCS installed on a Pier or Jetty

Many piers or quays are often subject to strong and varied currents, which can be particularly risky to ships if they are unaware of them. The cost and inconvenience of an accident far outweighs the cost of a DCS with real-time display of data.



The DCS can be moored under a pier with an anchor, see above. The cable from the sensor should be fastened to the pier and kept tight thus keeping the sensor horizontal and in a fixed position. A free horizontal distance of 2 meters from the DCS is required. A cable, which can be up to 500m in length, connects the sensor to Datalogger 3660 or 3634. For real-time display of data **Current Display Panel 3800P** can be connected directly to the Datalogger.

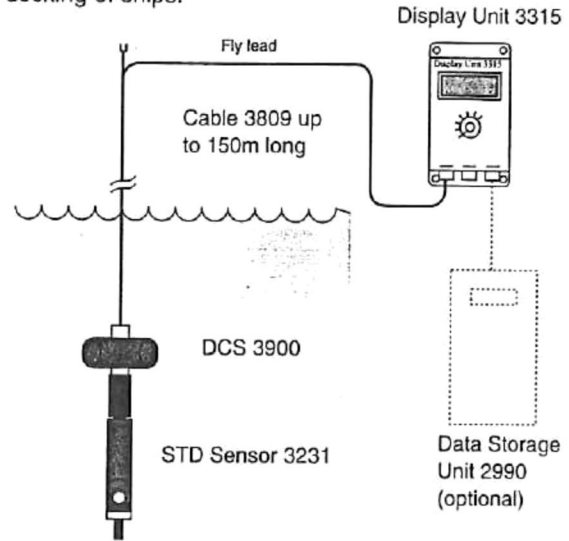


The Display Panel is designed for console installation. Output and input receptacles are conveniently placed on the back side of the panel. A two pin receptacle connects DC power to the system.

Analog displays of current speed and direction are performed by two circles (75 mm) of Light Emitting Diodes (LEDs). The circle for Current Speed has 24 LEDs and the circle for Current Direction 36 over 360° giving 10° between each diode. This indication is primarily intended for a quick reference and a more accurate indication is shown digitally just below the circles by light emitting displays; the current speed (knots) with one decimal and wind direction  $\pm 1^\circ$ . Both values are average current for the selected sampling intervals.

### Combination of Sensors

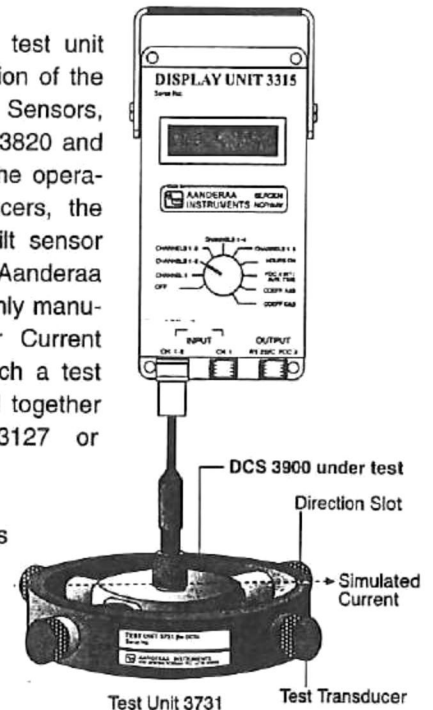
The DCS3900 can also be used in combination with other sensors such as CTD Sensor as shown below. A DCS 3900 in combination with Display Unit 3315 installed in the harbor office will, as shown on the illustration below, display the measured parameters in real-time and in engineering units. The system described, combined with Wind Monitoring System 3400, will provide important information for safer docking of ships.



