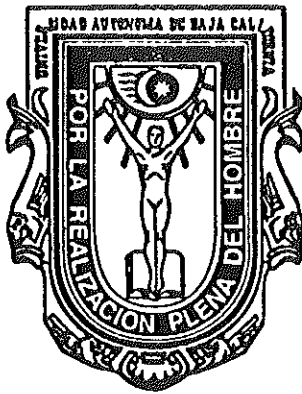


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



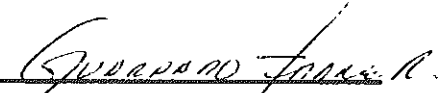
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CORRIENTIMETRO

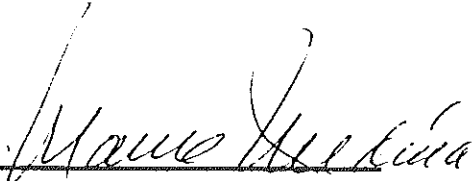
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA
MIGUEL ANGEL TENORIO SANCHEZ

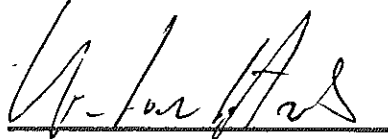
ENSENADA B.C. JUNIO 1995

**DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE UN
CORRIENTIMETRO**

**TESIS
QUE PRESENTA
MIGUEL ANGEL TENORIO SANCHEZ**


Presidente del jurado
OCEAN. Rigoberto Guardado France


Sinodal
ING. Mauro Medina Hernández


Sinodal
OCEAN. Victor Gutierrez San Roman

Resumen

Muchos de los procesos físicos, químicos, geológicos y biológicos que ocurren en el océano son originados por los sistemas de corrientes. El viento, la marea, el oleaje, y los efectos termohalinos, son los principales factores generadores de corrientes en el mar, los cuales logran desplazar grandes masas de agua.

Los registros y estudios sobre corrientes actualmente son utilizados para el desarrollo y planeación de obras marítimas, explotación de recursos marinos renovables y no renovables, problemas de dispersión de contaminantes en el océano, fenómenos o procesos naturales y como estudios fundamentales en la toma de decisiones para el aprovechamiento de zonas turísticas, industriales y de reserva ecológica, lo que permite a un país aprovechar sus recursos, diversificar su economía y mantener su desarrollo.

Atendiendo a estas necesidades se han fabricado una gran cantidad de corrientímetros que registran la velocidad y dirección de las corrientes principalmente. Estos aparatos funcionan bajo diferentes principios como son, electromagnéticos, mecánicos, acústicos, radio comunicación y radio satélite entre otros.

La fabricación de nuevos aparatos que sean económicos y prácticos con respecto a los ya existentes es una alternativa para el investigador o cualquier persona interesada en el monitoreo de corrientes en el océano, e incluso para el desarrollo de programas a nivel nacional. Es por ello que se realizó el diseño y la fabricación de un corrientímetro considerando las características y problemas de aparatos ya fabricados y comercializados, así como la experiencia de personal técnico y científico encargado de la operación de este tipo de aparatos.

El aparato fabricado posee las siguientes características: Es autónomo, su funcionamiento es mecánico, es económico y práctico de manejar con respecto a los corrientímetros comerciales, utiliza el método Euleriano para medir y puede ser utilizado a cualquier profundidad excepto en la zona de influencia del oleaje.

Se mencionan las características, funcionamiento y límites del aparato fabricado, así como una comparación de las ventajas y desventajas de este con respecto a otros aparatos utilizados en el mundo.

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

Al Ocean. Rigoberto Guardado, al Ocean Victor Gutierrez y al Ing. Mauro Medina Por haber tenido confianza en la fabricación del corrientímetro.

A todos los maestros de la Facultad de Ciencias Marinas que directa o indirectamente colaboraron en mi formación.

A mis amigos

A José Ma. Robles y a Carlos Flores por su ayuda.

A Armando Ledo M. y Miguel A. (San Miguel) por el tiempo dedicado a la fabricación del corrientímetro.

Y a todas las personas que participaron en el desarrollo del Macs1.

D E D I C A T O R I A

A mi madre y a mi padre

La Sra. Ma. del Carmén Digabrielly

El Sr. Benito Tenorio Reyes

A mis abuelos

La Sra. Bertha Digabrielly y el Sr. José Reyes

A mi hermana y a mi novia

I N D I C E

	Pag.
1.- Introducción	1
2.- Antecedentes	4
3.- Objetivo	7
4.- Desarrollo	8
5.- Etapa A Investigación bibliográfica y entrevistas.	9
6.- Etapa B Realización del diseño	10
7.- Etapa C Búsqueda de materiales	17
8.- Etapa D Fabricación de prototipos y pruebas	17
9.- Etapa E Fabricación del diseño final	19
10.- Etapa F Pruebas de campo y Calibración del aparato	24
11.- Etapa G Cuidados, límites y comparación del diseño	26
12.- Discusiones	29
13.- Conclusiones	31
14.- Bibliografía	32
15.- Manual de ensamblaje	34

I N D I C E D E F I G U R A S

	Pag.
Figura 1.- Amarre de tipo I	13
Figura 2.- Amarre de tipo U	13
Figura 3.- Prototipo de fierro y acrílico	17
Figura 4.- Prototipo de fibra de vidrio y fierro galvanizado	18
Figura 5.- Veleta	20
Figura 6.- Boya maestra	20
Figura 7.- Rotor de tipo anemómetro	21
Figura 8.- Columna metálica	21
Figura 9.- Circuito electrónico	22
Figura 10.- Esquema de un canal de inundación para calibración	25

I N D I C E D E T A B L A S

	Pag.
Tabla 1.- Comparación de las principales características de cuatro corrientímetros.	10
Tabla 2.- Datos de tiempo, Velocidad y revoluciones por minuto utilizados para la calibración del aparato.	25
Tabla 3.- Comparación de las velocidades medidas con una boya y el corrientímetro Macs1.	26
Tabla 4.- Comparación de las características, entre diferentes tipos de corrientímetro.	28

Introducción

Existen diferentes factores que originan la formación de corrientes en el océano, tales como el viento, la marea, el oleaje y los efectos termohalinos, que actúan desplazando grandes masas de agua originando diferentes procesos y fenómenos naturales.

El viento es uno de los factores más activos en la generación de corrientes, los movimientos que éste produce son horizontales y verticales debido al esfuerzo cortante que experimenta la superficie del agua al soplar este sobre una área determinada, provocando surgencias en algunas zonas incrementando la concentración de nutrientes y la pesca de la región (Thurman V. Harold 1985). El desplazamiento vertical en algunas ocasiones pueden ser hasta de cientos de metros por debajo de la superficie del agua (Grant Gross M 1971).

La marea es otro factor generador de corrientes, la cual provoca cambios notables en el nivel del mar sobre todo en zonas costeras. La característica principal de este tipo de corrientes es su periodicidad y su magnitud que varía según el lugar, este tipo de corrientes comúnmente son aprovechadas para la obtención de energía eléctrica (Frias y Moreno 1986).

El oleaje genera corrientes en dos direcciones: normales o paralelas a la costa, la importancia de estas corrientes radica fundamentalmente en el transporte y distribución de sedimentos así como la formación de estructuras de protección natural que modifican y determinan constantemente las características de la zona costera (National Research Council, 1990).

