

Causa	Int	Efectos
Viento	TT	Dificultad en la operación de actividades portuarias de pesca y actividades al aire libre
	H1	Suspensión total de pesca mayor, actividades de descarga y operación en puertos
	H2	Daño en cables, grúas y estructuras expuestas al viento. Rotura de vidrios y ventanas.
	H3	Daño severo en grúas, torres y postes eléctricos. Destrucción en techos y casas de materiales temporales
	H4	Daños en techos de naves industriales, volcaduras de equipos daños en estructuras menores.
	H5	Daños severos en estructuras, colapsos de casas habitación e infraestructura en general.
Oleaje	TT	Suspensión de actividades de pesca menor y en pequeños puertos.
	H1	Suspensión de actividades de pesca mayor y operación portuaria en general.
	H2	Daños en puertos y embarcaciones pequeñas.
	H3	Daños en embarcaciones medianas y destrucción de las pequeñas
	H4	Daños a rompeolas, monoboys, embarcaciones mayores, erosión playera, daños a muelles.
	H5	Colapso de estructuras de protección, daños severos a embarcaciones mayores y muelles.
Marea de Tormenta	TT	Inundación y erosión de la franja playera.
	H1	Inundación de caminos en zonas bajas y elevación en desembocadura de ríos.
	H2	Inundación en zonas bajas, caminos y planicies cercanas a ríos.
	H3	Inundaciones severas en zonas bajas, fallas en carreteras daño en puertos y marinas.
	H4	Inundaciones severas, daños en estructuras, fallas de tramos carreteros, daño en embarcaciones.
	H5	Inundaciones muy severas, daños en estructuras, puertos, destrucción de embarcaciones grandes

Tabla 1.3 Relación entre causas y efectos de los ciclones

2. TRANSDUCTORES COMO ELEMENTOS DE ENTRADA A SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Un sistema de instrumentación electrónico consiste de varios componentes que se utilizan para realizar una medición y registrar el resultado. Por lo general consta de tres elementos principales: un dispositivo de entrada, dispositivo de procesamiento y un dispositivo de salida. El dispositivo de entrada recibe la cantidad por medir y envía una señal eléctrica proporcional al dispositivo de procesamiento. Aquí la señal se amplifica, se filtra o se modifica para ser aceptada por el dispositivo de salida. Este puede ser un simple medidor indicador, un osciloscopio o un registrador para presentación visual, o puede ser una computadora digital para manipulación de los datos o procesos de control. El tipo de sistema depende de qué se va a medir y de qué manera se van a presentar los resultados.

La variable de entrada de la mayoría de los sistemas de instrumentación es no eléctrica. Con el fin de utilizar métodos eléctricos y técnicas de medición, manipulación o control, las cantidades no eléctricas se convierten en una señal eléctrica por medio de un dispositivo llamado transductor. Una definición establece que *“el transductor es un dispositivo que, al ser afectado por la energía de un sistema de transmisión, proporciona energía en la misma forma o en otra a*

*un segundo sistema de transmisión*¹. Esta transmisión de energía puede ser eléctrica, mecánica, química, óptica o térmica.

Esta amplia definición de un transductor incluye dispositivos que convierten fuerza o desplazamiento mecánico en una señal eléctrica. Estos dispositivos forman un grupo muy importante y numeroso de transductores que se encuentran en el área de instrumentación industrial y compete al ingeniero de instrumentación conocer este tipo de conversiones de energía. Muchos otros parámetros físicos (calor, intensidad luminosa, humedad) se pueden convertir en energía eléctrica por medio de transductores. Estos dispositivos proporcionan una señal de salida cuando son estimulados por una entrada no mecánica: un termistor reacciona a variaciones de temperatura, una fotocelda a los cambios de intensidad luminosa, un haz electrónico a los efectos de un campo magnético, etc. En todos los casos, la salida se mide mediante métodos estándares dejando la magnitud de la cantidad de entrada en términos de una medida eléctrica analógica.

2.1 Selección de un transductor

En un sistema de medición el transductor es el elemento de entrada con la importante función de transformar algunas cantidades físicas en una señal eléctrica proporcional. La selección del transductor apropiado es, por consiguiente, el primero y tal vez el paso más importante en la obtención de resultados exactos.

Se deben plantear un número de preguntas básicas antes de seleccionar un transductor, por ejemplo:

- a) ¿Cuál es la cantidad física por medir?
- b) ¿Cuál principio transductor es el mejor para medir esta cantidad?
- c) ¿Qué precisión se requiere en esta medición?

