



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

Unidad Académica  
Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Centro Universitario de la Costa Campus Pto. Vallarta

---

*PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE  
FUERZAS HIDRODINÁMICAS QUE ACTÚAN EN SISTEMAS  
ESTACIONARIOS PARA PESCA Y ACUACULTURA*

**T E S I S**

Para obtener el Grado de:  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA PESQUERA  
CON ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA DE CAPTURAS**

**P R E S E N T A N**

**FERMÍN MEDINA CARRILLO  
GERÓNIMO RODRÍGUEZ CHAVEZ**

Junio de 2006



Universidad Autónoma de Nayarit  
ESCUELA NACIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA

OFICIO NO. 335/06  
FECHA: 08/Junio/2006  
ASUNTO: Solicitud de Autorización  
de Examen de Grado

C. ING. ALFREDO GONZALEZ JÁUREGUI  
DIRECTOR DE SERVICIOS ESCOLARES  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT  
P R E S E N T E.

Por medio del presente le comunico a usted que el C. Fermin Medina Carrillo, ha presentado a satisfacción de la Comisión de Tesis su trabajo titulado "Propuesta metodologica para el estudio de fuerzas hidrodinámicas que actúan en sistemas estacionarios para pesca y acuacultura" por lo cual, le solicito su autorización a efecto de que realice su Examen de Grado correspondiente al Programa Académico Maestría en Ingeniería Pesquera con especialidad en Tecnología de Capturas.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano sus finas atenciones a la presente, me reitero de usted como su atento y seguro servidor.

ATENTAMENTE  
POR LO NUESTRO A LO UNIVERSAL  
EL DIRECTOR

ING. GERÓNIMO RODRIGUEZ CHAVEZ



C.c.p. Archivo,  
GRCH\*rp

## DECLARACIÓN DEL AUTOR

Se permite citas breves sin permiso especial del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Se podrá solicitar permiso por escrito al Director de la Escuela Nacional de Ingeniería en turno, con domicilio en Bahía de Matanchén Km 12, Carretera Los Cocos, Apdo. Postal 10, Código Postal 63740 San Blas, Nayarit, México. Teléfono 01 (323) 231-21-20, E-mail [enip@navar.uan.mx](mailto:enip@navar.uan.mx), para citas o consultas mas completas con fines académicos. En otras circunstancias, se deberá solicitar permiso del autor.

Fermin Medina Carrillo

[insurgentes316@yahoo.com.mx](mailto:insurgentes316@yahoo.com.mx)

## **AGRADECIMIENTOS:**

Se hace patente el agradecimiento al M. en C. Ignacio Méndez Gómez-Humaran, Director General de Investigaciones Pesqueras del Pacífico Sur, Salina Cruz, Oaxaca, por las facilidades otorgadas para que este proyecto pudiera ser realizado; al Subdirector de Tecnología Ing. Andrés Antonio Seefoó Ramos; al personal de investigación M. en C. Miguel Ángel Flores, M. en C. Raúl Samuel Ulloa Herrera, Ing. Hildail Aron Gil López, Rigoberto Rojas Crisóstomo, Herlindo Ramírez García, Víctor Hugo Martínez Magaña y Martín Ramírez Gutiérrez.

A la Dirección de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, por el apoyo institucional y material necesario para el desarrollo de este trabajo.

Al Mtro. Cervando Córdoba Jug, director de este trabajo de tesis y por su valiosa cooperación en el trabajo de campo y aportación de datos técnicos de construcción de las jaulas flotantes.

Al Mtro J. Trinidad Nieto Navarro asesor de tesis, por su asesoría durante el trabajo de gabinete y constante revisión de resultados y sus valiosos comentarios.

A mis compañeros maestros del programa académico de Ingeniero Pesquero con opción terminal en Tecnología de Capturas por su constante apoyo que animaron mi esfuerzo por concluir el presente trabajo.

Fermin Medina Carrillo

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS PADRES:**

Por orientarme hacia el camino de la superación y por los apoyos que siempre recibí de su parte.

### **A MI ESPOSA:**

Por compartir junto a mí tantos sueños y soportar todas mis torpezas.

### **A MIS HIJOS IVÁN, HUGO, GERONIMO Y DELIA:**

Porque ustedes son el propósito de todos mis sueños de superación.

### **A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT:**

Por brindarme la oportunidad de superación académica y ofrecerme un empleo profesional.

### **A MIS MAESTROS:**

Por despertar en mí el deseo permanente del saber.

Gerónimo Rodríguez Chávez

## DEDICATORIA:

A mi esposa e hijas que son el más importante motivo por el que emprendo tareas que me hacen crecer y manifestar mi amor por ellas; porque con ellas comparto felizmente los frutos del trabajo, mis horas de descanso y en el hogar de su agradable compañía.

A mis padres Delfino y Enedina † porque me han dado la herencia más grande que un hijo pueda recibir: su apoyo, comprensión, ejemplo, sabio consejo, y sobre todo su esfuerzo y dedicación para que tuviera un futuro que sin duda no han sido en vano y del cual disfruto y agradezco.

Fermin Medina Carrillo

## CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Justificación .....	5
2. OBJETIVO GENERAL .....	6
2.1. Objetivos Particulares .....	6
3. ANTECEDENTES .....	7
3.1. Los Sistemas Estacionarios en la Acuicultura .....	7
3.2. Fuerzas de Reacción Hidrodinámica .....	10
3.3. Cargas Soportada en la Estructura Flotante .....	13
3.4. Fuerzas Debidas a la Resistencia al Paso de la Corriente .....	13
3.5. Reacciones de Ligadura .....	14
3.6. Las Olas del Mar y su Efecto en las Jaulas Flotantes .....	16
4. AREA DE ESTUDIO .....	23
4.1. Zona de Estudio .....	23
4.2. Generalidades .....	23
4.3. La Corriente de Marea .....	24
4.4. Corrientes Locales Inducidas por el Viento .....	27
4.5. Corrientes de Densidad .....	30
5. MATERIALES Y METODOS .....	31
5.1. Trabajo de Campo .....	31
5.2. Materiales .....	31
5.3. Correntómetro Acústico 2Dacm .....	32
5.4. Supuestos y Fundamentos Básicos .....	36
5.5. Propuesta Metodológica .....	37
5.5.1. Ecuaciones Básicas .....	37
5.5.2. Velocidad Final Cero $V_F$ .....	42
5.5.3. Coeficiente de Filtración .....	44
5.5.4. Propuesta para un Sistema de Jaulas Flotantes .....	44
6. RESULTADOS Y DISCUSION .....	49

6.1. Cálculo de los Efectos Hidrodinámicos Panel 1; Panel 2.....	53
6.1.1. <i>Fuerza con la que se mueve el agua</i> .....	53
6.1.2. <i>Fuerza de reacción hidrodinámica del panel al paso de la corriente</i> .....	53
6.1.3. <i>La presión hidrodinámica que ejerce las masas de agua al pasar por el panel</i> .....	53
6.1.4. <i>Relación entre las fuerzas de reacción hidrodinámicas</i> .	54
6.1.5. <i>Grado de ensuciamiento</i> .....	54
6.1.6. <i>Potencias sucesivas de las masas de agua en función de la velocidad</i> .....	54
6.1.7. <i>Cambios de caudal</i> .....	55
6.1.8. <i>Determinación del caudal rechazado</i> .....	55
6.1.9. <i>Determinación del área efectiva (área sólida) y coeficiente de filtración</i> .....	55
6.1.10 <i>Áreas Efectivas en el Sistema de Jaulas Flotantes</i> .....	56
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
8. BIBLIOGRAFIA .....	61
9. ANEXOS .....	62

## LISTA DE TABLAS

	Página
TABLA 1.- Efecto del ángulo de ataque en el conjunto de las jaulas.....	12
TABLA 2.- Análisis comparativo de la reacción hidrodinámica.....	52
TABLA 3.- Datos del muestreo .....	63
TABLA 4.- Escala de Beaufort y Douglas simplificada .....	65
TABLA 5.- Principales propiedades de algunas fibras sintéticas empleadas en la construcción de las artes de pesca.....	66
TABLA 6.- Peso específico del agua en dependencia de la temperatura y Salinidad .....	66
TABLA 7.- Características de los hilos torsionados de poliamida (Según Redes, S.A. de México).....	67
TABLA 8.- Algunos materiales utilizados en la construcción y aparejamiento de las jaulas .....	68
TABLA 9.-Características de algunos paños de redes con nudo de poliamida trenzado (Según Redes, S.A. de México) .....	69
TABLA 10.-Características de los cabos sintéticos (Según G. Klust, Hamburg).....	70
TABLA 11.Área proyectada aproximada de las barras de la malla $A_e \diamond \approx 4ad - 2d^2$ .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.-Sistema de Jaulas Flotantes para Engorda de Peces.....	9
Figura 2.-Coeficiente de Resistencia $C_R$ .....	11
Figura 3.-Acciones y Reacciones .....	15
Figura 4.-Ligaduras Activas en el Sistema de Jaulas .....	16
Figura 5.-Diagrama del perfil de la ola, los puntos más altos y más bajos de la ola tienen la velocidad máxima horizontal.....	17
Figura 6.-Diagrama para determinar la fuerza que actúa sobre un paño de red durante el paso de la ola .....	18
Figura 7.-Localización del Lugar del Experimento (Google Earth, 2006).....	23
Figura 8.-Velocidad de la Corriente .....	27
Figura 9.-Correntómetro tipo acústico 2Dacm <a href="http://www.falmouth.com">http://www.falmouth.com</a> . 2006.....	32
Figura 10.-Efecto hidrodinámico Panel 1 .....	10
Figura 11.- Proyección de áreas efectivas de los paños en un sistema simétrico de jaulas flotantes y localización de los puntos de instalación de los correntómetros .....	48
Figura 12.-Análisis de tendencias Velocidad vs Hora y Presión vs Hora.....	50
Figura 13.-Calendario de mareas .....	72
Figura 14.-Fuerzas de gravedad y de empuje vertical de elementos sumergidos en el agua.....	73

## I INTRODUCCIÓN

El mejor aprovechamiento de las características biológicas del mar es uno de los principales factores que han influido en el aprovechamiento de la fauna marina, lo que ha producido una rápida proliferación de diseños e instalaciones de sistemas estacionarios para la pesca y la acuicultura tanto en aguas continentales como marinas.