La medición de corrientes en el océano se realiza a nivel mundial e incluso algunos países como Estados Unidos de Norte America mantienen programas nacionales de monitoreo en sus costas , generando una gran cantidad de información que es utilizada para diferentes fines como la planeación y desarrollo de obras de ingeniería marina, explotación y aprovechamiento de importantes recursos marinos no renovables como el petróleo, problemas de dispersión de contaminantes, procesos y fenómenos naturales , todo enfocado a satisfacer las necesidades actuales del hombre (Dera Jerzy 1992).

Debido a esto se ha generado una gran variedad de aparatos en todo el mundo que miden las principales características de las corrientes (velocidad, dirección , temperatura, salinidad).

Los principios bajo los cuales funcionan estos corrientímetros son: mecánicos, electromagnéticos, acústicos, de radiocomunicación y de radiosatélite, utilizando solamente dos métodos de medición, el Euleriano y el Lagrangiano; los cuales consisten en la medición de corrientes desde un punto fijo y en la utilización de objetos a la deriva respectivamente (Pickard L. and Emery William,1982), sin embargo cualquiera que sea el principio y el método que utilicen, estos se encuentran expuestos a efectos asociados al medio, como son el efecto de boyancia provocado por el oleaje y el de deriva causado por la intensidad de la corriente, estos dos efectos provocan un mal funcionamiento de los aparatos.

Los aparatos comerciales más utilizados son los General Oceanic, Inter-Oceanic, Endeco y mundialmente los Aanderaa. Estos aparatos tienen costos por arriba

de los 5,000 Dlls y este se ve incrementado por los gastos de reparación y mantenimiento que requieren (Joaquín García Cordova et. al.1994).

El desarrollo de nuevos corrientímetros que sean económicos, prácticos y que requieran de muy poco mantenimiento con respecto a los ya fabricados y comercializados, sería una alternativa para facilitar el registro de datos a investigadores o a cualquier persona interesada en el monitoreo de corrientes, y una contribución a la fabricación de tecnología que se demanda en el país.

Considerando esto se fabricó un corrientímetro que permite conocer la velocidad, dirección y temperatura de las corrientes generadas en el océano, es autónomo y reúne las características mencionadas anteriormente.

Para poder diseñar y fabricar el aparato se consideraron algunas características de aparatos comerciales, la opinión de personal encargado del manejo de corrientímetros, y la información generada por personas e instituciones dedicadas a la fabricación de este tipo de aparatos.

El aparato fabricado funciona de acuerdo al método Euleriano, es electromecánico, mide solo componentes horizontales de la velocidad en profundidades por abajo de la zona de influencia del oleaje, utiliza un sistema de adquisición de datos interno (micro-procesador) el cual le permite registrar y almacenar la información durante un tiempo determinado (autónomo).

Este puede ser empleado con los dos tipos de amarre convencionales utilizados en otros aparatos comerciales, o utilizarse solo sin la ayuda de boyas auxiliares que lo sostengan excepto la de marcaje.

El aparato puede ser empleado para realizar perfiles de corrientes.

Los materiales con que se fabricó este aparato son resistentes a la acción corrosiva del agua de mar, y ligeros.

El corrientímetro aunque es funcional no está exento de sufrir los efectos asociados al medio externo como son el de boyancia y el de deriva principalmente, que son los efectos a los que se enfrentan este tipo de aparatos.

Su costo de fabricación es de 800 Dlls.

ANTECEDENTES.

Se han desarrollado una gran variedad de corrientímetros para fines específicos durante los últimos años, algunos de ellos resultan ser tan sofisticados que sus costos son muy elevados y su operación complicada, restringiendo su uso solo para actividades científicas y no generales o informativas. También se han realizado compendios como el editado por la Universidad de Delaware (Curren Mesurement Delaware 1978) sobre el diseño, fabricación, comercialización y avances de corrientímetros ya existentes o que se encuentran en vías de desarrollarse.

Los principios más utilizados bajo los cuales operan estos aparatos son (Newman G. 1968):

- a) Contando las revoluciones de una propela horizontal o vertical que gira libremente sobre un eje (Raushelbach o Savonius rotor). La forma más eficiente de estas propelas aún no ha sido establecido.
- b) Midiendo la pendiente de un cable o cabo atado a un peso por un extremo y por el otro a una boya.
- c) Midiendo la presión ejercida por el flujo sobre un péndulo o esfera.
- d) Utilizando aparatos de ultrasonido que miden la diferencia de fase del sonido el cual viaja através del agua entre dos puntos fijos a distancia conocida.
- e) Midiendo las fuerzas electromotrices.
- f) Midiendo la tasa de enfriamiento de un termistor¹

METODOS DE MEDICION

Existen dos métodos de medición utilizados en las corrientes, el primero es el método Euleriano y es en el que se basan la mayoría de los corrientímetros fabricados como son:

El de Larson y Grant (1962), el cual cuenta con un pequeño termistor muy eficiente para medir movimientos de pequeña escala (Newman G. 1968).

El corrientímetro diseñado por Carrthers (1964); este instrumento registra los movimientos en todas direcciones en un intervalo de tiempo determinado utilizando propelas en cuatro direcciones; su función es para aquellas personas que desean saber la variación instantaneas de los movimientos del agua sobre uno o varios periodos de marea (Gordon Pirie R., 1977).

¹resistencia eléctrica sensible a los cambios de temperatura

También se han utilizado registros fotográficos en diversos diseños, por ejemplo el corrientímetro de propela D.H.I. (Joseph, 1954 cit. Neumann 1968). Este medidor es anclado en el fondo y se mantiene a una profundidad deseada registrando la información en una película filmica de 16 mm. Estos aparatos pueden trabajar por cuatro semanas bajo condiciones extremas.

Entre otros aparatos de registro fotográfico se encuentra el corrientímetro de Idrac (1927) el cual mide las componentes verticales de las corrientes de mar abierto (Pickard L. George and Emery Williams, 1982).

Otro tipo de aparatos utilizados son los electromagnéticos como es el Marsch-McBirney, el cual genera un campo magnético y van registrando las distorsiones que este sufre al pasar la corriente (Ocean Engineering and the Enviroment, 1985).

El corrientímetro mecánico de pulso de salida es otro aparato que se utiliza para medir corrientes utilizando una propela para registrar la velocidad de la corriente en profundidades superficiales (Current Measurement 1978).

Los corrientímetros electrónicos Richardson son mecánicos y registran la velocidad en base a una propela calibrada y a un contador de revoluciones, estos se colocan en el fondo del mar y son recuperados posteriormente junto con el cassette donde se grabo la información (Newman G.,1968).

Existen aparatos más modernos como son los General-Oceanic que miden el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal utilizando un inclinómetro calibrado por el fabricante. Este aparato se monta sobre un cabo amarrado a un peso

por un extremo y por el otro a una boya (Current Measurement 1978; General-Oceanic operations and service manual, 1988).

Los Ritter-Ocean, Endeco y Aanderaa, utilizan una propela o rotor y una veleta. Los tres aparatos se montan en amarres similares al del aparato anterior (Current Measurement 1978; Endeco operations and service manual, 1986; Aanderaa RCM7 operations and service manual, 1989).

El segundo método es el Lagrangiano, aplicado en aparatos como el fabricado por Hersey (1952), este mide las corrientes utilizando aparatos acústicos bajo el principio del efecto Doppler registrando la variación de velocidad con respecto a un pequeño volumen de agua, este método ha sido utilizado en varios trabajos oceanográficos (Newman G., 1968).

El uso de radares y satélites utilizando boyas de marcación (Ocean Engineering and the Environment, 1985).