La primera se contesta determinando el tipo y rango de la medición. Para una respuesta apropiada a la segunda se requiere que las características de entrada y de salida del transductor sean compatibles con el sistema de medición y registro. En la mayoría de los casos, estas dos interrogantes se responden fácilmente, al decir que el transductor apropiado se selecciona por la adición de una tolerancia para la precisión. En la práctica esto rara vez es posible debido a la complejidad de los diversos parámetros del transductor que afectan la precisión. Los requerimientos de precisión total del sistema determinan el grado con el cual los factores individuales contribuyen a la precisión que debe ser considerada. Alguno de estos factores son:

¹ "Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición" Alberto D. Helfrick, William D. Cooper

- a) Parámetros fundamentales del transductor: tipo y rango de la medición, sensibilidad, excitación.
- b) Condiciones físicas: conexiones eléctricas y mecánicas, condiciones de montaje, resistencia a la corrosión.
- c) Condiciones de ambiente: efectos de la no linealidad, efectos de histéresis, respuesta en frecuencia, resolución.
- d) Condiciones ambientales: efectos de la temperatura, aceleración, golpes y vibraciones.
- e) Compatibilidad con el equipo asociado: condiciones de balance de peso, tolerancia de la sensibilidad, acoplamiento de impedancias, resistencias de aislamiento.

Las categorías a) y b) comprenden características eléctricas y mecánicas básicas del transductor. La precisión de éste, componente independiente, está contenida en las categorías c) y d). La categoría e) considera la compatibilidad del transductor con el equipo asociado al sistema.

El error de medición total en un sistema activado por transductores se puede reducir para que esté dentro del rango de precisión y por consiguiente de la exactitud requerida, por medio de las siguientes técnicas:

- a) Usando un método de calibración de sistemas con correcciones efectuadas en la reducción de datos.
- b) Monitoreo simultáneo del ambiente, con la consecuente corrección de datos.
- c) Control artificial del ambiente para minimizar los posibles errores.

Algunos errores individuales son previsibles y el sistema puede estimar para eliminarlos. Cuando se calibra todo el sistema, estos datos de calibración sirven para corregir datos registrados. Los errores ambientales se corrigen reduciendo los datos si los efectos ambientales se registran al mismo tiempo que los datos reales. Entonces los datos se corrigen aplicando las características ambientales conocidas de los transductores. Estas dos técnicas incrementan de manera significativa la exactitud del sistema.

Otro método para mejorar la exactitud global del sistema es el control artificial del ambiente del transductor. Si se puede conservar sin cambio el ambiente del transductor estos errores se reducen a cero. Dicho tipo de control puede requerir el mover físicamente el transductor a una posición más favorable o aislarlo del medio ambiente mediante una cubierta a prueba de calor, aislamiento de vibraciones o medios similares.

2.2 Constituyentes o partes del equipo

El sistema de adquisición de datos en “tiempo real” de las diferentes variables meteorológicas y oceánicas consiste fundamentalmente de seis partes: La boya superficial, estación meteorológica, sensores de conductividad y temperatura del mar (con estos dos parámetros se puede calcular la salinidad), estado del mar (oleaje y corrientes), comunicación y presentación de los datos en página web.

A continuación se hace mención de las principales características de las seis partes del sistema aunque hay que mencionar que no necesariamente se trabajó con todas ellas.

Estación meteorológica

La estación meteorológica consiste de siete diferentes sensores conectados a un datalogger marca *ZENO*, el cual obtiene las diferentes mediciones de los sensores a un intervalo de muestreo específico y guarda un registro de los datos.



Figura 2.1 Instrumentación externa de la boya

- *Vaisala HUMICAP*, sensores de humedad y temperatura

La principal función de los sensores es medir la humedad relativa, el sensor de temperatura está asociado con el sensor de humedad para su medición correcta. El intervalo de medición para el sensor de humedad es de 0.8 a 100% de humedad relativa y para la temperatura es de -39 a +60°C, con una resolución de 0.2°C.

- *Vaisala*, sensor de presión atmosférica

Este sensor reporta la presión atmosférica a partir de la capacidad absoluta del sensor de presión del silicón *BAROCAP*. Su intervalo de medición va de los 600 a los 1060 hPa.

- *YSI*, sensor de temperatura del aire

Este sensor (Termistor YSI 410) informa la temperatura del aire, tiene una resistencia de 2252 Ω a 25°C y mantiene una tolerancia de $\pm 0.1^\circ\text{C}$, en un intervalo de 0 a 75°C.