La información oceanográfica adquiere una importancia práctica para las granjas marinas, pues se requiere el conocimiento de ésta, particularmente en las regiones oceánicas más próximas a los litorales.

Durante la explotación de los sistemas de pesca estacionarios en el mar se presentan situaciones cambiantes provocadas por las corrientes, olas y vientos que afectan a estas construcciones flexibles que cambian de forma en dependencia de las fuerzas actuantes.

Las principales fuerzas que actúan sobre estas construcciones flexibles incluyen: la fuerza de reacción hidrodinámica, la fuerza de presión hidrostática, fuerza de fricción y como consecuencia de estas, las fuerzas internas de acción – reacción, y de inercia. La forma, posición y estabilidad de las dimensiones de estas construcciones dependen de la magnitud y dirección de las fuerzas externas que actúan sobre ellas.

Los cambios de la velocidad, intensidad y dirección de la corriente están presentes de manera natural e ininterrumpidamente, afectando el funcionamiento correcto de los sistemas estacionarios para la pesca y la acuicultura.

El presente trabajo propone una metodología sencilla que permite estimar la magnitud de las principales fuerzas de reacción hidrodinámica que afectan a este tipo de construcciones; su instalación por prolongados periodos de tiempo provoca una acumulación importante de adherencias (fouling) que con el tiempo empeoraran sus condiciones de estabilidad y funcionamiento.

Las principales dependencias empleadas para esta propuesta metodológica, se basan en las leyes de la mecánica general, hidrodinámica y en métodos de cálculo que se emplean para determinación de resistencia al avance de materiales de redes.

La tecnología de capturas aporta las principales herramientas para el cálculo de las fuerzas que actúan en las artes de pesca, pero debido a que estas son en general construcciones flexibles y su forma cambia dependiendo de las fuerzas que actúan sobre ellas, un análisis y cálculo de los fenómenos en este campo es significativamente más difícil en comparación con otras construcciones de ingeniería (F. Bucki, 1985).

El resultado de las pruebas de campo muestran el alto grado de dificultad que tiene la determinación de las fuerzas de reacción hidrodinámica en condiciones reales de operación, sin embargo, el análisis de la información recabada por el correntómetro 2Dacm, los métodos de cálculo de resistencia al avance de los materiales de redes, y otras herramientas estadísticas, ha permitido validar la propuesta, misma que tendrá que ser corroborada y estudiada mas a fondo con sistemas estacionarios en operación a efecto de contar con resultados de aplicación en un sistema real tal y como se propone en este documento.

Cada cuerpo que se desplaza por un liquido o viceversa, un cuerpo en un liquido en movimiento, se aplica la dependencia de Newton (F. Bucki. 1985), misma que en condiciones experimentales se han desarrollado las formulas cuyo coeficiente

de reacción hidrodinámica " $C_R$ " se presenta en tablas, graficas y/o formulas matemáticas, que validan los cálculos de fuerzas de reacción hidrodinámica de cuerpos semejantes en condiciones semejantes.

Para el estudio de fuerzas de reacción hidrodinámica se tienen dos enfoques:

1. La dependencia de Newton se propone para cálculos de reacción hidrodinámica para todos y cada uno de los elementos que conforman un arte de pesca, lo que hace una tarea teórica comparativamente compleja.
2. La metodología simplificada propone (con la misma dependencia de Newton) que para el cálculo de fuerzas de reacción hidrodinámica, se mida el cambio de velocidad del líquido que pasa por un arte de pesca a la entrada y a la salida del mismo.

Estos enfoques tienen ventajas y desventajas, lo que trae como consecuencias dos propósitos diferentes: el primero para cuestiones de diseño y construcción; en el segundo para cuestiones de evaluación y rediseño, ambos se complementan y contribuyen al estudio de la tecnología pesquera.

Las fuerzas de reacción hidrodinámica son las cargas principales que actúan sobre la mayoría de las artes de pesca y su magnitud depende principalmente de los siguientes factores:

- la densidad del líquido,
- la viscosidad cinemática del líquido,
- la velocidad de la corriente del líquido,
- la forma y dimensiones del cuerpo, y
- del ángulo de ataque, es decir del ángulo entre la dirección de la corriente del líquido y el eje característico del cuerpo.

Así, la fuerza de la reacción hidrodinámica es una función de los parámetros señalados anteriormente;  $F = f(\rho \cdot v \cdot \alpha \cdot l \cdot v)$ . Mediante un análisis correspondiente de los parámetros indicados en primer lugar se obtiene la conocida dependencia de Newton:

$$F_x = C_x \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot A \quad [Kgf]$$

Donde:

- $F_x$  es la fuerza de reacción hidrodinámica en Kgf.
- $C_R$  es el coeficiente de reacción hidrodinámica, cuyo valor depende del ángulo de ataque " $\alpha$ ", de la forma del cuerpo y de las condiciones físicas del desplazamiento,
- $\rho$  es la densidad del líquido en  $Kgf \cdot m^2 / seg^4$ ,
- $V$  es la velocidad de la corriente en  $m / seg.$ , y
- $A$  es el área característica del cuerpo en  $m^2$ .

Por otro lado, un líquido en movimiento es un volumen de masa de agua que se desplaza uniformemente y que al impactar sobre los materiales de redes cambia de velocidad y pierde energía, manifestándose esta como una fuerza de reacción hidrodinámica que se opone al paso del agua. Este cambio en la velocidad del agua es la medida del fenómeno hidrodinámico que se estudia, y que se presenta de manera abreviada como sigue:

$$F_{XP} = F_{W0} - F_{WP} \quad [Kgf]$$

Donde:

- $F_{XP}$  es la fuerza de reacción hidrodinámica de un sistema de paño de red que es chocado por una masa de agua en Kgf.
- $F_{W0}$  es la fuerza con que se mueve una masa de agua antes de pasar por un sistema de paño de red en Kgf.
- $F_{WP}$  es la fuerza con que se mueve una masa de agua después de pasar por un sistema de paño de red en Kgf.

## 1.1 Justificación

Dentro de los factores para la determinación del sitio de instalación para los sistemas de pesca y acuicultura (sistemas pasivos), se considera a las corrientes, mareas, oleaje, vientos y aspectos hidrográficos y logísticos. La forma, posición y estabilidad de las dimensiones de dichos sistemas, dependen de la magnitud y dirección de las fuerzas externas que actúan sobre ellos.

En los sistemas de pesca activos - redes de arrastre por ejemplo - en la que el sistema de pesca es el que se mueve, la velocidad esta dada por la técnica de pesca, que requiere de cierta velocidad de arrastre para el desarrollo del proceso de captura, lográndose ésta con la potencia de tracción de la embarcación; el movimiento producido al agua por el sistema de pesca es irrelevante.

En los sistemas de pesca pasivos el movimiento de las masas de agua a través de los materiales pesqueros que se interponen a su paso, modifican el régimen de flujo del agua - cambio en la velocidad de la corriente - del que depende el transporte de oxígeno, sedimentos, plancton y larvas de peces, contribuyendo así a la eliminación de los metabolitos tóxicos que perjudican a los organismos ahí confinados, pero además el cambio en la velocidad de la corriente permite evaluar la magnitud de las fuerzas de reacción hidrodinámica que ocasionan las cargas externas en la estabilidad del sistema.

## II OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología simplificada para el estudio de las principales fuerzas hidrodinámicas que actúan en los sistemas estacionarios para la pesca y la acuicultura, asumiendo como principal parámetro el movimiento de las partículas del agua a través de dichos sistemas, con el propósito de resumir en una síntesis la magnitud de las fuerzas actuantes en diversas situaciones de estado del mar presentes en una zona en particular.

### 2.1 Objetivos Particulares

- 1) Establecer las ecuaciones matemáticas necesarias para el análisis del comportamiento hidrodinámico del flujo de agua a través de un paño de red sobre el cual basar la metodología del estudio del suceso hidrodinámico.
  - a) Elaboración de las ecuaciones matemáticas para la metodología simplificada que se sustentara en pruebas experimentales con paneles de paño de red debidamente caracterizado y sometido a las pruebas de reacción hidrodinámica en una zona con corrientes de marea.
  - b) Análisis y valoración de las fuerzas de reacción hidrodinámica de los paneles de prueba calculadas con las formulas de H. Stengel y H. J. Fischer para su pertinente comparación con los resultados de las ecuaciones propuestas.
- 2) Determinar las fuerzas de reacción hidrodinámica que actúan en un sistema de jaulas flotantes con la aplicación de la formula H. Stengel y H. J. Fischer con el propósito de diseñar parte de la metodología que habrá de aplicarse a un sistema de jaulas flotantes o a un sistema estacionario en cuestión.

- a) Analizar y establecer la posición crítica que las jaulas flotantes guardan contra las fuerzas de resistencia que oponen éstas al paso de la corriente de agua, aplicando los principios de reacción hidrodinámica que actúan sobre los paños de redes de las jaulas.
  
- b) Determinar la magnitud de las fuerzas concentradas resultantes que actúan en puntos precisos llamadas ligaduras activas de la estructura flotante donde se concentran las cargas provocadas por la acción de la corriente sobre las jaulas.
  
- c) Determinar la estrategia de mediciones de la velocidad de la corriente en un sistema de jaulas flotantes para la correcta aplicación de la metodología propuesta.

### III ANTECEDENTES

#### 3.1 Los Sistemas Estacionarios en la Acuicultura

La introducción de sistemas para la pesca y la acuicultura en el mar se ha incrementado en los últimos años de manera significativa, sobre todo en actividades de cultivo en jaulas flotantes con repercusiones en el medio ambiente, tanto por su presencia física en un lugar como por los cambios que pueden inducir en las características físicas, químicas y biológicas del agua a causa del método de cultivo (extensivo/semi-intensivo/intensivo) y de las especies criadas.