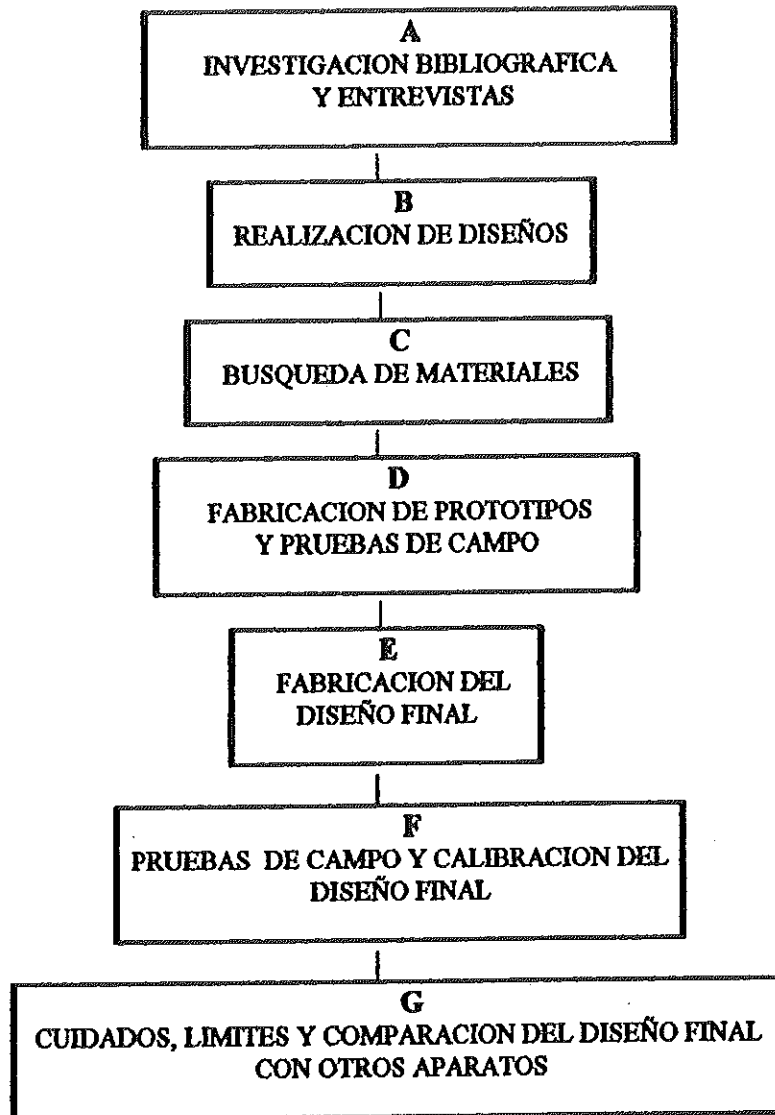
Los estudios realizados por la Universidad Autónoma de Baja California generalmente son utilizando flotadores a la deriva, que son posicionados cada determinado tiempo en base a puntos conocidos de una poligonal abierta playera (Frias V. Armando y Moreno C. Gonzalo, 1986).

OBJETIVO.

Diseñar y fabricar un corrientímetro autónomo que sea económico y fácil de operar, con respecto a los ya fabricados y comercializados.

DESARROLLO

Para el diseño y fabricación del corrientímetro se desarrollaron las siguientes etapas:



ETAPA A

INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA Y ENTREVISTAS

Para desarrollar esta etapa se utilizó bibliografía referente a corrientímetros ya fabricados y comercializados, así como información obtenida de entrevistas a instituciones como el Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada C.I.C.E.S.E. y la generada por instituciones como la Universidad de Delaware (1978), interesada en la fabricación y desarrollo de corrientímetros en el mundo. También se recurrió a conceptos de mecánica de fluidos que se aplicaron en el diseño.

INFORMACION BIBLIOGRAFICA

Los corrientímetros más comerciales y utilizados por instituciones como C.I.C.E.S.E. son los fabricados por Inter Oceanic, General Oceanic, los llamados Endeco y Aanderaa, estos corrientímetros tienen las siguientes características:

Tabla 1. Comparación de las principales características de cuatro corrientímetros comerciales .

CORRIENTIMETROS	PRINCIPIO	PARAMETROS MEDIDOS	FORMA DE REGISTRO	OBSERVACIONES
General Oceanic	Inclinómetro	Velocidad Dirección Temperatura	Cinta magnética	Mediciones con respecto al norte magnético
Inter Oceanic	Rotor Veleta	Velocidad Dirección	Papel análogo	Fácil transporte
Endeco	Rotor Veleta	Velocidad Dirección	Cinta filmica	Datos procesados de manufactura
Aanderaa	Rotor Veleta	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad	Cinta magnetica	Fácil transporte

Este tipo de aparatos aunque operan de diferentes formas, son influenciados de igual manera por los efectos asociados al medio, ocasionandoles problemas en su funcionamiento (Joaquín García Cordova et. al. 1988 y 1994; Current Measurement, 1978; Ocean Engineering and the Environment, 1985).

Efectos (asociados al medio)

- Efecto de boyancia ocasionado por el oleaje (provoca desplazamientos verticales)
- Efecto de deriva determinado por la magnitud de la corriente (provoca desplazamientos horizontales y verticales)

Tabla 1. Comparación de las principales características de cuatro corrientímetros comerciales .

CORRIENTIMETROS	PRINCIPIO	PARAMETROS MEDIDOS	FORMA DE REGISTRO	OBSERVACIONES
General Oceanic	Inclinómetro	Velocidad Dirección Temperatura	Cinta magnética	Mediciones con respecto al norte magnético
Inter Oceanic	Rotor Veleta	Velocidad Dirección	Papel análogo	Fácil transporte
Endeco	Rotor Veleta	Velocidad Dirección	Cinta filmica	Datos procesados de manufactura
Aanderaa	Rotor Veleta	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad	Cinta magnetica	Fácil transporte

Este tipo de aparatos aunque operan de diferentes formas, son influenciados de igual manera por los efectos asociados al medio, ocasionandoles problemas en su funcionamiento (Joaquin Garcia Cordova et. al. 1988 y 1994; Current Measurment, 1978; Ocean Engineering and the Envirument, 1985).

Efectos (asociados al medio)

- Efecto de boyancia ocasionado por el oleaje (provoca desplazamientos verticales)
- Efecto de deriva determinado por la magnitud de la corriente (provoca desplazamientos horizontales y verticales)

- Efectos provocados por Eventos climatológicos extremos
- Acción corrosiva del agua de mar
- Actividades costeras

Problemas (dependiendo el diseño)

- Sistema de amarre
- Posición del aparato
- Funcionamiento de sensores y registro de datos
- Resistencia de materiales
- Sellos y empaques
- Calibración

ENTREVISTAS

La siguiente información sobre corrientímetros fue obtenida de entrevistas realizadas a técnicos y científicos encargados del manejo y operación de corrientímetros en C.I.C.E.S.E. para conocer más acerca de las características técnicas de los aparatos y las necesidades de los investigadores (Entrevistas realizadas a Robles Pacheco José Ma. y Flores Cabrera Carlos F. 1994-1995, C.I.C.E.S.E. Ensenada B.C.).

CORRIENTIMETROS

- Los aparatos utilizados por C.I.C.E.S.E. son los General Oceanic, Inter Oceanic, Aanderaa y Endeco.
- Los aparatos más utilizados en el mundo son los Aanderaa.
- Todos estos aparatos funcionan de acuerdo al método Euleriano.
- Estos aparatos solo miden componentes de velocidad horizontal.