- *Gill*, Anemómetro de viento sónico

Este sensor es muy robusto debido a que no presenta partes móviles por lo que es conveniente para condiciones extremas como vientos de tormenta. El principio básico de la obtención de la velocidad y dirección del viento es a partir de los tiempos que toman los pulsos ultra sónicos en viajar de un transductor norte a un transductor sur. El intervalo de velocidad es de 0 a 60 m/s con una resolución de 0.01 m/s y para la dirección el intervalo es de 0 a 359° con una precisión de $\pm 3^\circ$ y una resolución de 1°.

-*KVW*, compás electrónico

Este sensor es un compás electrónico que está integrado a las señales del sensor del viento y provee de la información necesaria para la orientación del viento, referido al norte magnético.

-*ZENO*, Datalogger

Todos los sensores de la estación meteorológica y los de calidad del agua reportan al datalogger. El *ZENO-3200* es programado para registrar y almacenar la información de los distintos sensores cada 15 minutos. Los datos sólo pueden ser extraídos vía un radio módem o conexión directa, que en este caso no es conveniente dado que la boya se encuentra en el agua.

Calidad del agua de mar (temperatura y salinidad)

Sea-Bird MicroCAT C-T, Temperatura y salinidad del agua de mar

Esta unidad es equipada con un sistema de bombeo que hace fluir el agua dentro de los sensores de temperatura y conductividad. Este equipo no depende de la energía que provee la boya y la información es almacenada en memoria sólida. Los datos son recobrados y exportados internamente vía un cable RS232 al datalogger y posteriormente transmitido a la estación base.

Estado del mar (oleaje y corrientes)

AWAC Nortek, Perfilador de corrientes acústico y sensor de presión. A partir de un equipo acústico ubicado en el fondo del mar conocido como *AWAC (Acoustic Wave And Current)*, por sus siglas en inglés) se obtiene todo el perfil de la corriente, así como el espectro del oleaje direccional. Este equipo está comunicado vía módems acústicos, marca *Benthos*, con la boya para su posterior envío de los datos por radio módems. El *AWAC* contiene un micro procesador llamado *NIP (Nortek Internal Processor)*, por sus siglas en inglés) con el cual se realizan los cálculos del oleaje y la corriente. El sistema tiene su propio suministro de energía y requiere de cambios periódicos de las baterías.

Comunicación

El sistema de comunicación de la boya consta de dos sistemas de transmisión de datos: el sistema sumergible que se utiliza para la comunicación del *AWAC* y la Boya, y el otro es un sistema de comunicación de radio entre la boya y la estación-base.

-Benthos, Módems Acústicos

El sistema de comunicación acústico es manufacturado por *Benthos*. En el fondo del mar se localiza el módem acústico transmisor montado y conectado al *AWAC*, que transmite los datos previamente procesados por el *NIP*. En la parte inferior de la boya (parte sumergida de la boya) se localiza el módem acústico receptor que está conectado al sistema de transmisión de datos del radio módem.

-Free Waves, Radio Módems

El sistema de radio comunicación llamado radio módem de espectro disperso, opera entre las frecuencias de 902 a 928 MHz con un alcance de 96.5 km en línea de vista a través de los protocolos RS232. En la boya se localiza el radio módem denominado esclavo, que transmite la información almacenada en el datalogger *ZENO*, así como la información del *AWAC*. El esclavo

transmite la información cada 15 min al radio módem denominado Maestro, el cual transmite la información a un sistema de cómputo, PC.