El flujo de agua y corrientes a través de los recintos resulta afectado por la fricción con las estructuras sólidas y las redes; la disminución del flujo depende de distintas variables a saber: intensidad de la corriente y densidad del agua, dimensiones y forma del recinto, tipo y material de la red, grado de acumulación de basuras, y densidad de siembra (Milne, 1970, 1979; Inone, 1972). La relación entre el coeficiente de fricción ( $C_R$ ) es mayor en las redes con nudos que en las redes sin nudos.

Inone (1972), observó que la velocidad de la corriente dentro de una jaula grande (20 x 20 x 6 m) con malla de 5 cm de luz, sembrada con peces a razón de 1,6 kg m<sup>3</sup>, se reducía a sólo un 35 % de la velocidad registrada fuera de la jaula y demostró además que, cuando las jaulas estaban paralelas a la dirección de la corriente, el flujo de ésta en jaulas sucesivas disminuía.

El cultivo en jaulas es de origen reciente y parece que se ha desarrollado independientemente en varios países a la vez, todos en el sudeste asiático. La evolución ha sido tremenda desde sus orígenes y hoy en día existe una gran diversidad de tipos y diseños clasificándolas en cuatro grandes grupos: fijas, flotantes, sumergidas a media agua o en el fondo y sumergibles (Beaz, 2002).

La forma de la jaula tiene su mayor influencia en el intercambio mas efectivo de agua, de ahí que las jaulas cuadradas o rectangulares tienen una mayor eficiencia que las cilíndricas; ejemplo de ellas se ilustra en la figura 1.

De igual forma la ubicación de las jaulas con respecto a la corriente sobre todo las rectangulares tienen influencia en el intercambio (Pérez, \*2002).

Los sistemas estacionarios para la pesca y la acuicultura tienen repercusiones en las corrientes locales, lo que a su vez tienen otras implicaciones como el transporte de sedimentos, en un sistema acuático éste depende sobre todo de la velocidad de la corriente (Smith, 1975), y siendo ésta, una reducción importante en algunos sistemas de recinto, causará la sedimentación de partículas mayores y más densas en las inmediatas cercanías, la dispersión de la capa cargada de sedimentos depende de la velocidad horizontal de la corriente de agua (Csanady, 1975).



**Figura 1.- Sistema de Jaulas Flotantes para Engorda de Peces**

### 3.2 Fuerzas de Reacción Hidrodinámica

Se debe poner especial atención a la fuerza de reacción hidrodinámica porque este tipo de fuerzas son con frecuencia de importancia decisiva en el funcionamiento correcto del sistema, además el oleaje incide de manera importante en la magnitud de las fuerzas dinámica actuantes.

En la figura 2 se ofrecen las dependencias de la variación del valor del coeficiente de resistencia al paso de la corriente de agua  $C_R$ , de la abertura de las mallas  $u_1/u_2$  y del ángulo de ataque  $\alpha$ ; como se nota el valor del coeficiente  $C_R$  con abertura de las mallas  $u_1/u_2 = .500/.866$  para ángulos de ataque  $\alpha$  hasta  $45^\circ$  es menor en comparación con el valor del coeficiente  $C_R$  con  $u_1/u_2 = .707/.707$

Esto es el resultado de un menor ángulo de ataque de los diferentes hilos de paño de red con  $u_1/u_2 = .500/.866$  la diferencia es igual a un 15% promedio (Bucki, 1981).

Para la determinación de la fuerza de reacción hidrodinámica de los paños de redes de las jaulas flotantes, el cálculo se realizo de forma tabular con la ayuda de la formula de H. Stengel y H. J. Fischer considerando que las caras de las jaulas son iguales, y en este caso es un panel como se indica en la figura 1 (cara del cubo de la jaula:

$$F_{x\alpha} = C_R \cdot \frac{d}{a} \cdot A_t \cdot V^2$$

Dónde:

- $F_{x\alpha}$  es la resistencia del panel de red situado con cierto ángulo de ataque  $\alpha$  al paso de la corriente de agua en Kgf.
- $C_R$  es el coeficiente de resistencia cuyo valor depende del ángulo de ataque  $\alpha$ , y de la proporción  $d/a$  de las mallas.
- $d$  es el diámetro de hilo del paño de red en mm.
- $a$  es el tamaño de la barra de al malla en mm.

$A_t$  es el área de trabajo del paño de red en  $m^2$

$V$  es la velocidad de desplazamiento de la corriente en m/seg.

La relación entre el coeficiente de resistencia al avance, el ángulo de ataque y las aberturas de las mallas para un material de red de poliamida con  $d/a = 0.09$  se muestran en la siguiente gráfica.

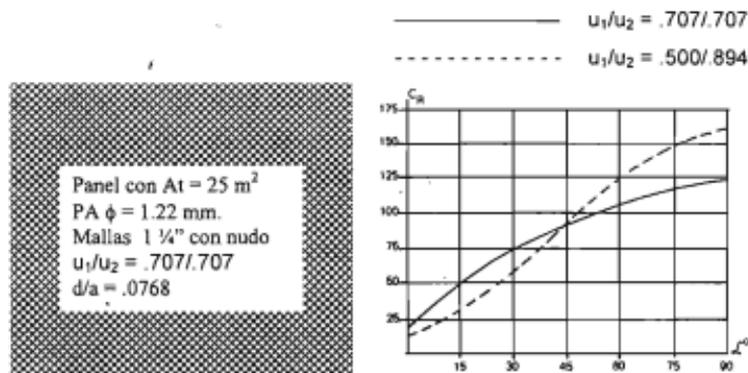


Figura 2.- Coeficiente de Resistencia  $C_R$

Con ángulos de ataque mayores, todos los hilos se encuentran en un gran ángulo de ataque por lo que la magnitud de la resistencia al paso de la corriente influyen el área efectiva del paño de red. Con el paño trabajando con  $\alpha = 90^\circ$  las barras de la malla proyectan un área efectiva de los hilos máxima de aproximadamente igual a  $4ad - 2d^2$

Por lo mencionado en el párrafo anterior, es recomendable que el paño de red de las jaulas trabaje con la forma y posición de las mallas en cuadros orientados horizontal y verticalmente.

Para la determinación de la resistencia al paso de la corriente por el tren de jaulas flotantes, el ángulo de ataque  $\alpha$  de los paneles de redes en cada una de las jaulas queda determinado por la orientación de la estructura cuya forma geométrica guarda una simetría con respecto al eje longitudinal. Las jaulas están colocadas en dos filas de cinco cada una a lo largo de dicho eje posicionado con un ángulo  $\gamma$  con respecto a la dirección de la corriente.

De acuerdo con lo anterior, para el análisis de la determinación de la fuerza resistencia al paso de la corriente, se calculó ésta en cinco posiciones diferentes, es decir, el tren de jaulas posicionada con distintos ángulos  $\gamma$ , lo que trae como consecuencia un determinado número de paneles con ángulos de ataque  $\alpha$  similares con respecto a la corriente como sigue:

**TABLA 1.- Efecto del ángulo de ataque en el conjunto de las jaulas**

RESISTENCIA DEL PANEL A LA CORRIENTE EN [Kgf]	Formula de H. Stengel y H. J. Fischer					NÚM. DE PANELES CON ÁNGULO DE ATAQUE " $\alpha$ "						
	$F_{x\alpha}$	$\alpha$	$C_r$	$d/a$	$At$	$V^2$						
44.49	90°	122.7	0.0549	25	0.2642*		20			20		
38.50	60°	105.2									20	
33.54	45°	92.5							40			
27.12	30°	74.8									20	
5.87	00°	16.2								40	20	20
RESISTENCIA DEL TREN DE JAULAS A LA CORRIENTE $F_{x_{10}}$ [Kgf]							1125	1459	1429	1125		
POSICIÓN DE LAS JAULAS $\gamma$							0°	45°	60°	90°		

Del análisis de este cálculo, se puede observar que con un ángulo  $\gamma = 45^\circ$  se presenta la mayor resistencia al paso de la corriente de  $F_{x_{10}} = 1459$  Kgf.

### **3.3 Cargas Soportada en la Estructura Flotante**

La estructura flotante sobre la superficie del mar esta conformada a la superficie por seis tambos de plástico de 200 litros de volumen atados a los cabos principales y dieciocho garrafones de vidrio en los cruces de los cabos de la estructura.

Cuando se instalan las jaulas a esta estructura, es necesario una flotación extra con más garrafones que se instalan en las esquinas y partes centrales de los lados de cada jaula para que pueda soportar las cargas debidas a la resistencia hidrodinámica de los paños y cargas de algunos pesos sumergidos como el lastre y otros materiales y adherencias que se van acumulando a las mallas con el paso del tiempo.

La estructura flotante es flexible por estar construida de cabos de polipropileno que aseguran una resistencia a la rotura. Su forma geométrica esta conformada por las fuerzas del sistema de anclaje en equilibrio dinámico con las fuerzas del lastre y la flotabilidad hidrostática de los tambos y flotadores influenciadas por los vientos, las olas, las corrientes y las mareas de manera ininterrumpida.

Esta estructura flexible preformada y "reconfigurada" debido a las fuerzas de tensión previa con que se instala, es estable a su forma de trabajo (no se descuadra). Las principales fuerzas que actúan en ella se analizan como sigue:

### **3.4 Fuerzas Debidas a la Resistencia al Paso de la Corriente**

Apoyados en los axiomas de la estática, las fuerzas actuantes debido a la corriente se analizan bajo el sistema de fuerzas plano, donde la fuerza de las masas de agua en movimiento, presionan con fuerza contra los paños de la jaulas que se oponen al paso de la corriente.