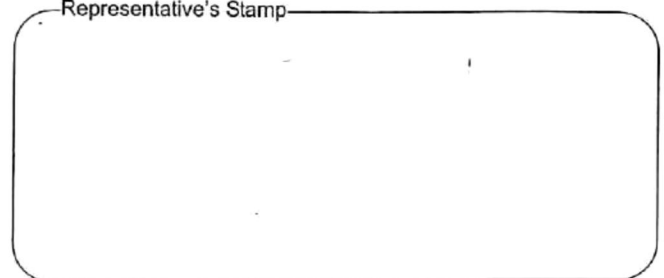
### Test Unit 3731

A unique, low cost test unit for testing the function of the Doppler Current Sensors, DCS 3900, 3900R, 3820 and 3920. Before use, the operation of the transducers, the compass and the tilt sensor should be verified. Aanderaa Instruments is the only manufacturer of Doppler Current Sensors offering such a test unit. It can be used together with Deck Unit 3127 or Display Unit 3315.

Request datasheet D320 for more details



Representative's Stamp



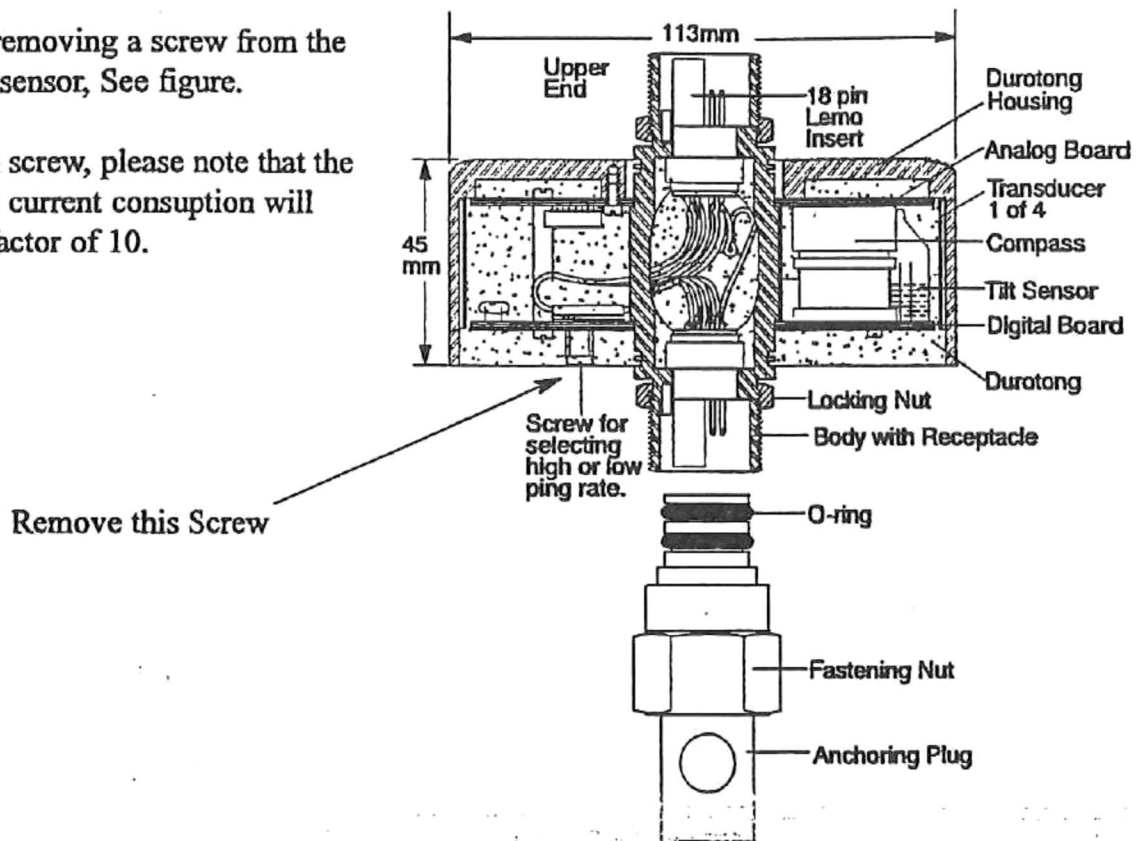
Latest version is on the Internet

## Doppler Current Sensor 3500

To maintain the accuracy for measurements at sampling interval below 10 minutes, the ping rate of the sensor must be set to **High ping rate**.