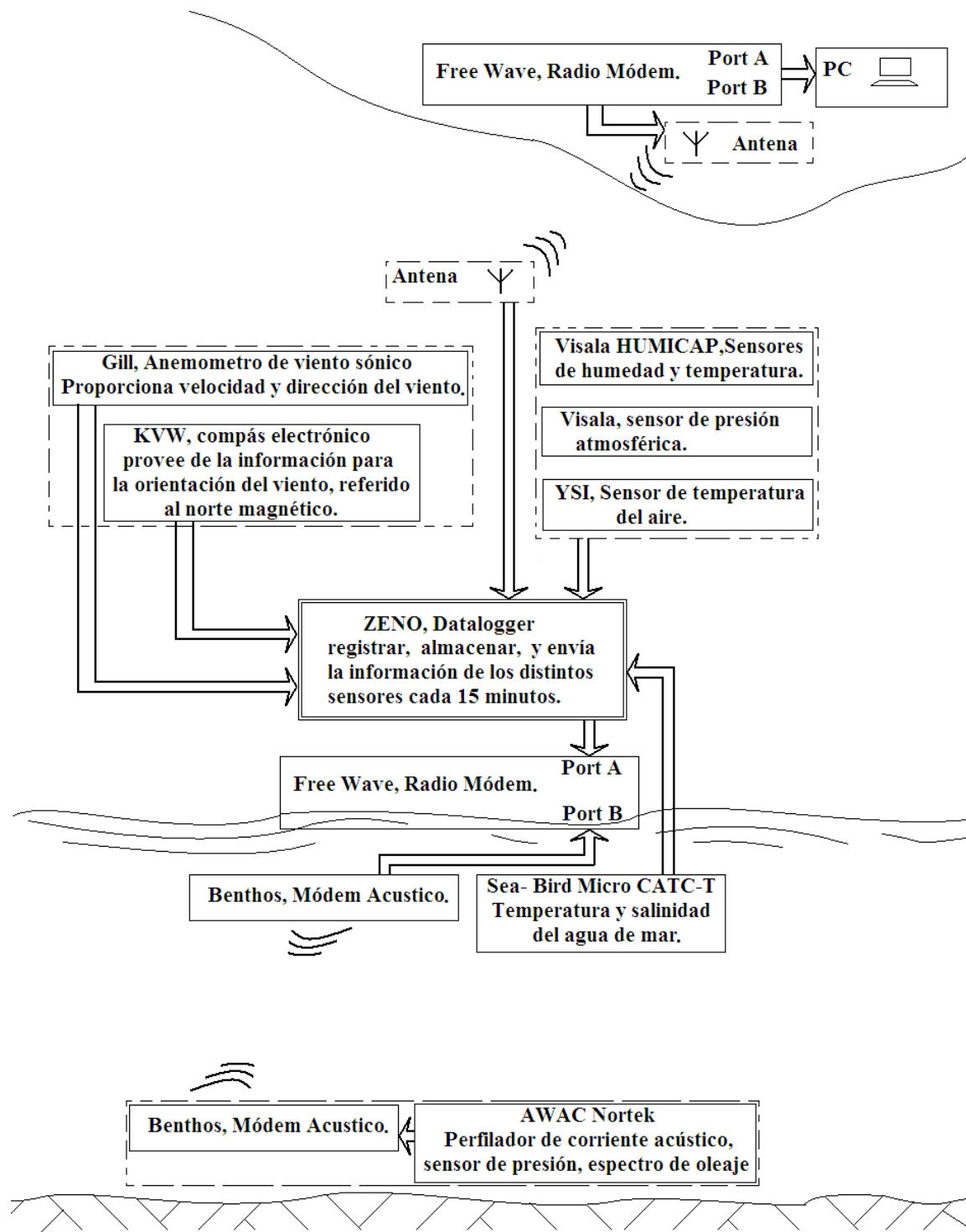


Figura 2.2 Diagrama a bloques de la boya.

2.3 Instrumentación montada en la boya

La instrumentación que a continuación se menciona es aquella que después de cierta revisión del equipo fue requerida alguna clase de intervención o únicamente montaje y prueba del equipo para corroborar su funcionamiento, de manera que como ya se menciono anteriormente hay equipo el cual su funcionamiento es independiente del sistema de la boya, pero aun así esta contemplado en la descripción general del sistema, de manera que específicamente se mencionan como revisados y habilitados los sensores de dirección y velocidad de viento, temperatura, presión y humedad.



Figura 2.3 Instrumentación en la boya

Vaisala sensores de humedad, temperatura y presión.

El sensor de temperatura está asociado con el sensor de humedad para su correcta medición. Las mediciones de la humedad relativa están basadas en una película delgada de un polímetro, y para las mediciones de la temperatura se utiliza la resistividad del platino. El intervalo de medición para el sensor de humedad es de 0.8 a 100% de humedad relativa y para la temperatura es de -40 a $+60^{\circ}\text{C}$, con una resolución de 0.2°C .
Manual en el Anexo I

En el sensor de humedad (HUMICAP), la salida es de tipo analógica dando un voltaje de DC en un intervalo lineal de 0 a 1 V de manera que es proporcional de 0 a 100% HR, haciendo una equivalencia por el datalogger, para así ser utilizada la información. El otro sensor es el de



Figura 2.4 Humedad, presión y temperatura

temperatura que de manera similar hace la equivalencia lineal de la temperatura de -40 a 60 °C en una escala de 0 a 1V DC. Soportan voltajes de 7 a 35 VDC, siendo utilizados para 12 volts, de manera que cubre las expectativas en temperatura, humedad y alimentación para el sistema.