A efecto de simplificar su análisis supóngase que estas fuerzas; las de las masas de agua en movimiento y la de reacción hidrodinámica, recaen en magnitud igual en las cuatro esquinas de cada jaula como se ilustra en la figura 3 luego entonces, estos dos sistemas de fuerzas son equivalentes si tomados por separado ejercen la misma acción mecánica sobre la estructura.

De esta definición, se sigue que dos sistemas equivalentes a un tercero son equivalentes entre si. Todo sistema de fuerza complejo puede sustituirse siempre por un sistema de fuerza simple equivalente a el. Una fuerza equivalente a un sistema de fuerza dado se llama Resultante de dicho sistema (fuerza de presión del agua). La fuerza igual en módulo a la resultante y dirigida según la misma línea de acción, pero en sentido opuesto, se llama Fuerza Equilibrante (fuerza de reacción hidrodinámica de los paños). Si a un sistema de fuerzas se le añade la fuerza equilibrante, el nuevo sistema estará en equilibrio y equivaldrá a cero.

En la estructura flotante podemos distinguir las Ligaduras (activas) o Enlaces los puntos A, E y F ubicados en el límite de los cabos principales de la estructura A, B, C, D, E y F. En la interacción entre la estructura y sus ligaduras surgen fuerzas que se oponen a los posibles movimientos de esta (ver figura 4)

Estas fuerzas actúan sobre la estructura flotante por parte de las ligaduras y reciben el nombre de reacciones de ligadura; la reacción de ligadura es siempre opuesta al sentido en la cual el enlace impide el movimiento de la estructura. La existencia de éstas reacciones se basan en el axioma de las acciones y reacciones.

### **3.5 Reacciones de Ligadura**

Para determinar las reacciones se aplica el principio de liberación de las ligaduras, sin que varíe el equilibrio de la estructura, cada ligadura puede suprimirse sustituyéndola por su reacción.

Las ligaduras que se aplican en este caso, es la ligadura flexible, que se efectúa mediante cabo y sólo trabaja por tracción.

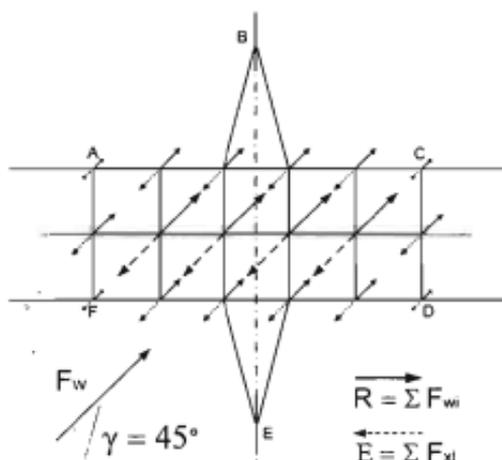


Figura 3.- Acciones y Reacciones

Los puntos de aplicación de las reacciones de ligadura activas son para el caso crítico con el tren de jaulas en posición del ángulo  $\gamma = 45^\circ$  y corresponden a los puntos A, E y F ya que los cabos que soportan la estructura en conexión con los puntos de reacción de ligadura están dirigidos según las componentes perpendiculares a las reacciones equilibrantes del sistema; por lo que solo resta calcular las componente en el eje X e Y.

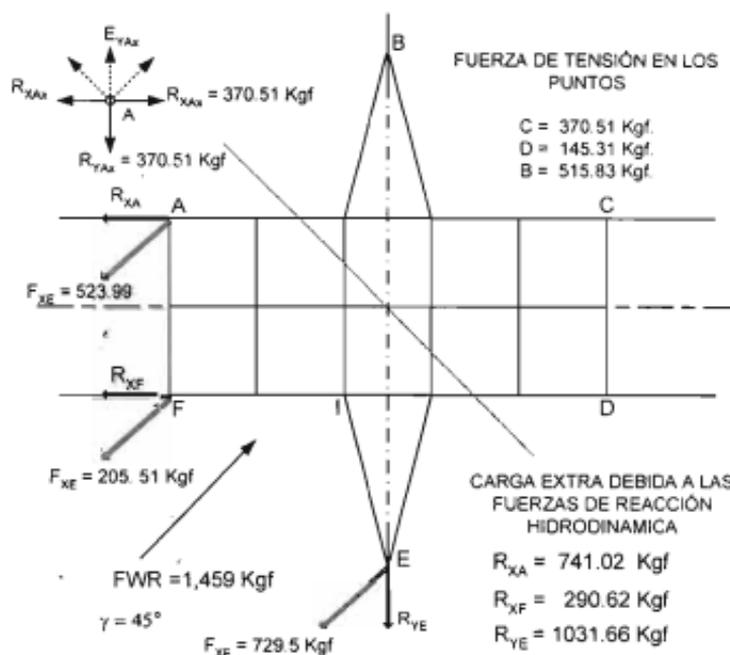


Figura 4.- Ligaduras Activas en el Sistema de Jaulas

### 3.6 Las Olas del Mar y su Efecto en las Jaulas Flotantes

Las cargas ejercidas en un paño fijo colocado verticalmente al paso de la ola, son considerables y algunas veces pueden causar daños importantes a este. Las olas también pueden conducir a enredar e incrementar el desgaste los paños, materiales y cabos.

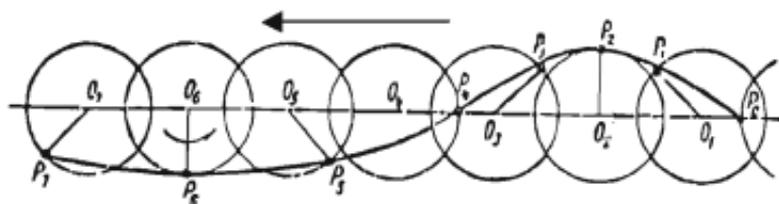
Observaciones y análisis teóricos muestran que las olas ejercen la máxima tensión sobre el paño de una red si el frente de la ola esta paralelo al paño durante

el paso de la cresta sobre la red. Por lo tanto, para calcular la fuerza o la estabilidad del paño debemos determinar la fuerza que actúa sobre la red la cual esta posicionada en el plano perpendicular a la dirección de la ola cuando la cresta pasa sobre la red.

Las características de las olas reales son muy complejas, por lo tanto los cálculos de las cargas deben estar en referencia a una ola nominal utilizando una de las teorías elaboradas que proporcione información sobre las olas marinas para que pueda ser utilizada en el análisis de las fuerzas que actúan sobre los paños.

Observaciones y experimentos han mostrado que durante el movimiento de las olas sobre la superficie del agua las partículas son arrastradas con la velocidad de las olas y se mueven sobre orbitas cerradas o casi cerradas sobre su posiciones quiescentes. Estas orbitas en aguas profundas se considera que son aproximadamente circulares. En este caso el perfil de la ola es trocoide como se muestra en la figura 5.

Puesto que la partícula que participa en el movimiento de la ola completa una revolución en el periodo  $\tau$  la velocidad angular es:  $\omega = 2\cdot\pi/\tau$  y de ahí la velocidad circular es:  $V = 2\cdot\pi r/\tau$



**Figura 5.- Diagrama del perfil de la ola, los puntos más altos y más bajos de la ola tienen la velocidad máxima horizontal**

Ecuación sustentada en la teoría trocoide para el radio de las partículas que se mueven en orbitas circulares durante el paso de la ola se anota como sigue:

$$r = r_0 e^{-\frac{2\pi b}{\lambda}}$$

Donde:

- $r_0$  es el radio de la orbita circular de las partículas de la superficie (la mitad de la altura  $H$ );
- $r$  es el radio de la orbita de las partículas donde el centro orbital a una distancia  $b$  de la superficie sin perturbar.
- $\lambda$  es la longitud de la ola medida entre cresta y cresta

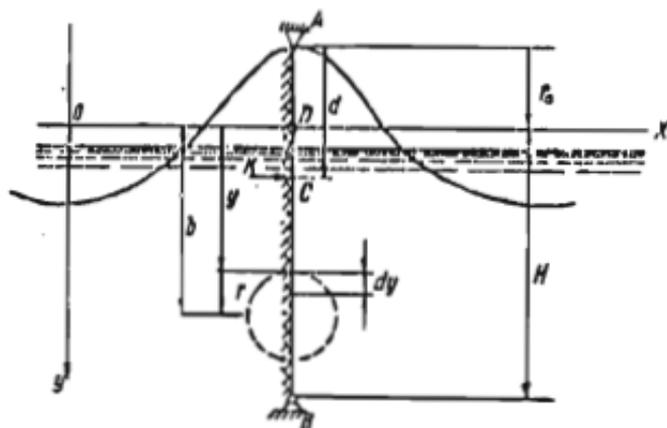


Figura 6.- Diagrama para determinar la fuerza que actúa sobre un paño de red durante el paso de la ola

Por lo tanto, con el aumento de la distancia hacia abajo (aumento de  $b$ ), el radio orbital disminuye de acuerdo a las leyes exponenciales; véase figura 6.

Se considera que la red esta fija con comba y el peso del paño de red son ignorados. Así el problema se reduce a la determinación de la resistencia de la red, colocada en un plano de flujo paralelo, cuya velocidad es variable y disminuye con el aumento de la profundidad. La solución fue dada primeramente por Baranov y desarrollada por Kuznetsov

$$R = 6.4 k \cdot r_0^2 \quad Kg / m$$

Donde:

El coeficiente  $k = [C \rho/2][d/a][1/u_1 u_2]$

O para cálculos de aproximación  $k = [1800 d/a]$

La ecuación no incluye la longitud de la ola, periodo de la ola, y la altura de la red; con el aumento de la longitud de la ola el periodo de la ola aumenta, mientras que la velocidad orbital disminuye y estos dos factores se compensan uno al otro.

A un declive de la ola cerca del valor limitante la teoría trocoidal de la ola no describe las olas naturales que ocurren. En este rango las aproximaciones de la teoría de Stokes-Rayleigh son empleadas.