This is done by removing a screw from the underside of the sensor, See figure.

By removing the screw, please note that the ping rate and the current consumption will increase by the factor of 10.





**1. Digital board:**

1-01. Tested according to Test Procedure Form 566. ....

**2. Analog Board:**

2-01. Tested according to Test Procedure Form 567. ....

**3. Complete Sensor DCS 3500:**

3-01. Tested according to Test Procedure Form 568. ....

**4. Performance test and results from Test Procedure Form 568:**

4-01. Visual check .....

4-02. Inspection of o-ring groove .....

4-03. "Unlock" applied to the threads .....

4-04. Electrical isolation to body w/ receptacles .....

|  | Before casting | After casting                       |
|--|----------------|-------------------------------------|
| 4-05. Current consumption, total with fast ping rate ( maximum 44mA).....                        | <u>36.7</u> mA | <u>35.8</u> mA                      |
| 4-06. Current consumption, total with slow ping rate (maximum 4.4mA).....                        | <u>3.7</u> mA  | <u>3.6</u> mA                       |
| 4-07. Control that the temperature reading in channel 3 is between 650 and 730 at room temp..... |                | <input checked="" type="checkbox"/> |

**5. Compass Compensation, result from Test Procedure Form 568:**

5-01. After autocompensation of compass reading with 0° tilt. Maximum error < ± 3.5° ..... Max. error: ±1.58 °

**6. Tilt Compensation, result from Test Procedure Form 568:**

6-01. After autocompensation of tilt reading. Max.error < ± 2.0°. X- direction Max.error: -0.62 °  
Y- direction Max.error: -0.60 °

**7. Heading with Test Unit 3731:**

7-01. Speed (540 - 590) ..... 587

7-02. Direction change 180° when the Test Unit is turned 180°.....

Date 22.06.00 Sign William Zanardi



# AANDERAA INSTRUMENTS

DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND SEA AND AIR



## WAVE HEIGHT SENSOR 3595

*A sensor designed for installation on the Aanderaa Coastal Monitoring Buoy 3280. The output from the sensor is significant wave height and wave period.*

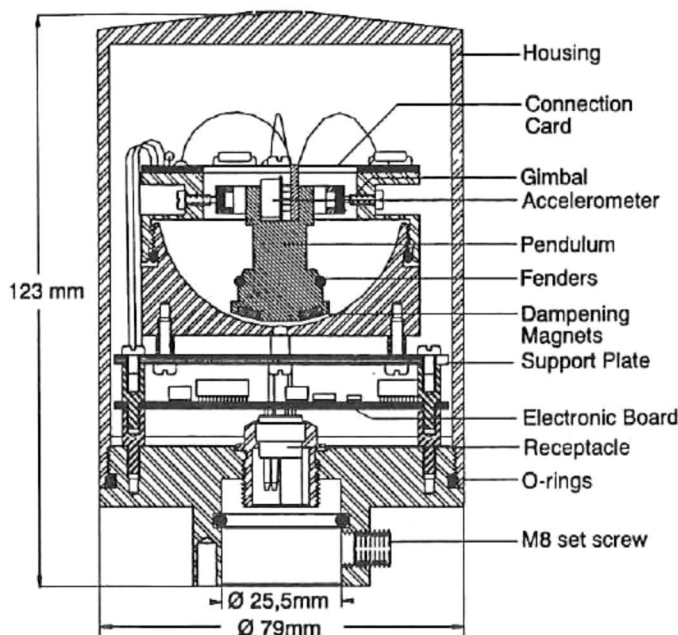
When calculating the dimensions of structures and installations along the coast and in the open sea, the force of waves, which can be tremendous, must always be given careful thought. Moles and off-shore drilling platforms are structures that obviously are exposed to these forces. Wave height is also a very important parameter for seagoing traffic as well as for Coastal and Harbour Authorities. The Wave Height Sensor 3595 is designed to measure this parameter when installed on the Coastal Monitoring Buoy 3280.