El sensor de presión (PTB100B) es un barómetro análogo formado por un BAROCAP capacitivo que mide la presión absoluta, soporta un voltaje de operación de 10 a 30 VDC, con un tiempo de respuesta de 300ms, una resolución de 0.1 hPa y una salida de 0 a 5 VDC. De manera que el voltaje de salida corresponde linealmente con el rango entre 600 a 1060 hPa, que es calculado por el datalogger a partir de:

$$P = 600[hPa] + \frac{460[hPa]}{5[V]} \times U[V]$$

Donde P es la presión barométrica y es medida a partir de la salida de voltaje U

KVW, compás electrónico

Este sensor es un compás electrónico que está en funcionamiento conjunto con el sensor de viento y provee de la información necesaria para la orientación de la boya, referido al norte magnético. Cuenta con diferentes formas de utilización, así como formas calibración (figura 2.7), de manera que el primer paso a seguir para utilizar es establecer comunicación con este instrumento mediante una PC. *Manual en el Anexo II*



Figura 2.5 Compás electrónico

Esta conexión se realiza vía puerto RS232, de manera que permita leer la información en que está configurado actualmente el compás mediante el uso del software que se incluye con éste. En él se puede establecer la opción del puerto a utilizar y la tasa de transmisión, de manera que estableciendo la comunicación se tiene la opción de visualizar las configuraciones. En este caso las que tiene de fábrica el compás, son:

Power up Mode:	Sending
Baud Rate:	4800
Message Rate:	1 Hz Continuous
Message Type:	NMEA
Message Units:	Degrees
Digital Output Type:	Continuous
Digital Output Format:	4 Digital BCD
Analog Output Format:	Linear

Tabla 2.1 Configuración del Compás electrónico

Para el funcionamiento del sistema conjuntamente con el sensor de viento (Windsor), se establece que la salida a utilizar será de tipo analógica y de forma lineal, de manera que se tiene un equivalente de 0° a 360° , en la escala análoga de 0.1 V a 1.9 V respectivamente (figura 2.3) así tendremos la equivalencia de la posición del sistema.

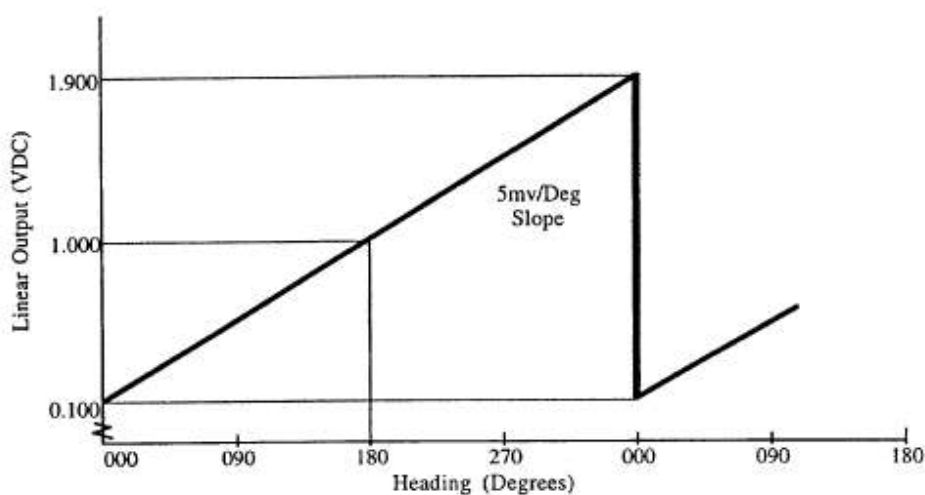


Figura 2.6 Salida lineal de VDC

Posteriormente se tiene que realizar una calibración del compás para así hacer corresponder el norte magnético con el del compás.