- Los aparatos son fabricados pensando en su utilidad y funcionamiento bajo condiciones diversas, sin embargo estos tienen un límite ya que sería imposible o muy poco factible fabricar un corrientímetro que atienda todas las necesidades y funcione bajo cualquier medio físico del océano.
- La respuesta dinámica es un problema frecuente ya que aunque los diseños se someten a pruebas de laboratorio en estanques de flujo, las condiciones no se pueden igualar a las reales.
- El tamaño de algunos aparatos dificulta su transporte.

AMARRES UTILIZADOS (International Buoy Technology Symposium, 1987; Joaquin Garcia Cordova et. al. 1988 y 1994; Current Measurement, 1978; Ocean Engineering and the Environment, 1985).

El sistema de amarre que utilizan la mayoría de estos aparatos comerciales es el amarre de tipo I y el amarre de tipo U, siendo estos los más sencillos de instalar. Existen otros tipos de amarres de diferentes formas y complicada instalación como es el de torre, pirámide, líneas paralelas, rejillas, araña y anillo entre otros.

AMARRE TIPO I

Este amarre requiere de una boya subsuperficial que sostiene el cabo donde se colocan los aparatos (línea instrumentada), y el cual se encuentra amarrado a un peso. Este sistema de amarre evita los efectos de boyancia provocados por el oleaje y mantiene a la línea instrumentada tensa por la flotabilidad de la boya.

En algunas ocasiones se utilizan liberadores acústicos, los cuales funcionan al recibir una señal desde de la superficie para activar el mecanismo que libera a la línea instrumentada (figura 1.).

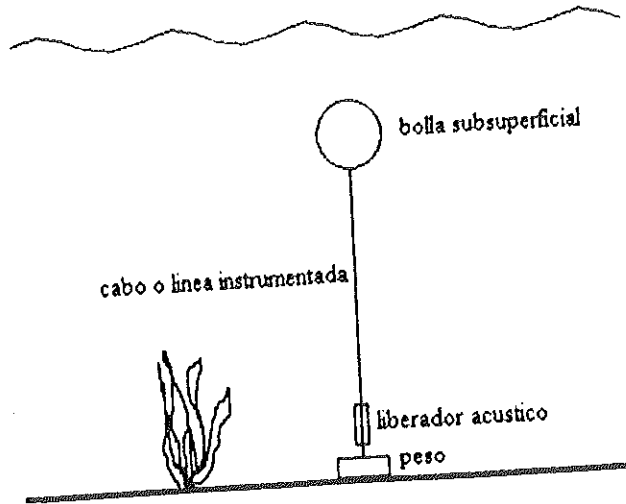


Figura 1. Amarre de tipo I.

AMARRE TIPO U

Este tipo de amarre requiere de una bolla subsuperficial como la del tipo I, y una bolla superficial como señalamiento para facilitar la localización de los aparatos (figura 2.).

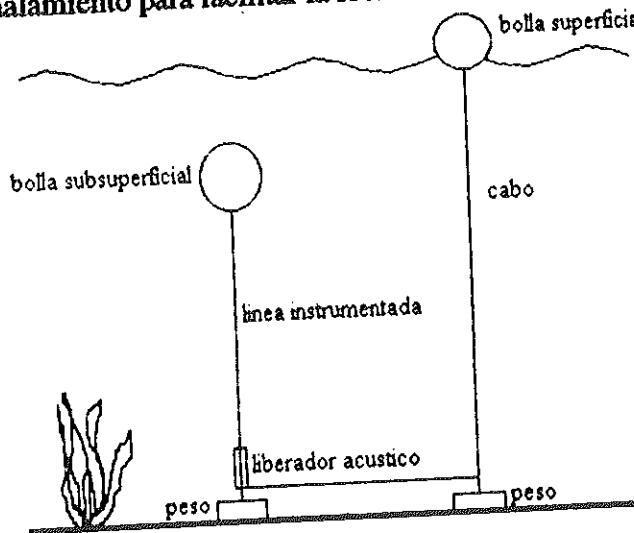


Figura 2. Amarre de tipo U.

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS (Joaquin Garcia Cordova et. al. 1988 y 1994; Current Measurement, 1978; Ocean Engineering and the Enviroment, 1985; Endeco operations and service manual, 1986; Aanderaa RCM7 operations and service manual, 1989; General-Oceanic operations and service manual, 1988).

- El software que presentan algunos aparatos, dentro de sus limites son flexibles a las necesidades del investigador, teniendo la opción de obtener datos crudos, promedios y estadísticos (no todos los aparatos lo presentan).
- El número y los tiempos de muestreos dependen de la capacidad de memoria que tenga el aparato, el diseño y las necesidades del investigador.
- Algunos aparatos traen sensores de temperatura y presión, para dar más precisión a
 - Los datos tomados y conocer exactamente la profundidad a la que se encuentra el aparato.
- La mayoría de los aparatos corrigen la dirección de la corriente utilizando el norte magnético por manufactura.
- Hasta el momento no existe una empresa que se encargue de la elaboración de un formato estandard para la adquisición de datos, ya que cada aparato funciona bajo principios diferentes.
- Por el momento sólo se utilizan registros internos (memoria).

COSTOS (Joaquin Garcia Cordova et. al. 1988 y 1994; Endeco operations and service manual, 1986; Aanderaa RCM7 operations and service manual, 1989; General-Oceanic operations and service manual, 1988).

- El costo de estos aparatos fluctua entre los 5,000 Dlls y los 70,000 Dlls.
- El costo se ve incrementado por los gastos de mantenimiento y reparación.

La Universidad de Delaware en 1978 (Current Measurement 1978) realizó una encuesta a personas e instituciones mundiales dedicadas al diseño y construcción de corrientímetros con la finalidad de recopilar información acerca de los principales usos, aplicaciones, características, avances y problemas de estos aparatos, a continuación se presenta esta información en orden de importancia :

- El principal uso que se le da a los corrientímetros es de:

1. Investigación científica
2. Monitoreo del medio ambiente
3. Ingeniería oceánica
4. Operaciones de supervisión

- Las áreas donde se realizan estudios con corrientímetros

1. Estuarios y zonas costeras
2. Plataformas continentales
3. Océano profundo

- La profundidad a la que se realiza los estudios

1. Cerca de la superficie y capa de mezcla.
2. Fondo
3. Superficie y océano abierto.

- El rango de velocidad promedio:

1. 10-50 cm/s.
2. 0-10 cm/s y 50-100 cm/s.
3. Mayores a 100 cm/s.

- Los tipos de estudios.

1. Dinámica del océano.
2. Distribución de contaminantes por petróleo.
3. Ingeniería oceánica.
4. Pesquerías y distribución de nutrientes.
5. Climatología.

- Los tipos de fenómenos medidos

1. Inducidos por el viento.
2. Marea.
3. Circulación General.
4. Surgencias y efluentes.

- Método utilizado.

1. Euleriana.
2. Lagrangiana.
3. Perfiles.

- Tiempo que duran las mediciones.

1. 1-3 hrs.
2. Mayores 1hrs. y menores a 13 hrs.

- Rango de error en la velocidad de los aparatos:

1. +/- 1cm/s
2. +/- 3 cm/s.
3. +/- 2 cm/s.
4. 5 cm/s.
5. + 5 cm/s.

- El rango de error en la dirección:

1. +/- 5-9°.
2. +/- 10-14°.
3. 0-4°.
4. Mayores de 15°.