The sensor is shaped as a cylinder with O.D. 79mm, height 123mm and it is furnished with a standard Aanderaa 10 pin sensor foot. The sensor contains an accelerometer, a pendulum, an electronic board and it is watertight.

The sensor is mounted on a buoy that will follow the movement of the waves. The accelerometer, mounted on the pendulum senses the movement of the buoy.

The accelerometer's sensitive axis is kept vertical, plus or minus the pendulum's displacement angle. Since the accelerometer also senses gravity, the variation of the maximum acceleration measured during the pendulum's oscillation period is a measure of the vertical acceleration caused by the waves.

The acceleration is sampled four times a second and then integrated twice to give the vertical distance the accelerometer has traveled. This is the distance from the top to the bottom of a wave. The output from the sensor is the significant wave height which is the average height of the upper third of all waves during the measuring interval and wave period. The measuring interval, typically every 10 minutes, is determined by the Sensor Scanning Unit 2800 placed in the buoy superstructure. The outputs are two 10-bit digital words (SR10).



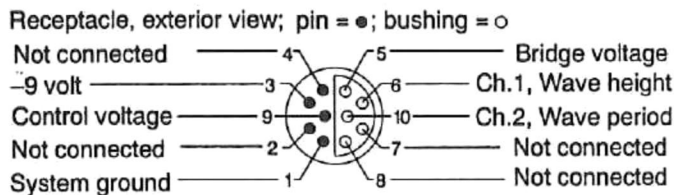
**Output 1:** Significant Wave Height, 1/3H.  
**Range:** 0–10 meters (for a wave period of 3 to 8 seconds).  
**Accuracy:** ± 15% or ± 0.2 meters (whichever is greater).

**Output 2:** Average wave period (SR10).  
**Range:** 1–30 seconds.

**Operating Temp.:** –30 to +40°C.  
**Electrical Connection:** Receptacle 3267 fitting standard sensor outlet in Central Buoy Module, Coastal Monitoring Buoy.

**Supply Voltage:** 7–14V D.C.  
**Current Consumption:** 3.5 mA average.  
**Material and Finish:** Hard anodized aluminum.  
**Weight:** 550 grams.  
**Packing:** Cardboard box.  
**Warranty:** Two years against faulty materials and workmanship.

**PIN CONFIGURATION**



**CALIBRATION**

Serial No: 44

**1. Wave Height, Significant:**

The sensor has been calibrated as follows.

| Height (5 second period) | Reading (N) |
|--------------------------|-------------|
| 0                        | 0           |
| 1.0                      | 47          |

The calibration gives the following coefficients:

|   |   |   |            |
|---|---|---|------------|
| A | D | B | 2.128 E-02 |
|---|---|---|------------|

C = 0; D = 0.

To convert the raw data signal to engineering units use the formula below.

Significant wave height (meters) =  $A + BN + CN^2 + DN^3$ .  
 N = Raw data reading.

**2. Period Time :**

$B = 1.000E-1$  ; A, C and D = 0.  
 Wave period, seconds =  $A + BN + CN^2 + DN^3$ .

Date: 09.05.01 Sign: Kjetil Ous

Latest version is on the Internet

PO BOX 160, NESTTUN  
 5852 BERGEN, NORWAY

FANAVEIEN 13B  
 5221 NESTTUN, NORWAY

TEL. +47 55 109900  
 FAX. +47 55 109910

E-MAIL: info@aanderaa.no  
 WEB: http://www.aanderaa.com





1. Visual and Mechanical checks:

- 1.1 Electronic components correctly mounted
- 1.2 Soldering quality
- 1.3 O-rings and O-ring grooves OK
- 1.4 Connecting wires correctly mounted
- 1.5 Pendulum moving without excessive friction
- 1.6 Pendulum dampening OK
- 1.7 Pendulum wires moving properly

2. Performance Test (Raw data readings at 1. minute sampling interval):

- 2.1 Current consumption, max. 3.0 mA average: 2,3 mA
- 2.2 Reading at rest, max. 15: 3
- 2.3 Reading at 1m vertical movement with 3s period; typical. 45, max. 55: 45
- 2.4 Reading at 1m vertical movement with 5s period: 47
- 2.5 Reading at 1m vertical movement with 8s period: 50
- 2.6 Difference between reading in point 2.3, 2.4 and 2.5, : 11 %