La conexión necesaria entre el compás el voltímetro, fuente de alimentación a 12v y una PC es la siguiente:

Pin 1 Conector 2	(BRN) Reference voltage for sine cosine output or Analog Output
Pin 2 Conector 2	(RED) Cosine output
Pin 3 Conector 2	(ORG) Sine output
Pin 4 Conector 2	(YEL) Rxd RS232 input for serial port
Pin 5 Conector 2	(GRN) Ground
Pin 6 Conector 2	(BLK) Ground
Pin 7 Conector 2	No connection
Pin 8 Conector 2	(GRY) Strobe input for digital port
Pin 9 Conector 2	(WHT) Data output for digital port
Pin 10 Conector 2	(BLU) Clock output for digital port
Pin 11 Conector 2	(PNK) Txd, Transmit data output for serial port
Pin 12 Conector 2	(TAN) Inverted Txd, Transmit data output for serial port
Pin 1 Conector 1	+18 to +28 VDC Red
Pin 2 Conector 1	+8 to +18 VDC White
Pin 3 Conector 1	No connection
Pin 4 Conector 1	Gnd, Common Ground

Tabla 2.2 Pines del compás electrónico

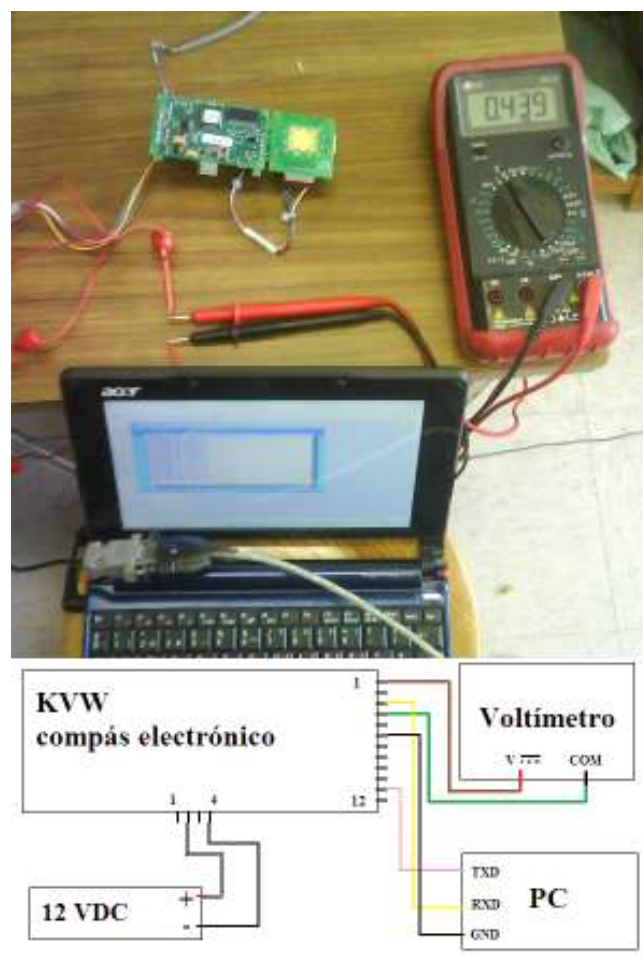


Figura 2.7 Conexión de calibración.

Los pines 4, 6 y 11 fueron conectados a un DB9 para tener comunicación con el puerto RS232 de manera que permita la comunicación antes mencionada. Los pines 3 y 5 son la salida analógica, que en este caso es de configuración lineal, de tal manera que se pueda verificar los datos midiendo el voltaje directamente en estas terminales.

Calibración mediante el software

Hay tres tipos de calibración posible, a 3 puntos, a 8 puntos y de manera circular, estos podemos encontrarlos y realizarlos directamente mediante el propio software del compás, esto mediante una PC.

El software requiere la selección del puerto en el cual se conecta el compás y la velocidad de transmisión en esta ocasión el COM3 y la transmisión es de 9600, haciendo con esto un reconocimiento del circuito permitiendo realizar las calibraciones.