Ruznetsov utilizo las ecuaciones de la teoría de aproximación de las olas de Stokes – Rayleigh y encontró, una analogía a lo anterior, una expresión para el caso más difícil, para el limite de inclinación de la ola.

$$R = 20k r_0^2 \quad Kg / m$$

Puesto que  $R$  es el resultado de las fuerzas que generan la carga continua sobre la pared de la red, el punto de su aplicación puede ser determinado. Esto es para una ola profunda y una red alta; con la disminución de la profundidad y la longitud de la red la carga es distribuida uniformemente sobre la altura mientras que su magnitud por unidad de área aumenta.

Cuando determinamos las cargas debemos considerar el instante en que la cresta de la ola pasa sobre la red. Cuando la cresta avanza una distancia ( $L/2$ ) la reacción del agua sobre la red se invierte.

Por otro lado, para ( $1/4 L$ ) y ( $3/4 L$ ) la reacción del agua será dirigida hacia abajo y hacia arriba, respectivamente. Además, la magnitud de la reacción cambiará dependiendo del ángulo formado entre el flujo y la red. Cuando las olas y corrientes actúan simultáneamente en una dirección perpendicular a la red, la reacción del agua sobre la red es teóricamente determinada por:

$$R = k \int_0^H (v_1 + v)^2 dy$$

Donde:

$v_1$  es la velocidad de las partículas líquidas debido a la corriente

$v$  es la velocidad de las partículas de agua debido a las olas.

De acuerdo a Kuznetsov pueden ser escritas para las olas más inclinadas en la siguiente forma:

$$R = k \left( H v_1^2 \pm 1.4 r_0 v_1 \sqrt{\lambda} + 20 r_0^2 \right)$$

Al derivar las ecuaciones teóricas anteriores se asumieron varias simplificaciones y por lo tanto las ecuaciones deben ser verificadas con experimentos.

Peterlin llevó a cabo varios experimentos sobre la presión ejercida por las olas sobre la pared de la red. Las pruebas fueron hechas bajo condiciones naturales y se obtuvieron los siguientes resultados. En ausencia de las corrientes, olas no mas altas de 1.3 m. no produjeron carga sobre la red. Si, por otro lado, la red es tensada debido a la corriente, la carga de la ola es entonces considerable. Así, para velocidades de corriente entre 0.1 y 0.3 m/seg y olas de altura de 1.2 a 1.5 m. la carga total sobre la red aumenta hasta 2.8 veces.

Las pruebas de Peterlin mostraron que para redes fijas tirantes la esfuerzo de tensión sobre su apuntalamiento es considerable durante la ola, mientras que en redes con comba la tensión será pequeña. La red puede ser tensada por carga, flotación o corrientes.

La tensión que actúa sobre la red obtiene y hasta excede los valores teóricos dados por estas dos últimas formulas. Por lo tanto estas ecuaciones pueden ser utilizadas para cálculos tentativos.

Todo lo anterior se refiere a formaciones de olas uniformes cuando las olas son cortas, y con crestas individuales. Por lo tanto, cuando un arte de pesca es lo suficientemente largo, esta sujeto a efectos que ocurren en diferentes periodos.

El efecto de la ola es atenuado también por el hecho que la cresta no esta directamente perpendicular a la pared de la red sino en un ángulo.

El efecto más fuerte se observa cuando la red esta situada en aguas someras, el movimiento de las capas cerca del fondo cambia con la disminución de la profundidad a un movimiento hacia delante de toda la masa. La velocidad correspondiente es varias veces más grande que la velocidad orbital por lo tanto se produce cargas máximas sobre todo el sistema.

El esfuerzo de tensión indicado anteriormente, se origina durante el movimiento de las partículas de agua con respecto a la pared de la red fija y es solamente uno de los efectos de las olas sobre el arte de pesca. Estos efectos investigados, hasta cierto punto son muy escasos. La siguiente etapa de la investigación es, aparentemente, la investigación de la tensión en los puntos, que limitan el movimiento de una red.

Partiendo de que en muchos casos las partes del aparejo tienen una masa considerable concentrada, se puede esperar que durante su movimiento periódico las olas las cargas en las ligaduras o puntos de sujeción sean dinámicas.

Se sabe que hay un incremento de las fuerzas producidas por las olas después de la acumulación (fouling) de depósitos orgánicos.

Cuando un sistema de jaulas, por ejemplo, en unión con el sistema de flotación en cualquier articulación o ligadura y el movimiento producidos por las olas a los flotadores, surgen fuerzas pulsantes que producen cargas suplementarias.

Ciertamente las condiciones rudas del oleaje, las fuerzas tienen una dinámica promiriente y pueden destruir las redes

Por lo tanto se puede suponer que la proporción de cargas máximas sobre los elementos estructurales de un sistema de jaulas como ya dijimos, al ser levantada durante un mar agitado, pueden ser de 3 a 4 veces mayor en comparación con un mar tranquilo.

Cuando un sistema estacionario está sujetado a cargas dinámicas considerables, es necesario reducir (obligatoriamente) las cargas, utilizando dispositivos que atenúan estos fenómenos; por ejemplo, sistemas con gran elasticidad.

## IV AREA DE ESTUDIO

### 4.1 Zona de Estudio

Los trabajos de campo concernientes en esta investigación se llevaron a cabo en la Bahía de Chipehua a unos 30 Km al sur-oeste del puerto de Salina Cruz, Oaxaca, en las coordenadas  $16^{\circ}02' N$ ,  $95^{\circ}22' O$ . Ahí tuvieron lugar las mediciones de la velocidad de la corriente para las pruebas de reacción hidrodinámica.



Figura 7.- Localización del Lugar del Experimento (Google Earth, 2006)

### 4.2 Generalidades

En las corrientes marinas podemos distinguir dos tipos: las *generales*, ocasionadas por movimientos producidos por el viento y las *costeras*, que en la mayoría de los casos son debidas a la marea o a los vientos locales de las regiones en donde actúan.

Las corrientes son desplazamientos de masas de agua, caracterizadas por su dirección - hacia donde se dirige - y velocidad expresada en m/seg.

### **4.3 La Corriente de Marea**

Las corrientes que más interesan en este estudio son las corrientes de marea, ya que en las zonas estrechas inmediatas al litoral pueden alcanzar velocidades considerables provocando problemas de diversa índole como daño a estructuras, transporte de sedimentos, entre otros. Las corrientes que acompañan al oleaje y la marejada, son las responsables de las grandes modificaciones del litoral en el curso de las tempestades, bajo el efecto de corrientes que pueden alcanzar velocidades de 0,50 m/seg.

La característica primordial de este tipo de corrientes es su periodicidad que puede ser diurna o semidiurna y mixta, según sea la marea astronómica.

Las corrientes marinas son verdaderos ríos que avanzan entre orillas constituidas por agua, y su velocidad es suficiente para dejar sentir su influjo en la navegación, siendo semejante a la de un amplio río de escasa pendiente, pues rara vez la velocidad pasa de 1.0 m/s y sólo en estrechos pasos.

Entre los movimientos de las aguas marinas están las mareas causadas principalmente por la fuerza de atracción de la Luna. En consecuencia, diariamente recorren la Tierra dos montañas de olas - marea alta - y dos valles de olas - marea baja -. Es cierto que eso sólo ocasiona una elevación y un descenso del nivel del agua en ciclos de seis horas, pero a consecuencia de ello se forman importantes corrientes de mareas en costas, mares laterales y desembocaduras.

Los efectos producidos por las corrientes de marea interesan más, por lo general, en las zonas inmediatas al litoral; en zonas de mar profundo estas corrientes mantienen una rotación periódica por causa de la fuerza de Coriolis con

velocidades relativamente bajas. Por el contrario, en las proximidades de la costa y especialmente en las zonas estrechas, como las antes mencionadas, las velocidades pueden llegar a ser bastante considerables dando lugar a problemas de diversa índole, como pueden ser el transporte de sedimentos, acceso de puertos, transporte de contaminantes, etc.

La elevación y descenso periódico del nivel del agua genera movimientos notables en las masas líquidas, sobre todo en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida (estuarios, bahías, caletas, entradas a puerto, etc.) y genera las llamadas corrientes de marea.

En las entradas, la corriente de una marea fluye en dos sentidos; cuando está creciendo hacia la zona interna (flujo) y cuando está descendiendo hacia mar adentro (reflujo); las velocidades máximas obtenidas en estas zonas normalmente están desfasadas respecto a los momentos de presentación de las pleamares o bajamares.

Las características de corriente de marea, como es fácil comprender, cambian de un lugar a otro dependiendo en primer término del carácter de la marea y en función también de la profundidad y configuración del terreno donde se desarrolla. Por lo tanto, no son recomendables las expresiones analíticas para su cálculo, haciendo necesario su medición directa.

Las corrientes de marea pueden cambiar la dirección o hacerse rotatorias: en el primer caso conservan la dirección constante durante la inundación e invierten la dirección durante el reflujo; en el segundo caso la dirección corriente gira gradualmente por  $360^\circ$  durante el ciclo de inundación. Las partículas de agua en la zona de acción, el movimiento de la corriente en las órbitas, que con frecuencia son alargadas elipses, el eje principal de tal órbita puede ser 10 millas y más largo; por consiguiente, las partículas pueden ser transportadas yendo a la deriva.

Para la medición de las corrientes marinas, se pueden emplear diferentes dispositivos y aparatos, uno de los más sencillos y a la vez más utilizado es el flotador de deriva.

Las mareas son la oscilación periódica del nivel del mar originadas por el efecto combinado de la fuerza gravitacional de los astros: luna, sol y la tierra, así como por sus movimientos realizados de rotación y su geografía le dan particularidad a algunas mareas, causando una elevación y un descenso del nivel del agua de mar en ciclos de seis horas.

*Las mareas diurnas.*- constan de un pleamar y una bajamar por ciclo, en un periodo de 24 hrs y 50 minutos (valor promedio).

*Las semidiurnas.*- dos pleamares y dos bajamares durante dos sucesivos ciclos con periodo de 12 hrs y 25 minutos cada uno.

*Las mixtas.*- dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con periodos de 12 hrs y 25 minutos.