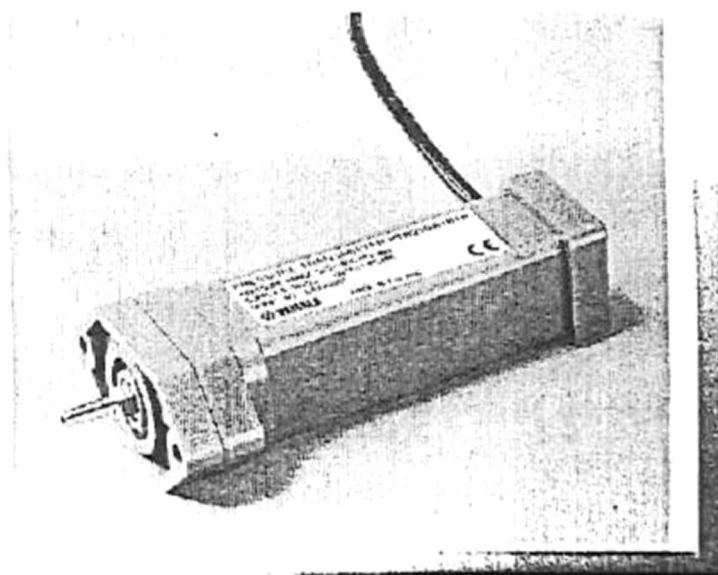
Date 09.05.01 Sign Kjetil Øvhus



# PTB210 Series Digital Barometers with Serial Output

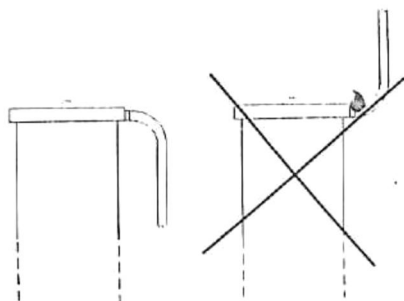
## *USER'S GUIDE*

U344EN-1.1  
December 1999



 **VAISALA**

**NOTE** Check that the cable is not taken upwards from the barometer. This is to prevent water flowing along the cable, and gathering close to the feed-through.



**Figure 4** Recommended cable position

The IP65-classified housing enables the barometer to be mounted outdoors without any additional protection. However, please take care that rainwater cannot plug the open pressure fitting. In such conditions, it is recommended to connect a piece of a tube with inner diameter of 4 mm or more to the fitting. It is also possible to use a static pressure head, SPH10, which protects the pressure channel from rain, and minimizes the effect of wind.

**Static pressure head**

Please note that the pressure fitting supplied with the transmitter is not a static pressure head, and that the transmitter cannot be used successfully as such in turbulent or high-speed static wind conditions. In demanding wind conditions, it is recommended to use Vaisala's static pressure head, SPH10, to which the PTB210 digital barometers can be directly integrated. This combination provides for accurate measurement in all wind conditions.

**Connections**

There are three different serial output interfaces available with the PTB210 digital barometers: RS232C, RS485/232C, and RS232C/TTL. The connections depend on the output protocol in use. In following tables there are presented the connections of these output interfaces.

**RS232C**

**Table 1** Connections of the PTB210 barometer with RS232C interface.

| Wire color | Signal  |
|------------|---|
| Grey       | RX  |
| Green      | TX  |
| Blue       | Ground  |
| Pink       | Supply voltage (8...18 VDC)                         |
| Brown      | not connected                                       |
| White      | not connected                                       |
| Yellow     | External power control (TTL level: 1 = off, 0 = on) |

It is recommended to isolate the free wire ends.

**RS485**

**Table 2** Connections of the PTB210 barometer with RS485/RS232C interface

| Wire color | Signal  |
|------------|---|
| Grey       | RX  |
| Green      | TX  |
| Blue       | Ground  |
| Pink       | Supply voltage (8...18 VDC)                         |
| Brown      | RS485 -   |
| White      | RS485 +   |
| Yellow     | External power control (TTL level: 1 = off, 0 = on) |

See also chapter "Setting the RS485 terminating resistor on/off" on page 17.