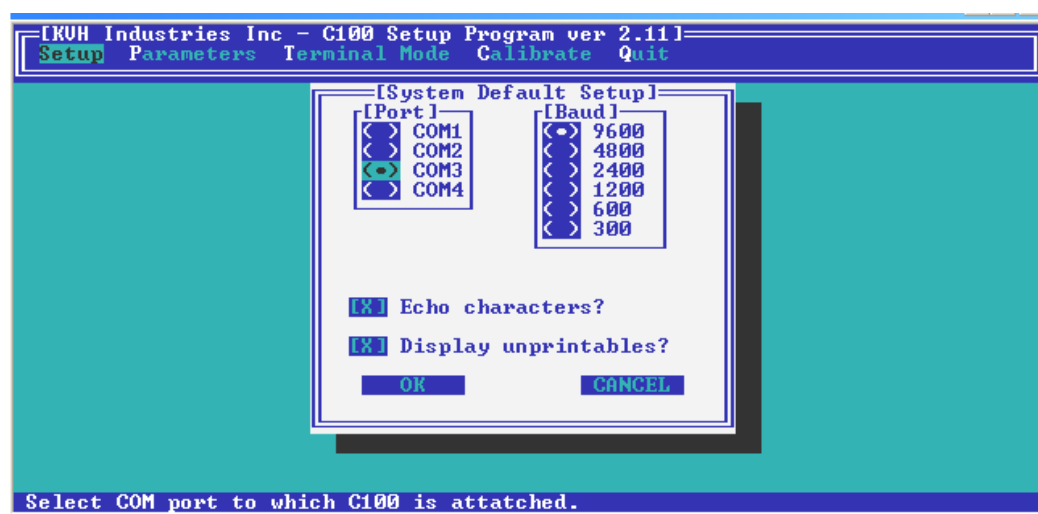


Figura 2.8 Software del compás electrónico

De manera que se selecciona posteriormente el modo de calibración.

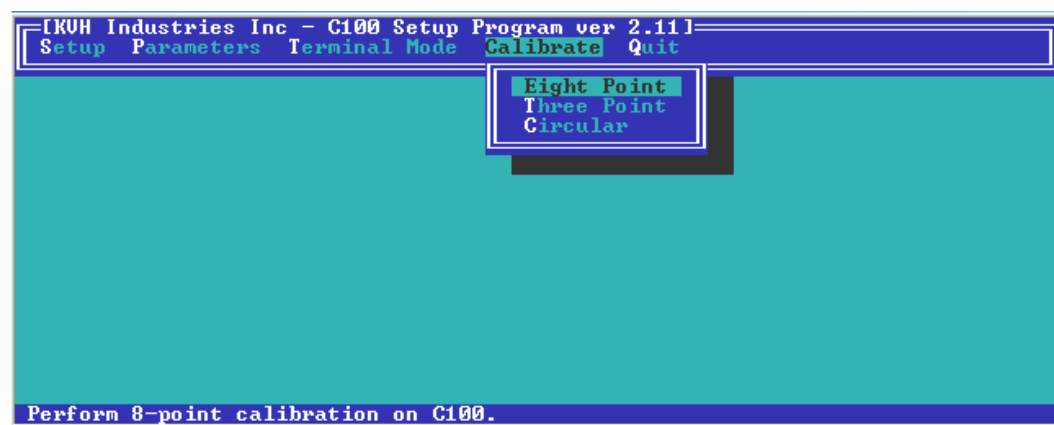


Figura 2.9 Calibración del compás

Una calibración a 3 puntos permite elegir cómodamente los puntos, es decir que se puede elegir donde será para el compás 0° y a partir de este punto indicarle la información, así como

posicionarlo en otros dos puntos cualesquiera. Para calibrar se propusieron 90° y 180°, de manera que sería fácil de acertar con estos puntos.

Ya que se pueden estar recibiendo los datos mediante una Hyperterminal en un CPU, arrojando lecturas directas en grados y así también tener las lecturas de voltaje en su puerto analógico correspondientes a los grados de cada lectura como se mostro en la figura 2.7.

Posteriormente se realizaron una serie de pruebas, obteniendo los siguientes datos:

Angulo	Salida analógica en Volts	Salida analógica en grados	CPU
0°	0.106	1.2°	001.1°
45°	0.332	46.4°	046.4°
90°	0.555	91°	091.1°
135°	0.783	136.6	137.1°
180°	1.001	180.2	180.4°
225°	1.230	226	226.3°
270°	1.455	271	271.1°
315°	1.678	315.6	316.1°

Tabla 2.3 Pruebas de calibración

Estos son muy cercanos a lo esperado de manera que se puede afirmar que la calibración es correcta y se puede proceder a realizar la comunicación entre éste y los demás elementos.

Cabe mencionar que la calibración se realizó en sentido horario de manera que permita ser operado el dato analógico mediante el datalogger y combinado con la información del sensor de viento, permitiendo dar la resolución en la posición correcta.