- La duración del muestreo:
1. Meses importantes.
 2. Semanas importantes.
 3. Meses-años importantes.
 4. Días o años importantes.

- Forma de registrar los datos:
1. Cinta magnética.
 2. Procesadores.
 3. Registro filmico.
 4. Radio telemetría.

PROBLEMAS MAS SIGNIFICANTES (Current Measurment, 1978; Joaquin Garcia Cordova et. al. 1988 y 1994; Ocean Engineering and the Envirument, 1985.)

- Realizacion del aparato.
- Registro de datos
- Exactitud del aparato.
- Amarre
- Factibilidad
- Costo

La mayoría de los fabricantes consideran más importante una precisión exacta (capacidad del aparato para poder repetir una medida) (Current Measurment, 1978).

ETAPA B

DISEÑOS

Para comenzar a realizar los diseños se determinó utilizar el método Euleriano por ser el menos complicado de los dos métodos y por utilizar menos elementos para su funcionamiento.

Se realizaron varios diseños en base a la información de la etapa anterior, atendiendo principalmente a los efectos y problemas más comunes en este tipo de aparatos sin olvidar los objetivos de este trabajo.

Se analizó la forma, sensibilidad y funcionamiento teórico de cada diseño, tomando en cuenta la mecánica de fluidos en cuerpos geométricos.

Se pensó en diferentes sistemas de registro de tipo mecánico y electrónico.

ETAPA C

BUSQUEDA DE MATERIALES

Para la fabricación de los diseños elegidos se investigaron las propiedades y manejo de diferentes materiales como acrílico, fibra de grafito y fibra de vidrio, plástico, acero inoxidable, fierro, resina epoxica y otros materiales, con el fin de elegir los materiales más ligeros y resistentes a la corrosión del agua de mar (Practical Hand-Book of Marine Science, 1990).

ETAPA D

PROTOTIPOS Y PRUEBAS

Una vez seleccionados los materiales posibles a utilizar se fabricaron dos prototipos, los cuales fueron puestos a prueba en agua y viento para analizar su funcionamiento y observar las cualidades de los materiales empleados, observe las siguientes figuras.

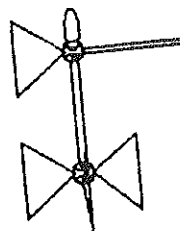


Figura 3. Prototipo de acrílico y fierro.

CARACTERISTICAS

- El prototipo A se fabricó de fierro galvanizado, acrílico, resina epoxica y silicón.
- La forma de la veleta y de la propela es plana, y estan sostenidas por un armazón de fierro con eje de valeros de vidrio.
- La propela es del tipo Raushelbach.
- El prototipo se basa en el método Euleriano.

Nota: Este Prototipo fue probado en aire y se desecho por presentar problemas mecánicos y de forma.

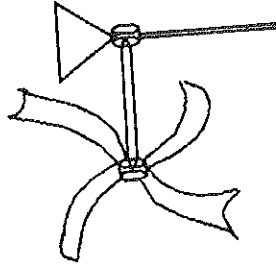


Figura 4. Prototipo de fibra de vidrio y fierro glavanizado.

CARACTERISTICAS

- Este se fabricó de fierro galvanizado, fibra de vidrio y grafito y resina epoxica.
- La forma de la veleta es plana y la de la propela es concava de tipo Raushelbach.
- El prototipo se basa en el método Euleriano.

Nota: Este prototipo fue probado en aire y agua, se desecho por presentar problemas de peso, forma y mecánicos.

ETAPA E

DISEÑO FINAL

En el diseño final se contemplaron todos los factores mencionados en la etapa A, B y C así como los resultados de los dos prototipos anteriormente fabricados junto con un análisis de la mecánica del fluido (comportamiento de cuerpos geométricos dentro de fluidos) para determinar la forma del aparato que evite o disminuya los problemas provocados por fricción y movimiento, impidiendo su buen funcionamiento. Al corrientímetro de le llamo Macs1.

JUSTIFICACION DE DECISIONES SOBRE EL DISEÑO

- La forma que se determinó fué la esférica por presentar la menor resistencia ante un flujo, este concepto se aplico a cada una de las partes del corrientímetro .
- Los materiales empleados se eligieron por ser ligeros y resistentes.
- La disposición de las partes del aparato se determino para hacer más sencilla la instalación del sistema electrónico.
- El sistema de amarre se eligió para facilitar la instalación del corrientímetro y su recuperación del mar.
- Se decidió que el aparato funcionara como boya para evitar el uso de boyas auxiliares.

A continuación se presentan las características del corrientímetro y su funcionamiento.

PARTES DEL CORRIENTIMETRO Y MATERIALES EMPLEADOS

El diseño cuenta con :

- Una veleta (V) de acrílico, plástico y acero inoxidable para medir la dirección de la corriente.

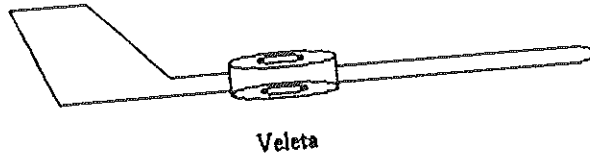


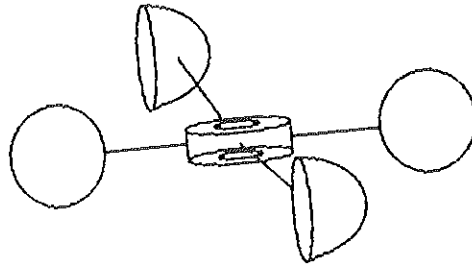
Figura 5. Veleta

- Una boya maestra (bm), fabricada de plástico y cubierta de fibra de grafito, en ella se ha colocado el sistema de adquisición de datos y la electrónica del aparato.



Figura 6. Boya Maestra

-Un rotor tipo anemometro (R), esta fabricado de acero inoxidable, plástico y resina.



Rotor

Figura 7. Rotor tipo anamómetro

-Una columna metálica que ha sido fabricada de acero inoxidable al igual que las argollas de amarre.

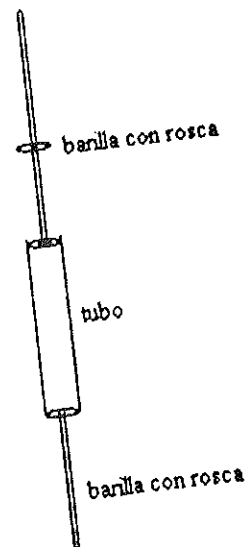


Figura 8. Columna Metálica

-El centro de la veleta como el del rotor son de plástico.

SISTEMA ELECTRONICO

El sistema electrónico cuenta con:

- Un micro-procesador Pic 16c 71 Microchip.
- Memoria Atmel 24c 64 Kb (8192×8) para 28 días en intervalos de 5 min.
- Amplificadores LM301.
- Sensor de temperatura AD592 An.
- Sensor de dirección, Potenciométrico de 20K Mod. Spectrol 132-00-0203.
- Sensor de Velocidad Omron Switch magnético Mod. AC482-10.
- Tarjeta de circuito impresa de fibra de vidrio.
- Baterías 4×1.5vlt. no magnéticas 6vlt. 1.5 AH suficiente para 30 días en intervalos de 1min.
- Almacenamiento digital y salida de tiempo real.
- Software en lenguaje ensamblador.