**NOTE**

The two output protocols cannot be used simultaneously. Connect either RX/TX or RS485 wires. It is recommended to isolate the free wire ends.

## Settings

### BAUD Setting the baud rate

```
.BAUD.xxxx<cr>
```

xxxx = baud rate (1200...38400)

#### Example:

```
.BAUD.9600<cr>      (commands invisible)
.RESET<cr>
```

#### NOTE

To activate the new settings, please remember to reset the barometer with the command `.RESET<cr>`

### Setting the serial communication parameters

The following parameter combinations are available with the PTB210 digital barometers. The factory setting for the parameters is E71.

```
.E71<cr>
```

or

```
.O71<cr>
```

or

```
.N81<cr>
```

The command sets the serial communication parameters of either a single barometer or all the barometers in.

#### NOTE

To activate the new settings, please remember to reset the barometer with the command `.RESET<cr>`

### .ID Setting a identification code

```
.ID.xxx<cr>
```

xxx = identification code (max. 15 characters)

If there are several barometers on same line, it is necessary to use the ID-code in order to direct the command for a specific instrument.

#### NOTE

As default, the ID code is 0. When several barometers will be used on same line, the codes have to be set before hand separately for each instrument.

The barometer handles the ID-code as characters i.e. 0001, 01 and 1 are different codes

### Setting pressure limits

If desired a lower and a higher pressure limits can be given to the barometer. The limits can be used to define e.g. the calibrated pressure range to a host system.

```
.PMIN.xxxx<cr>
```

xxxx = lower pressure limit (0...15000 hPa)

If current pressure is under the limit, the barometer outputs `****.**` instead of the pressure reading.

```
.PMAx.xxxx<cr>
```

xxxx = higher pressure limit

If current pressure is over the limit, the barometer outputs `****.**` instead of the pressure reading

#### NOTE

To activate the new settings, please remember to reset the barometer with the command `.RESET<cr>`

## MPM Measurements per minute

**.MPM.xxx<cr>**

xxx = number of measurements per minute (6...4200)

The command sets the number of measurements performed in one minute. As default, the MPM is 60.

$60 \text{ min}^{-1} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ measurement per second}$

### NOTE

To activate the new setting, please remember to reset the barometer with the command **.RESET<cr>**

## AVRG Defining the averaging

**.AVRG.xxx<cr>**

xxx = the number of measurements of which the average is calculated (0...255). As default, the AVRG is 0.

The command sets the number of measurement points that are used for the calculating an average pressure reading. However, this is not a moving average.

An example: if the number of measurements per minute is set to 30, and the averaging to 5, the pressure reading is updated every 10 seconds.

### NOTE

To activate the new setting, please remember to reset the barometer with the command **.RESET<cr>**

## PD Setting the instrument to power down state

**.PD<cr>**

The command sets the barometer to power down state in which it does not measure the pressure. The instrument is re-activated by pressing the enter-key. After this, the barometer settles in a half of a second. Then any command can be given to the barometer.

## Operating commands

### .P Outputting one single message

**.P<cr>**

The command outputs the latest multi-point corrected pressure reading with two decimals.

```
.P<cr>          (command invisible)
1012.99
```

### .BP Continuous outputting

**.BP<cr>**

The command outputs the MPC corrected pressure reading continuously. The output interval depends on the measurement rate and the averaging. The outputting is stopped by pressing enter key (<cr>).

```
.P<cr>          (command invisible)
997.99
998.01
998.01
...
998.02
<cr>          (command invisible)
```

### .UNIT Selecting a pressure unit

**.UNIT.x<cr>**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| x = 0 (hPa) | 6 (kPa)                |
| 1 (mbar)    | 7 (Pa)                 |
| 2 (inHg)    | 8 (mmH <sub>2</sub> O) |
| 3 (psia)    | 9 (inH <sub>2</sub> O) |
| 4 (torr)    | 10 (bar)               |
| 5 (mmHg)    |                        |

As default, the unit is 0.