Gill, Anemómetro de viento sónico

Este sensor es muy robusto debido a que no presenta partes móviles, por lo que es conveniente para condiciones extremas como vientos de tormenta. El principio básico de la obtención de la velocidad y dirección del viento es a partir de los tiempos que toman los pulsos ultra sónicos en viajar de un transductor norte a un transductor sur. El intervalo de velocidad es de 0 a 60 m/s con

una resolución de 0.01 m/s y para la dirección el intervalo es de 0 a 359° con una precisión de $\pm 3^\circ$ y una resolución de 1° . *Manual en el Anexo III*

Este sensor está combinado con el compás y su salida es utilizada en los datos, por medio de un puerto serial, que después son procesados con el auxilio del datalogger para en él realizar la corrección en cuanto a dirección se refiere. Las lecturas de velocidad son realizadas de forma directa, así se puede conocer la dirección correcta a pesar de que el sistema esté en constante movimiento.

La manera de orientar el sensor es mediante una muesca en forma de flecha al frente que indica la dirección del norte magnético, de tal forma que los demás puntos cardinales quedan orientados por sí mismos. Así, con base en esta referencia y contra la comparación de una brújula, que de manera similar se orienta a la par del sensor, se puede obtener una lectura que corrobore los datos obtenidos así como la correcta orientación del mismo.

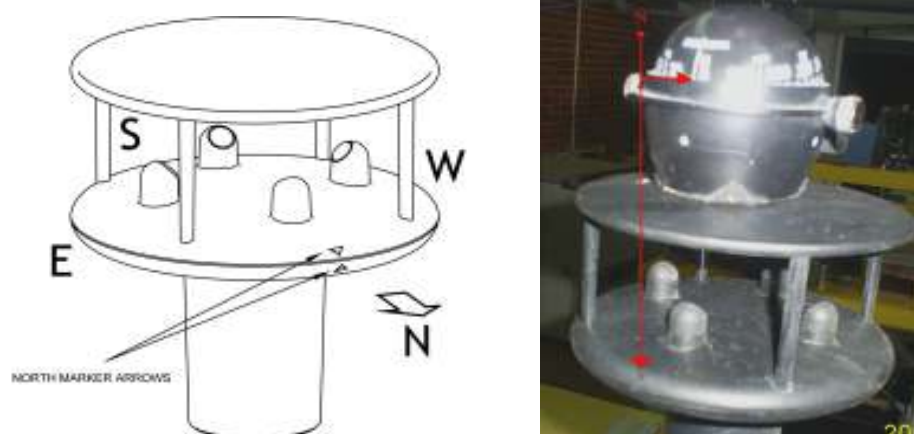


Figura 2.10 Anemómetro de viento sónico

Estos datos serán verificados más tarde y coordinados con el compás para obtener una lectura coherente, a pesar de los efectos de algún movimiento al sensor, y así tener una misma dirección de viento.

Compás y sensor de viento

La combinación de éstos permite dar la orientación correcta del sistema a pesar de la posición que tome, de manera que individualmente se tiene un dato analógico proporcional a la escala en grados de parte del compás y por otra parte el dato de manera serial que es transmitido por el sensor de viento. Estos datos son operados mediante el datalogger que permite dar una configuración para la entrada en sus diferentes puertos y el manejo de estos sensores que han

sido seleccionados, esto hace práctico el funcionamiento de estos tres elementos en conjunto, haciendo una lectura eficaz y que será proporcionada y desplegada junto con toda la demás información en los intervalos que sean indicados por el datalogger. Aun teniendo una buena calibración para el compás así como unas lecturas confiables del sensor de viento es posible realizar alguna corrección de datos a través del datalogger en caso de de ser necesaria, permitiendo dar un offset en los grados ya leídos y procesados que permitan corregir alguna variación presentada al ser montada la instrumentación y que permita verificar que los datos son correctos o requieren de esta corrección.

Teniendo una lectura confiable con una resolución de 1° siendo de 0° a 360° , dando una interpretación de 0° como el Norte y 180° Sur, es decir que la indicación es de donde proviene el viento y que de esta manera se pueda estar en condiciones de interpretar qué dirección tiene.



Figura 2.11 Compás y sensor de viento

3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Todos los sensores de la estación meteorológica y los de calidad del agua son reportados en el datalogger. El *ZENO-3200* está programado para registrar y almacenar la información de los distintos sensores cada 15 minutos.

El *ZENO 3200* es un sistema versátil de bajo consumo, con una adquisición de datos de 32 bits, proceso, almacenaje y transmisión de datos de diferentes sensores. Es un sistema de operación independiente para su uso remoto en diferentes situaciones climáticas que resulta ideal para el uso en el sistema de la boya, soportando las condiciones a las que será expuesto. *Manual en el Anexo IV*