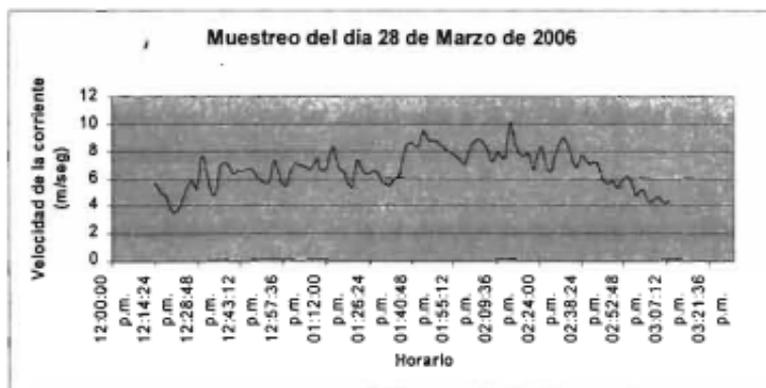
*La marea viva.*- es la máxima amplitud que alcanza la marea en un mes ocurriendo algún tiempo después de aparecida la luna nueva o llena.

*La marea muerta.*- es la mínima amplitud que alcanza la onda en el mes ocurriendo algún tiempo después que han aparecido los cuartos crecientes y los cuartos menguantes.

*Marea equinoccial.*- es la máxima amplitud alcanzada por la onda durante el año, como producto de la atracción de los astros.

Como se dijo anteriormente, las mareas no son producto de un solo movimiento, sino la combinación de varios componentes, debido a varias influencias.

Lo importante en este estudio es la medición que podamos hacer de ellas para propósitos de proyectos de estudio de pequeña magnitud y por tal motivo solo interesa su lectura para un periodo de corto tiempo tal y como se presenta en la figura de abajo.



**Figura 8.- Velocidad de la Corriente**

Para la medición de las corrientes marinas, se pueden emplear diferentes dispositivos y aparatos. Uno de los más sencillos y a la vez más utilizado es el flotador de deriva. Los aparatos para medición se denominan correntómetros y pueden ser de tipo mecánico o eléctrico. El utilizado en este experimento es un correntómetro 2Dacm con sensores de velocidad tipo Acústico.

#### **4.4 Corrientes Locales Inducidas por el Viento**

El viento arrastra las moléculas superficiales y por rozamiento actúan sobre las moléculas más profundas, pudiéndose decir que este tipo de corrientes son prácticamente superficiales y de poca intensidad.

En corrientes de viento de regiones de costa puede coincidir con la corriente final; en este caso su velocidad puede ser tan alta como aproximadamente el 4% de la velocidad de viento  $V = 0.035 \omega$ .

El movimiento de la capa superficial de agua es transmitida a una profundidad de 50 a 60 m y la disminución de velocidad con la profundidad es en progresión geométrica. La dirección de las corrientes de viento superficial no coincide con la dirección del viento cuando la profundidad del mar es grande, porque es desviado un ángulo de  $45^\circ$  debido a la fuerza de Coriolis.

En sitios bajos - con profundidad aproximada a 15 m - la deflexión de la corriente es de aproximadamente un 25%.

Los parámetros que intervienen en la generación de corrientes producidas por los vientos locales son varios y solo pueden elaborarse ecuaciones para su cálculo meramente orientativas siendo más conveniente para propósitos prácticos realizar mediciones directas.

El movimiento de las masas de aire horizontales son atribuibles a las desigualdades de la densidad del aire, y a las presiones bajas y altas; el excesivo calentamiento del aire hace que éste se anime de un movimiento ascendente dejando un lugar vacío en el lugar en donde se dilató y en consecuencia es llenado por otro más denso procedente de otras regiones.

En meteorología se denomina como viento a la componente del movimiento del aire paralela a la superficie terrestre. Los movimientos de las masas de aire en otras direcciones se denominan corrientes de aire.

Los vientos se clasifican en *Constantes*; cuando soplan en una dirección todo el año, *Periódicos*; cuando invierten su dirección con las estaciones o con el día y la

noche, *Irregulares*; los que carecen de periodicidad y soplan en una y en otra dirección; por su extensión pueden ser generales y/o locales.

La dirección del viento es el punto cardinal de donde sopla, denominándose comúnmente: N, NE, E, SE, S, SW, W, y NW. Su intensidad es la velocidad con que se mueve expresándola en (m/seg., Km/hr, nudo); para su medición se utiliza la escala internacional de Beufort.

El viento es el principal generador de oleaje que provoca mareas de vientos y fuerzas dinámicas sobre las estructuras, de ahí su importancia de conocer su dirección e intensidad.

La mar levantada por el viento, o "mar de viento" es en realidad función creciente de tres variables; la fuerza o intensidad del viento, su persistencia y su fetch.

El fetch es la extensión rectilínea sobre la que sopla un viento de dirección y fuerza teóricamente constantes. Es decir, es una "zona de generación"; el fetch limita su longitud en forma paralela a la dirección del viento, expresándose en kilómetros o millas y, para un viento dado, la altura del mar es creciente. En otras palabras el oleaje es mayor, para un viento dado, con fetch largos que con cortos.

Internacionalmente se ha adoptado la escala Douglas para definir el estado del mar, asociado a un nombre característico y correspondiente a cada uno de los grados Beufort (ver anexo).

Cuando el viento arrecia violentamente, la distancia entre crestas se acorta y los frentes se hacen más pendientes. Si la altura de la ola alcanza la séptima parte de la "longitud de onda" - distancia entre las crestas - la ola no se sostiene y rompe porque no puede mantener su propia masa de agua. En ese momento, toda la

energía cinética acumulada a lo largo de muchas millas marinas por el viento se transforma en transporte de agua.

#### **4.5 Corrientes de Densidad**

Se deben a la presencia vertical de dos masas de agua con densidades diferentes, de modo que la superior tenga mayor densidad que la inferior y la superficie isobárica sea oblicua, actuando sobre ambas masas la fuerza de coriolis que facilita el desplazamiento de una sobre otra.

El gradiente como elemento productor de las corrientes está determinado por las diferencia de densidad de las masas de agua, la cual es función de la temperatura y la salinidad. Es por ello que algunas corrientes presentan componentes en el plano vertical, que implica un trasvase de masas de agua de uno a otro plano potencial o estrato.

Una serie de elementos circunstanciales es constituyente a matizar a las corrientes cualquiera que sea su origen. La configuración y la topografía del fondo son dos de estos elementos; la aportación de agua dulce, la inercia de la misma corriente una vez generada, etc. Las corrientes se clasifican como calientes y frías por su importancia en ciertos comportamientos de orden biológico.

## V MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Trabajo de Campo

Para la realización del presente estudio, se programaron las actividades en coordinación con los trabajos de investigación que el INP realiza en Chipehua, Salina Cruz, Oaxaca. En donde alternativamente se realizaron las pruebas hidrodinámicas en coparticipación con el personal del Instituto Nacional de la Pesca, adscrito a la Dirección General de Investigaciones Pesqueras Pacifico Sur; Subdirección de Tecnología Pacifico Sur.

Al personal técnico para el manejo de los aparatos y equipos, se sumo un grupo de tres pescadores de la comunidad, que colaboraron proporcionando dos embarcaciones con motor fuera de borda para el traslado y operación del trabajo de campo. Las pruebas técnicas se desarrollaron con equipos de buceo, compresor, aparatos de medición y demás enseres para el experimento hidrodinámico.

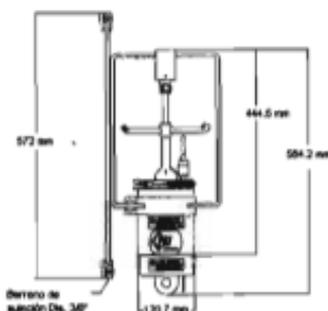
### 5.2 Materiales

Dos paneles de paño de red PA  $\phi = 1.75$  mm, de  $1 \frac{1}{2}$ " de tamaño de malla de un metro cuadrado encabalgado sobre un cabo de PE  $\phi = 6$  mm con coeficientes de abertura de la malla  $u_1/u_2 = .707/.707$  y montado sobre un marco de tubo de PVC  $\phi = \frac{1}{2}$ ". Otro panel semejante pero de encabalgado diferente con mallas mas cerradas, con coeficientes de abertura  $u_1/u_2 = .500/.866$

Tres Sacos llenos de 40 kilogramos de arena, un para el fondeo del correntómetro a 11 metros de profundidad (para evitar los efectos de las olas), y dos mas para fijar los paneles perpendiculares a la corriente y frente al aparato; aparato y paneles sostenidos verticalmente por la fuerza vertical de flotabilidad de dos botellas inyectadas con aire, que se aparejaron a dichos elementos.

### 5.3 Correntómetro Acústico 2Dacm

Utilizado para las mediciones en tiempo real, es compacto y eficaz, con vector de velocidad y dirección promedio actuales, figura dentro de los mejores aparatos diseñado para mediciones de corrientes por medición acústica. Utiliza diseño compacto de ultra-baja-energía; el 2Dacm, ofrece una herramienta muy compacta, ligera, capaz de medir la corriente horizontal con gran exactitud. Con la capacidad interna de la recuperación de datos, larga duración de funcionamiento por batería, compás electrónico interno y sensores de inclinación; el 2Dacm está bien adaptado para una amplia variedad de los usos de medición. Las características que se pusieron en operación fueron:



#### Sensores

Parámetro	tipo	intervalo	exactitud	Resolución
Velocidad	acústico	0 a 600 cm/s	2% de la lectura o 1 cm/s	0.01 cm/s
Dirección	Magnetómetro de 3 Ejes	0 a 360°	±2°	0.01°
Inclinación	Acelerómetro de 2 Ejes	0 to 45°	0.5°	0.01°
Temperatura	Semi-Conductor	-2 to 35°C	0.5°C	0.5°C...01°C*

#### Opcional CTD

	Intervalo	Exactitud	Resolución	Estabilidad
Conductividad(Sim)	0 a 7.0	±0.002	.0001	±0.005
Temperatura (Celsius)	-2° to 35° ITS-90	±0.03°	.001°	±0.005°
Presión (dBar)	0 to 200 dBar 0 to 2000 dBar	±0.3% a gama completa	0.01% a gama completa	±0.01%

Figura 9.- Correntómetro tipo acústico 2Dacm (<http://www.falmouth.com.>)

En los sitios de instalación de sistemas estacionarios para la pesca y la acuicultura, siempre estarán presentes perturbaciones hidrometeorológicas como: corrientes, oleajes y vientos que modifican la forma, posición y estabilidad de estos sistemas; la magnitud de las fuerzas externas que actúan sobre ellos, son complejas y variables en el tiempo.