### NOTE

To activate the new setting, please remember to reset the barometer with the command **.RESET<cr>**

## Self-testing

### Basic information of the barometer settings

..?<cr>

The command lists the basic information of the barometer settings. The following example shows also the factory settings for 50...1100 hPa model.

```
..?<cr>                (command not visible)
PTB210 Ver 1.0
CAL DATE      :1999-06-10
ID CODE      :10
SERIAL NUMBER :T00100004
MULTIPOINT CORR:ON
MEAS PER MINUTE: 60
AVERAGING    : 0
PRESSURE UNIT : hPa
Pressure Min...Max: 500 1100 (50 1300 for model 50...1300)
LOW CURRENT MODE
RS485 RESISTOR OFF
```

## CHAPTER 5 CALIBRATION AND ADJUSTMENT

The PTB210 series digital barometers can be fine adjusted and calibrated against pressure standards that have high accuracy and stability as well as known traceability to international standards. For the Class A barometers, standards with uncertainty of  $\pm 70$  ppm ( $\pm 2$  standard deviation value) or better should be used. For the Class B barometers, electronic working standards with uncertainty of  $\pm 150$  ppm are recommended.

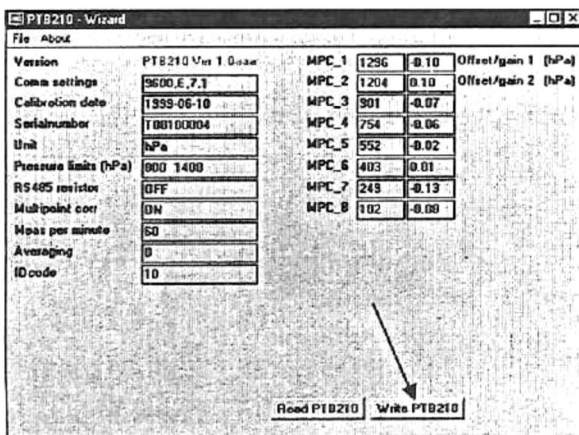
**NOTE** Calibration is considered not to involve any adjustments.

The pressure readjustment of a PTB210 series digital barometer is performed by deactivating first the multi-point corrections using MPCOFF command. All fine adjustments are then deactivated. By comparing the output to a reference, the user can define the corrections required for readjustment.

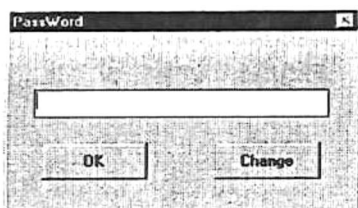
It is advisable to write down the previous multi-point corrections so that they will not be lost by mistake.

The corrections are given by using the Wizard software supplied. When the new multi-point corrections have been entered to the barometer, the corrections are activated either with the Wizard or with the MPCON command. Finally, the barometer is calibrated to verify its real accuracy.

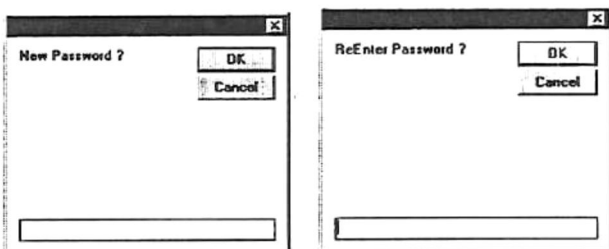
4. To save the new corrections, click the **Write PTB210**-button.



5. The program then asks a password. As default, no password exists. Just click **OK**. The password can be used to prevent saving of any new corrections without entering it. To give a password, click the **Change**-button.