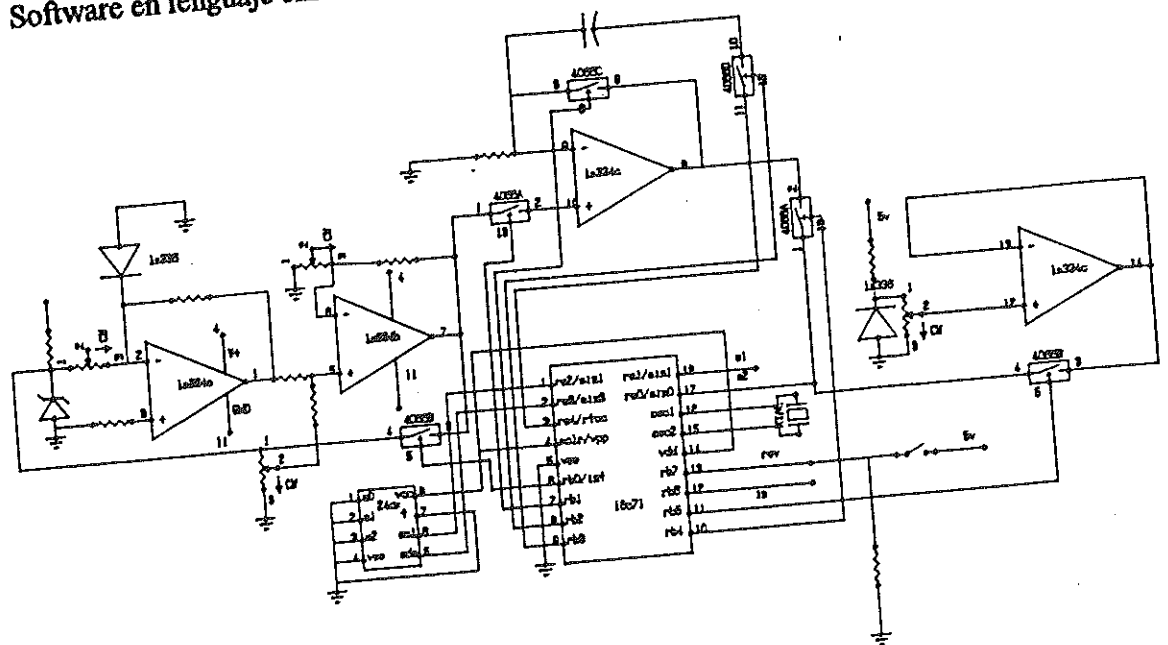


Figura 9. Circuito electrónico.

FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de este corrientímetro es electromecánico utiliza únicamente tres sensores uno de velocidad instalado en el rotor, otro de dirección instalado en la veleta y uno más de temperatura instalado en la parte superior del corrientímetro. El sensor de velocidad es un interruptor magnético que abre y cierra el circuito cada vez que pasan cada uno de los cuatro imanes instalados a 90° uno de otro en el eje del rotor.

El sensor de la dirección es un potenciómetro que mide de $0-360^\circ$. El cero del sensor debe ser referido al norte ya que no tiene compás magnético.

El sensor de temperatura es muy sensible a los cambios de temperatura.

Los tres sensores se encuentran conectados a un circuito electrónico en el que un micro-procesador se encarga de estructurar y almacenar los datos en una memoria. el tiempo de muestreo es en intervalos de 1, 5 y 10 minutos.

Estos datos pueden ser almacenados durante un mes si se muestrea cada 5 minutos.

La forma del rotor, de la veleta y de la boya maestra esta diseñada para actuar con sensibilidad ante una corriente, ya que se hizo una combinación de caras planas y circulares expuestas al flujo que permite el libre movimiento en el caso de la veleta y rotor, o la menor resistencia posible en el caso de la boya maestra.

Tabla 3. Comparación de las velocidades medidas con una boya y con el corrientímetro Macs1 para determinar exactitud.

velocidad de la boya cm/s	velocidad del corrientímetro cm/s
46.36	45.69
44.03	43.69
46.35	45.11
46.26	45.11
45.12	44.27
42.21	41.11
41.32	40.11
42.36	41.27
42.25	41.44
46.12	45.11

La exactitud del aparato es de ± 0.946 cm/s

ETAPA G

CUIDADOS DEL APARATO

CUIDADOS EN EL ARMAZON Y MECANICA

1. Cuando arme la b.m. revise que los empaques esten debidamente colocados y no presione demasiado la tuerca que sella la b.m.
2. No force ninguna pieza todas deben entrar adecuadamente.
3. El aparato puede utilizar una válvula de aire para poder bajar el aparato a profundidades mayores a los 20 m.
4. No exponga ninguna parte del aparato al fuego o a presiones muy fuertes.
5. No gire los extremos de la columna metálica ni de la boya maestra en sentidos puestas.
6. Antes de abrir la bolla, quite la V. y el R. y seque perfectamente la b.m.(cuando se recupere del agua).

7. Después de usar el aparato desármelo completamente y enjuague todas las partes con agua dulce, séquelas y guárdelas en un lugar seco. 27
8. Utilice un poco de vaselina en los empaques antes de meter el aparato al agua.
9. Oriente la veleta hacia el norte con ayuda de una brújula antes de introducirlo al agua y verifique la orientación al sacar el corrientímetro.
10. Una vez que ha orientado a la veleta coloque el arnés en posición adecuada para evitar que el aparato gire.

CUIDADOS EN LA ELECTRONICA

1. Mantenga sellada la electrónica durante el uso del aparato y después de este.
2. Revise las baterías antes de utilizarlo o por lo menos cada mes.
3. Revise siempre que los empaques de las tarjetas y de las baterías estén siempre en buen estado por si llegara a entrar agua al interior de la boya maestra.
4. No sobrepase el número de baterías requeridas.
5. Mantenga en buen estado los cables del circuito.

LIMITES DEL APARATO

- El aparato no puede medir flujos laminares.
- No puede medir en la zona de influencia del oleaje.
- No puede medir en zonas de rompiente.
- No puede medir con ángulos de inclinación mayores a 45°.
- No puede medir en profundidades mayores a 20m.
- No puede medir corrientes muy cercanas al fondo.
- Pueden ser colocados varios aparatos sobre una misma línea instrumentada.

COMPARACION CON OTROS CORRIENTIMETROS (Joaquin Garcia Cordova et al. 1988 y 1994; Current Measurment, 1978; Ocean Engineering and the Enviroment, 1985; Endeco operations and service manual, 1986; Aanderaa RCM7 operations and service manual, 1989; General-Oceanic operations and service manual, 1988).

Tabla 4. Comparación de las características entre diferentes tipos de corrientímetros comerciales, con respecto al corrientímetro Macs1.