Cuando las corrientes acontecen o el mar esta agitado las redes se someten a un movimiento no uniforme y aparecen las fuerzas de inercia las cuales juegan un rol importante en la tensión de paños y como consecuencia en la estructura.

Las fuerzas externas afectan de manera diferente en situaciones distintas, por ello deben de examinarse problemas concretos para realizar un correcto análisis de las fuerzas que intervienen; primero estableciendo qué fuerzas son determinantes y cuáles pueden ser despreciadas por su magnitud, de modo que el cálculo pueda simplificarse, y después valorar los efectos que estas conllevan para una correcta evaluación.

Uno de los principales factores a estudiar en este trabajo, consiste en conocer las fuerzas producidas por la corriente y oleaje y su efecto en las redes; este experimento fue desarrollado en una zona donde se opera un sistema de jaulas flotantes. Como la corriente es el principal factor a considerar en este estudio, los paneles que se sometieron a experimentación se instalaron a una profundidad de once metros, con el propósito de evitar algunas perturbaciones debidas al oleaje y el viento, buscando observar el efecto de cambio de la velocidad de la corriente al pasar por el panel.

El experimento se desarrolló instalando el correntómetro para medir la velocidad de la corriente ininterrumpidamente; posteriormente se interpuso un panel de paño de red PA  $\phi = 1.75$  mm, de  $1 \frac{1}{2}$  m de tamaño de malla de un metro cuadrado encabalgado sobre un cabo de PE  $\phi = 6$  mm con coeficientes de abertura de la

malla  $u_1/u_2 = .707/.707$  frente a este, con el objeto de medir el cambio de velocidad de las partículas. Posteriormente se repitió lo anterior, colocando otro panel semejante, con mallas mas cerradas, con coeficientes de abertura  $u_1/u_2 = .500/.866$ . Los intervalos de tiempo en que se estuvo midiendo la velocidad de la corriente fue suficiente para obtener series de mediciones continuas de la velocidad, dirección, inclinación y temperatura; y adicionalmente conductividad, temperatura y presión, todo simultáneamente, haciendo un total de 85 registros.

El correntómetro y panel mantuvieron una posición perpendicular constante contra la corriente, debido a las fuerzas de fijación del anclaje, y a las fuerzas de flotación proporcionada por las botellas.

#### **5.4 Supuestos y Fundamentos Básicos**

1. La masa de agua considerada se mueve (macroscópicamente con movimiento suave y uniforme) con una velocidad actual promedio  $V_x$  que es el resultado de las velocidades de las partículas en un flujo turbulento dentro de un caudal limitado por el área seccional considerada y la velocidad de desplazamiento.
2. El caudal limitado por el área transversal discurrida a través del sistema de paño de red, se autorregula como resultado de que la presión hidrostática se mantiene igual a;  $Ph = h \cdot \gamma_w$  en los confines de su recorrido y; al pasa por el panel de red sufre un cambio en la velocidad de salida y un caudal remanente es rechazado por dicho sistema.
3. La velocidad con que se desplaza el caudal de agua hacia un sistema considerado, permanece constante a menos que una fuerza externa no equilibrada (fuerza de reacción hidrodinámica del panel), modifique su estado de movimiento uniforme.

4. Dado que la potencia en términos hidráulicos como mecánicos está estrechamente relacionada con los cambios manifestados en este suceso hidrodinámico, la ecuación que se anota abajo, es la base de las relaciones que existen entre el caudal del flujo hidráulico y el cambio de la velocidad de la corriente y, así mismo, la presión ejercida por la masa de agua y la fuerza de reacción hidrodinámica resultante.

$$POTENCIA \quad N = P_d \left( \frac{Kgf}{m^2} \right) \cdot Q \left( \frac{m^3}{seg} \right) = F_{rp} (Kgf) \cdot V \left( \frac{m}{seg} \right)$$

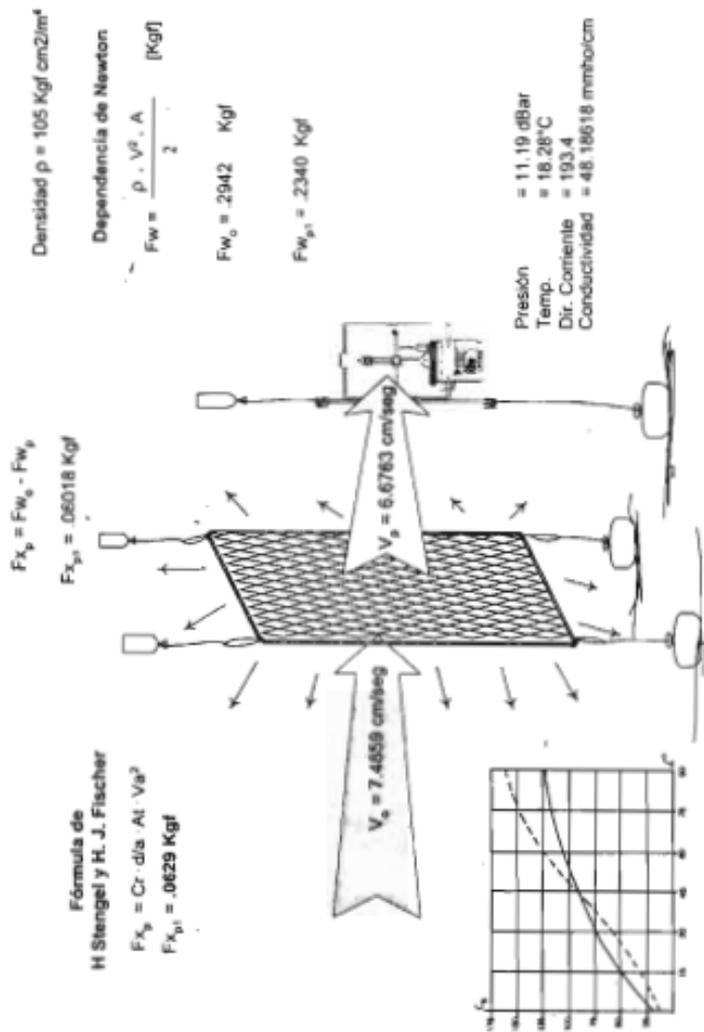


Figura 10.- Efecto Hidrodinámico Panel 1

## 5.5 Propuesta Metodológica

Para el estudio de fuerzas de reacción hidrodinámicas que actúan en sistemas estacionarios para pesca y acuicultura, se desarrollaron las ecuaciones matemáticas que sustentan la propuesta metodológica como a continuación se expone:

### 5.5.1 Ecuaciones Básicas

El peso de agua contenida en un metro cúbico es igual a:  $G_w = m \cdot g$  y ésta es una fuerza determinada por la densidad de la masa de agua cuya magnitud es igual a  $F_w = \rho \cdot v \cdot g$ . Luego entonces, para una masa de agua en movimiento, la dependencia de Newton se expresa como sigue:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad [Kgf]$$

Donde:

$m = G_w/g$  es la masa contenida en  $1 \text{ m}^3$  de agua de mar.

$\rho = m/v = G_w/g \cdot v$  es la densidad del agua de mar de aprox.  $105 \text{ Kgf. seg}^3/\text{m}^4$

$m = \rho \cdot v$  es la cantidad de masa contenida en un determinado volumen

$G_w$  es el peso de  $1 \text{ m}^3$  de agua de mar de aprox.  $1033 \text{ Kgf.}$

$g$  es la aceleración de la gravedad igual a  $9.81 \text{ m/seg}$

$v$  es el volumen de  $1 \text{ m}^3$  de agua, y

$V$  es la velocidad de la corriente (masas de agua) en  $\text{m/seg.}$

$A$  es el área de la sección transversal de filete de agua considerado en  $\text{m}^2$

Una masa de agua de mar en movimiento, pasa por un panel de red como en la Fig. 9 sufre una disminución de su velocidad causada por la resistencia que opone el panel al paso de la corriente, dicha resistencia depende de las características del material, tales como; el grosor del hilo, tipo de nudo, abertura de las mallas, entre otros.

Dado que a toda acción corresponde una reacción, la presión hidrodinámica ejercida por la masa de agua en movimiento es la causante de una resultante llamada fuerza de reacción hidrodinámica  $F_{XP}$  del panel, que se opone al paso de la corriente (masa de agua considerada).

Las velocidades de la misma masa de agua deben medirse antes y después de pasar por el panel, pues su cambio, determina la magnitud de la reacción hidrodinámica que puede ser calculada como sigue:

$$F_{XP} = F_{w_0} - F_{wP} \quad [Kgf]$$

Donde:

- $F_{w_0}$  y  $F_{wP}$  fuerza debida al movimiento de las masas de agua antes y después de pasar por el panel en (Kgf)
- $F_{XP}$  fuerza de reacción hidrodinámica del panel perpendicular a la corriente en (Kgf)

Desarrollando la ecuación anterior, tenemos que la fuerza de resistencia que opone el panel al paso de la corriente es igual a:

$$FUERZA \quad F_{XP} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_0^2 - V_P^2) \quad [Kgf]$$

Donde:

- $F_{XP}$  Es la fuerza de resistencia de las materiales de redes al paso de la corriente a través del panel colocado perpendicularmente en (Kgf)
- Es la densidad del agua de mar con un valor que depende de la temperatura y la salinidad, con un valor estimado de 105 [Kgf-seg<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>]

$V_0$  Es la velocidad de las masas de agua antes de pasar por el panel y, la misma que se toma para los cálculos teóricos en (m/seg.)