6. Enter a new password and confirm by re-entering it.



## CHAPTER 6 TECHNICAL DATA

### Technical specification

#### Operating range

|                             |                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Pressure range              | 500 ... 1100 hPa<br>50 ... 1300 hPa |
| Operating temperature range | -40...+60°C                         |
| Humidity range              | non condensing                      |

#### Accuracy

|                               | Class A         | ClassB          |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>500...1100 hPa</b>         |                 |                 |
| Non linearity*                | ± 0.10 hPa      | ± 0.15 hPa      |
| Hysteresis*                   | ± 0.05 hPa      | ± 0.05 hPa      |
| Repeatability*                | ± 0.05 hPa      | ± 0.05 hPa      |
| Calibration uncertainty**     | ± 0.07 hPa      | ± 0.15 hPa      |
| Total accuracy (20°C)***      | ± 0.15 hPa      | ± 0.20 hPa      |
| <b>Temperature dependence</b> |                 |                 |
| (-40...+60°C)****             | ± 0.20 hPa      | ± 0.20 hPa      |
| Total accuracy***             |                 |                 |
| (-40...+60°C)                 | ± 0.25 hPa      | ± 0.30 hPa      |
| Long term stability           | ± 0.10 hPa/year | ± 0.10 hPa/year |
| <b>50...1300 hPa</b>          |                 |                 |
| Non linearity*                |                 | ± 0.20 hPa      |
| Hysteresis*                   |                 | ± 0.10 hPa      |
| Repeatability*                |                 | ± 0.10 hPa      |
| Calibration uncertainty**     |                 | ± 0.20 hPa      |
| Total accuracy (20°C)***      |                 | ± 0.35 hPa      |
| <b>Temperature dependence</b> |                 |                 |
| (-40...+60°C)****             |                 | ± 0.40 hPa      |
| Total accuracy***             |                 |                 |
| (-40...+60°C)                 |                 | ± 0.50 hPa      |
| Long term stability           |                 | ± 0.20 hPa/year |

**NOTE** Remember to set the MPC corrections on after given them.

\* Defined as the  $\pm 2$  standard deviation limits of end-point non-linearity, hysteresis error or repeatability error.

\*\* Defined as  $\pm 2$  standard deviation limits of inaccuracy of the working standard including traceability to NIST.

\*\*\* Defined as the root sum of the squares (RSS) of end-point non-linearity, hysteresis error, repeatability error and calibration uncertainty at room temperature.

\*\*\*\* Defined as  $\pm 2$  standard deviation limits of temperature dependence over the operating temperature range.

eneral

(\* Factory setting)

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Supply voltage                 | 8 ... 18 VDC reverse polarity protected                    |
| Current consumption            |  |
| normal mode                    | < 15 mA*   |
| power down mode                | < 0.8 mA   |
| shutdown mode                  | 0.2 mA   |
| Shutdown                       | ON/OFF   |
| Settling time at power up      | 2 s  |
| Serial I/O (factory setting *) | RS232C   |
|                                | RS232C /TTL (optional)                                     |
|                                | RS485, non isolated (optional)                             |
| parity                         | none, even*, odd   |
| data bits                      | 7*, 8  |
| stop bits                      | 1*, 2  |
| Baud rate                      | 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600*, 19200                   |
| Response time                  | 1 s*   |
| Resolution                     | 0.01 hPa (1 measurement/s)<br>0.05 hPa (20 measurements/s) |
| Max. pressure                  | 5 000 hPa abs.   |
| Pressure connector             | M5 (10-32) internal thread                                 |
| Pressure fitting               | barbed fitting for 1/8" I.D. tubing                        |
| Housing                        |  |
| electronics                    | IP65   |
| sensor                         | IP53   |
| Housing material               | PC plastic   |
| Pressure connector             | M5 (10-32) internal thread                                 |
| Pressure fitting               | barbed fitting for 1/8" I.D. tubing                        |
| Supply/output cable length     | 1, 2, 3, 5, or 10 m  |
| Weight                         |  |
| Instrument                     | 110 g  |
| Cable                          | 28 g/m   |

## Electromagnetic compatibility

Fully electromagnetically compatible according to standards

- EN 50081-1
- EN 50082-1

Tested according to EN 55022 class B  
Tested according to EN 61000-4-2,  
EN 61000-4-3 + ENV 50204,  
EN 61000-4-4, EN 61000-4-5,  
EN 61000-4-6



## Dimensions