CARACTERISTICA	Inter Ocean	General Oceanic	Endeco	Aanderaa	Macs1
Tipo de material	Aluminio Anodizado	Plastico y aluminio anodizado	Caja de presión de PVC	Aleación osnisl y epoxica	Fibra de grafito y plastico
Forma de medir	Propela Veleta	Inclinometro brújulafluxgate	Propela Veleta	Rotor Veleta	Rotor Veleta
Tipo de amarre	Fijado a un cable	Fijado a un cable	Fijado a un cable	Fijado a un cable	Fijado a un cable
Forma de registro	Papel análogo	Memoria sólida	Memoria solida	Memoria solida	Memoria solida
Tiempo de registro	c/2seg 10-50 min	1-152/hrs 1.32-10.55seg.	1seg-2hrs.	0.5,1,2,5,10, 20,30,60, 120 min	1,5,10 min.
Exactitud Vel. ,Dir y Temp.	2.5-300cm/s ±3cm/s 0-360° ± 4° -2-23°C	0-360 cm/s ±1cm/s 0-360° ± 2° -5-30°C	0-257cm/s ±2cm/s 0-360° ± 2° -5-45°C	2-295cm/s ±2cm/s 0-360° ±5° -.34-32°C	21-58.6cm/s ±2cm/s 0-360 ±2° -10-60°C
Mantenimiento	alto costo ¹	alto costo ¹	alto costo ¹	alto costo ¹	bajo costo ²
Costo	+ de 5000 Dlls	+ de 5000 Dlls	8000 Dlls.	+8000 Dlls.	800 Dlls.
Bateria	250días	+ de un año	un año	53-300días	60 días
Dimensiones y peso	110×30cm 25kg.	20×80 cm 20kg	120×40cm 35kg.	12.8×49cm 18.5kg.	28×33cm 5 kg.
CARACTERISTCA	Inter Ocean	General Oceanic	Endeco	Aanderaa	Macs1

Tipo de sensores ¹	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad	Velocidad Dirección Temperatura Presión conductividad	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad	Velocidad Dirección Temperatura Presión Conductividad
-------------------------------	---	---	---	---	---

DISCUSIONES

El corrientímetro fabricado Macs1 en cuanto a materiales, sistema de adquisición de datos y tipos de amarre empleados para su funcionamiento es muy similar a los demás corrientímetros, sin embargo la electrónica que utiliza el aparato no es tan sofisticada y tiene menos sensibilidad.

Los sensores utilizados y la mecánica empleada, dan solo una idea general de las mediciones que realiza este aparato, con las pruebas realizadas en el campo se comprueba que el diseño es funcional y su exactitud no está muy lejana de ser como la de los otros corrientímetros. El corrientímetro Macs1 como cualquier aparato tecnológico requiere de tiempo para poder lograr las modificaciones que le permitan poder obtener datos con una mayor exactitud. Estas modificaciones dependen de la demanda de este tipo de aparatos.

El límite superior e inferior de la velocidad mostrados en la tabla{4} fueron tomados de la máxima y mínima velocidad medida por el aparato en el canal de inundación, esto debido a que no se cuenta con un laboratorio especializado para poder establecer los límites y calibración del aparato.

¹ El costo del mantenimiento de estos aparatos se ve incrementado por el tipo de electrónica, costo de piezas sustitibles, material utilizado y por no existir centros de reparación ni personal capacitado en el país para el mantenimiento de estos corrientímetros.
² El costo de este aparato es bajo por tener una electrónica y piezas sustitibles de bajo costo y por existir el personal capacitado en el país para la reparación y mantenimiento a este corrientímetro.
³ Los sensores de temperatura, Presión y conductividad pueden ser opcionales en los aparatos.

que el costo del aparato fuera mucho menor por la doble función que cumpliría. Si se desea utilizar como anemómetro, antes deberá ser calibrado para viento, ya que solo se calibró en agua.

En cuanto a sus dimensiones el aparato es pequeño y muy ligero en relación con los aparatos mencionados en la tabla {4}. Es fácil de transportar y requiere muy poco mantenimiento.

CONCLUSIONES

- El corrientímetro Macs1 es un aparato de bajo costo, de fácil operación y transportación, el gasto de reparación y mantenimiento que requiere es mucho menor al que requieren los corrientímetros General-Oceanic, Inter-Ocean, Endeco y Aanderaa.
- El Macs1 puede ser una alternativa tanto para realizar estudios generales como para realizar estudios estrictamente científicos, si se mejora la sensibilidad de los sensores y se eliminan o minimizan los problemas de fricción.
- El costo de fabricación del corrientímetro en junio de 1995 es de 800 Dlls.
- El aparato tiene un uso alternativo para ser utilizado como anemómetro por lo que su costo es todavía menor al de los corrientímetros General-Oceanic, Inter-Ocean, Endeco y Aanderaa.
- Por el momento el aparato presenta ciertas deficiencias que pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades o intereses del comprador.

BIBLIOGRAFIA

Aanderaa RMC7. 1989, Operations and service manual, California, pp. 65.

Curren Measurement, 1978, Office of Ocean Engineering with the Delaware sea grant college program, Delaware, pp.372.

Dera Jerzy, 1992, Marine Physics, Elsevier,Polonia, pp.515.

Endeco Inc. Type 174 ssm. Solid Estate Memory, 1986 Operations and service manual,Massachusetts, U.S.A. pp.88.

General-Oceanic, 1988, Operations and service manual, California U.S.A., pp. 75.

Grant Gross M. 1971. Oceanography, Merrill Publishig Company, Columbus Ohio.pp. 138.

Garcia Cordova Joaquin, Robles Pacheco Jose Ma., Flores Cabrera Carlos F., Mancilla Perez . 1988. Comunicaciones Academicas serie Oceanografia Física , C.I.C.E.S.E., pp 35.

Garcia Cordova Joaquin, Robles Pacheco Jose Ma., Flores Cabrera Carlos F., Mancilla Perez . 1994. Comunicaciones Academicas serie Oceanografia Física , C.I.C.E.S.E., pp43.

Mts Buoy Comittee, 1987,Internacional Buoy Technology Simposium Exposición , Washington, pp. 557.

National Research Council, 1990,Commission on Engineering and Technical System. Committee on Coastal Erosion Zone Managment , Marine Board. Managing Coastal Erosion. National Academy Press. U.S.A. pp.182.

Neumann G. 1968 Ocean Currents. Elsevier Publishing Company. New York.
pp. 352.

Ocean Engineering and the Environment, 1985, Marine Technology Society
and Ocean Engineering Society, San Diego California, Vol. 2, pp. 689.

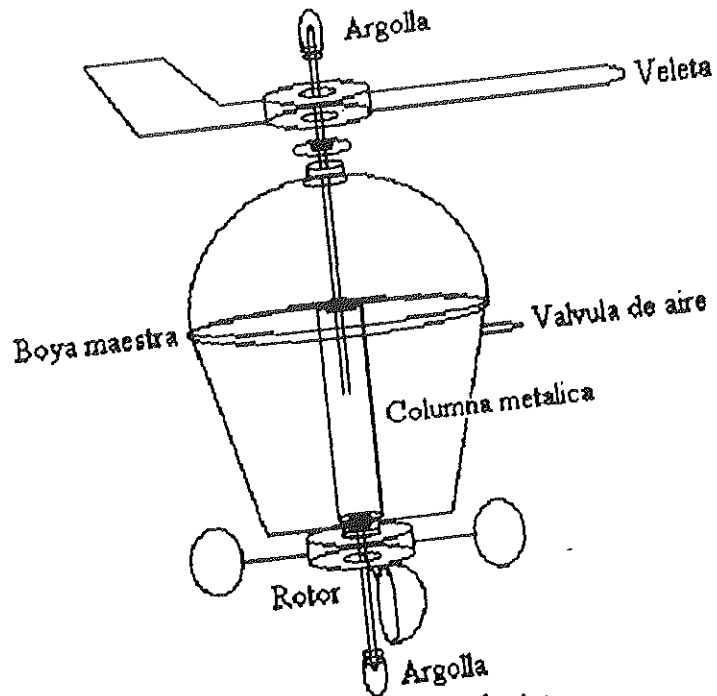
Pickard L. Georse and Emerl Williams, 1982, Descriptive Physical
Oceanography, Pergamon Press, cuarta edición, Gran Bretaña, pp. 249.

Selecciones de Scientific American, 1975, Oceanografía, H. Blume, Madrid,
pp. 475.

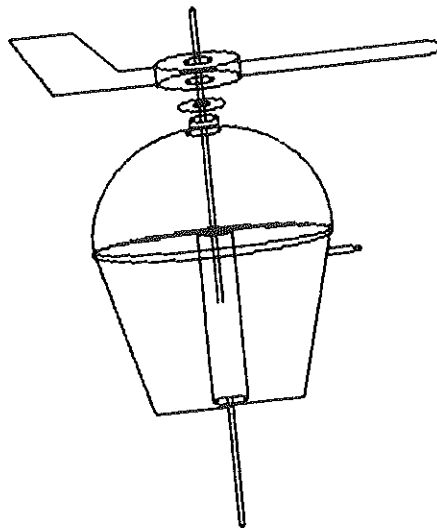
V. Thurman Harold. 1985. Introductory oceanography. Merrill Publishing
Company. Columbus. pp.503.

MANUAL DE ENSAMBLAJE DEL CORRIENTIMETRO Macs1.

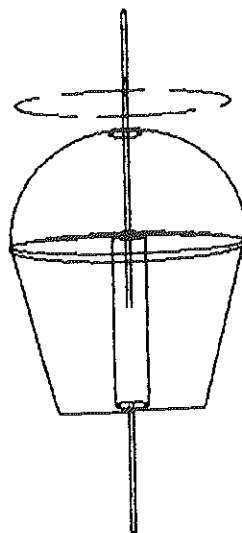
El corrientímetro Macs1 presenta los siguientes componentes.



- Para ensamblar el aparato haga lo siguiente:
1. Coloque la veleta (V) en la varilla metálica, una tuerca, una rondana y dos empaques y enrosque el trozo de barilla con rosca en el tubo de la parte cilíndrica hasta el límite.

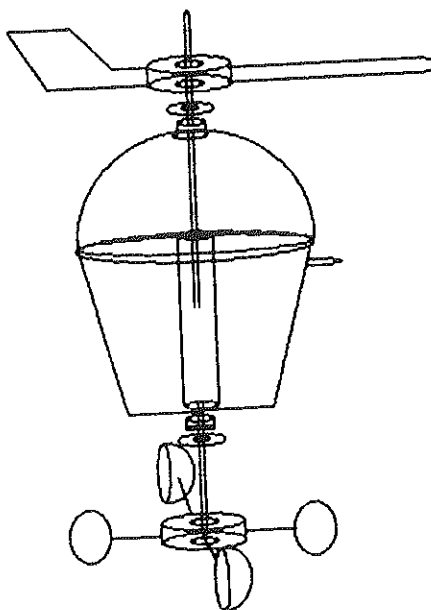


2. Baje la parte esférica y cierre la boya maestra, revise que el empaque entre la parte cilíndrica y la esférica este bien colocado, después gire la tuerca para que sellen los empaques de la parte superior de la boya maestra.

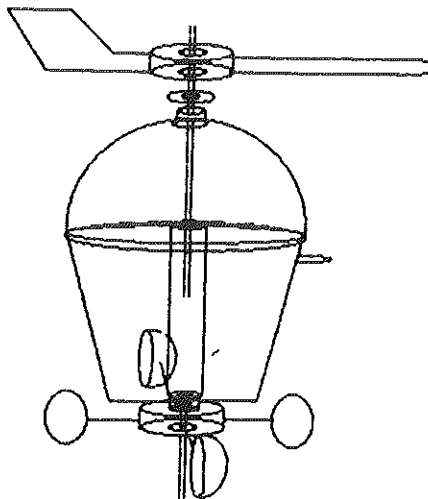


Boya maestra

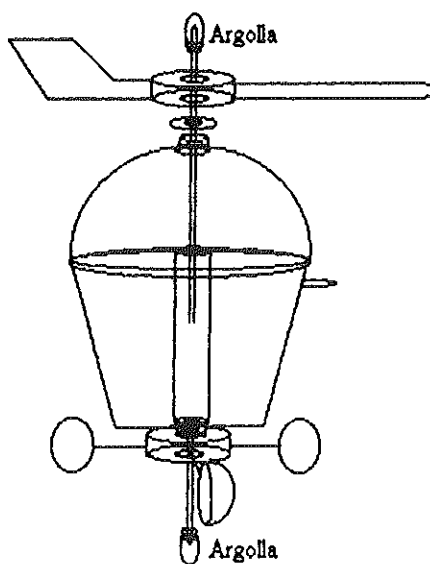
3. Coloque una rondana en la parte inferior de la b.m. y posteriormente coloque el rotor de tipo anemómetro con los imanes hacia arriba, después de colocar el rotor ponga dos rondanas, y una tuerca sin presionar el rotor.



4. Coloque el engrane sobre el sensor de dirección haciendolo coincidir con el de la veleta.



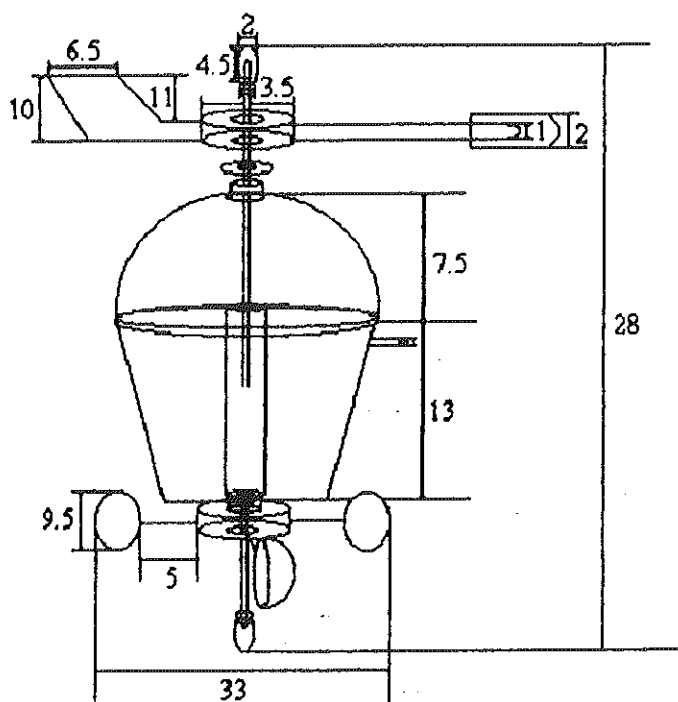
5. Coloque por último el arnes por abajo del rotor trasroscandolo con la tuerca .



DIMENSIONES DEL CORRIENTIMETRO

El aparato mide 28 cm. de altura y 15cm. de ancho en la parte media de la b.m.. La columna metálica tiene diferentes dimensiones, en la parte cilíndrica la columna mide 18.5 cm. de longitud y de diametro 1y .5 cm. Todas las medidas estan dadas en centímetros.

La medida de las tuercas es de 1 cm. de diametro, las rondanas de 1y 1.4 cm..



Las medidas estan dadas en cm.

OPERACION EN EL AGUA

Una vez que ha sido armado el aparato el corrientímetro se enciende en el momento que se coloque en el agua accionando el switch de encendido. 38

Para colocarlo en el agua se puede realizar la operación desde la superficie colocando primero el peso, un liberador acústico, el corrientímetro Macs1 y una boya de marcación. Se puede utilizar el tipo de amarre I o U mencionados en la etapa A.

Dentro del agua la veleta se posiciona de acuerdo a la dirección de la corriente y de igual forma el rotor comienza a girar registrando la velocidad de la corriente.