$V_p$  Es la velocidad de las masas de agua después de pasar por el panel en (m/seg)

$A = A_p = A_w$  Es el área proyectada del panel perpendicular respecto a la dirección del desplazamiento de las masas de agua y al mismo tiempo, el área de la sección del filete de agua considerado en ( $m^2$ ).

A mayor resistencia que oponen las áreas efectivas (área sólida) del panel, aumenta la presión hidrodinámica.

$$PRESION \quad P_{wp} = \frac{F_{xp}}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_0^2 - V_p^2) \quad \left[ \frac{Kg_f}{m^2} \right]$$

Conforme pasa el tiempo y en condiciones similares de operación, el panel sufre un ensuciamiento a consecuencia de adherencias de organismos (fouling) que se van pegando a las mallas de los paños trayendo como consecuencia un aumento en las fuerzas de hundimiento (fuerza de gravedad) y cambios en las Fuerzas de Reacción Hidrodinámica que hacen disminuir la velocidad de la corriente, ese cambio en las fuerzas de reacción hidrodinámica puede ser detectado y evaluado a través del por así llamarlo Índice del Cambio de Velocidad Relativo " $Iv^2$ ".

$$\frac{F_{xp2}}{F_{xp1}} = \frac{V_{02}^2 - V_{p2}^2}{V_{01}^2 - V_{p1}^2} = Iv^2$$

Donde:

$V_{01} = V_{02}$  Son las velocidades de entrada antes de pasar por el panel al inicio de la puesta en operación y al tiempo de la puesta en operación respectivamente en m/seg; nótese que dichas velocidades deben ser las mismas.

$V_{p1} \neq V_{p2}$  Son las velocidades de salida después de pasar por el panel al inicio de la puesta en operación y pasado un tiempo de la puesta en operación, respectivamente en m/seg; nótese que las velocidades serán obviamente diferentes.

El "Iv" informa sobre el grado de ensuciamiento que sufre el panel después de un tiempo de operación a consecuencia del "fouling", aportando como resultado un aumento de área efectiva (área sólida acumulada).

La relación de áreas efectivas (área sólida) con panel sucio y después con panel limpio  $I_v = A_{e2}/A_{e1}$  se demuestra mas adelante:

$$\frac{V_{a2}^2 - V_{p2}^2}{V_{a1}^2 - V_{p1}^2} = I_v^2$$

La pérdida de potencia por la masa de agua a consecuencia de la disminución de la velocidad y puede ser determinada por la siguiente ecuación:

$$POTENCIA \quad N_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_o^3 - V_p^3) \quad \left[ \frac{Kgf \cdot m}{seg} \right]$$

El cambio de la velocidad implica un cambio en el caudal después del paso por el panel, ya que el área discurrida es la misma; por lo tanto, el caudal  $Q$  [m<sup>3</sup>/seg] está caracterizado por la velocidad; esto es, el caudal es la velocidad con que se mueve una carga por una sección considerada y se determina como sigue:

$$CAUDAL \quad Q = \frac{Volumen}{tiempo} = \frac{m^3}{seg} = \frac{m}{seg} \cdot m^2 = V \cdot A$$

El caudal pues, es la velocidad con que un volumen pasa por una sección y de esta manera la determinación del caudal estimado antes de pasar por el panel es igual a:

$$\text{CAUDAL } Q_0 = V_0 \cdot A \quad [m^3 / \text{seg}]$$

El caudal resultante después de pasar por el panel será igual a:

$$\text{CAUDAL } Q_p = V_p \cdot A \quad [m^3 / \text{seg}]$$

La diferencia de caudales viene siendo teóricamente aquel caudal que chocó contra el área efectiva (área sólida) que no dejó pasar dicho volumen por los límites establecidos quedando fuera del sistema considerado y cuyo valor correspondiente es igual a:

$$\text{caudal remanente } \Delta Q = Q_0 - Q_p \quad [m^3 / \text{seg}]$$

Para la determinación del área efectiva (área sólida de choque) se puede plantear lo siguiente, si  $Q_0(100\%) = Q_p(\%) + \Delta Q(\%)$ . Los términos del segundo miembro de la igualdad son los caudales separados por la acción del panel, y  $\Delta Q$  representa un porcentaje de caudal que fue rechazado por el área sólida  $A_e$  que se desplazaba con velocidad  $V_0$ , por lo que el área efectiva de los materiales de choque se anota como sigue:

$$A_e = \frac{\Delta Q}{V_0} \quad [m^2]$$

La siguiente ecuación permite estimar el ensuciamiento que sufre el panel al tiempo de operación, a partir del índice "fv" o a partir de las áreas efectivas de los paneles limpio y sucio respectivamente.

$$\frac{A_{e_2}}{A_{e_1}} = \sqrt{\frac{\Delta Q_{02}}{\Delta Q_{01}}} = fv$$

$A_{e2}$  ;  $A_{e1}$  Son las área efectiva totales del panel de red sucio de fouling y limpio de adherencias respectivamente en  $m^2$ .

### 5.5.2 Velocidad Final Cero $V_f$

En los sistemas estacionarios dedicados a la acuicultura, es de vital importancia el intercambio de agua, ya que en recintos ocupados por organismos en cautiverio requieren; suficiente oxígeno disuelto, la remoción de metabolitos tóxicos y la eliminación de sedimentos. Y como se sabe, la dispersión de estos y otros elementos depende de la velocidad de la corriente.

Se ha señalado que la velocidad de la corriente se ve disminuida por las áreas efectivas de los materiales de redes y demás elementos que se encuentren en la trayectoria del movimiento de la corriente de agua, lo que produce un efecto negativo en la calidad del agua donde se encuentran confinados organismos en cautiverio, siendo crítico cuando la velocidad tiende a un valor cero.

Para fines prácticos, se puede determinar el área efectiva que cierto perfil recurrente del sistema en cuestión pudiera provocar la velocidad cero.

Partiendo de este criterio, el área efectiva (área sólida) de un paño de red es aquella que impide el paso de la corriente, y está determinada por el caudal que es rechazado y que no pasa por el área seccional considerada.

La velocidad final  $V_f$  es igual a cero cuando el área seccional considerada sea igual al área efectiva (área sólida)  $A_0 = A_e$  ; con éste planteamiento se tiene que:

$$A_e = \frac{\Delta Q}{V_0} = \frac{Q_0 - Q_f}{V_0} = \frac{V_0 A - V_f A}{V_0}$$

$$A_e = A \left( 1 - \frac{V_F}{V_0} \right)$$

En esta ecuación se tiene que con  $V_F = V_0$  el área efectiva sería cero  $A_e = 0$  por lo que no hay obstáculo que impida el movimiento del agua.

Cuando  $V_F$  disminuye a valores mínimos (monitorear este parámetro) es por que el área efectiva va en aumento hasta que teóricamente  $A_e = A$  y el obstáculo para el paso del agua será máximo es decir, el agua se detiene con las consecuencias antes mencionadas.

Otro criterio aunado a lo anteriormente expuesto a este último punto de vista, se puede resolver teóricamente a partir del área proyectada (que se considera como igual al área sólida o efectiva; la diferencia estriba en que el área sólida o efectiva es hidrodinámicamente una superficie plana perpendicular a la dirección de la corriente, y el área proyectada es la misma pero no tiene en cuenta las características hidrodinámicas de una superficie plana perpendicular a la corriente, porque las barras de las mallas son de configuración cilíndrica) de los hilos de una malla como sigue:

El tamaño de la malla es la distancia entre dos nudos opuestos, medido desde sus centros; por lo que la luz de malla geoméricamente será  $(2a - d)$  y para incluir las cuatro barras se multiplica por dos; luego por el diámetro "d" para encontrar el área proyectada.

$$A_{em} = 4ad - 2d^2$$

Este planteamiento elimina dos nudos lo que no afecta al resultado ya que cada malla comparte sus cuatro nudos con cuatro mallas a su alrededor siendo el efecto neto el que le corresponde proporcionalmente, de ahí que el área "efectiva" o área

proyectada en paños sin nudo, y un pequeño porcentaje mas para el caso de paños con nudos en dependencia del grosor y tamaño de malla.

En la tabla 1 se dan valores aproximados de las áreas proyectadas de los hilos de una malla con coeficientes de abertura  $u_1/u_2 = .500/.866$  y  $.707/.707$  con diferentes ángulos de ataque en el eje "X" y en el eje "Y" contra la corriente.

El área "efectiva" total de los paños es la suma de todas las áreas efectivas de sus mallas, para el caso de los paneles en el experimento el área efectiva es igual a:

$$A_e = \frac{\text{área ficticia del paño}}{\text{área ficticia de una malla}} \cdot \text{área efectiva de malla}$$

### 5.5.3 Coeficiente de Filtración

Sobre la abertura de la malla influye la filtración del agua por la red, esta depende de la luz de malla lo cual puede presentarse por un coeficiente de filtración igual a:

$$\text{Coef. de filtración } K_f = 1 - \frac{A_e}{A}$$

Donde:

$A_e$  y  $A$  son el área efectiva y el área discurrida a través del sistema perpendiculares al desplazamiento de la corriente.

### 5.5.4 Propuesta para un Sistema de Jaulas Flotantes

En la determinación de las fuerzas de reacción hidrodinámica en un sistema de jaulas flotantes, es necesario caracterizar dicho sistema en lo que se refiere a diseño y dimensiones principales, así como los materiales con que esta construida para contar con información precisa sobre las áreas seccionales de trabajo de los

posibles perfiles a investigar, es decir, tener una idea tridimensional del sistema trabajando por el cual vaya a fluir el "filete" de agua que lo impactara.

Para la aplicación de ésta metodología se analiza un sistema de 10 jaulas flotantes de diseño cúbico de  $5\text{m} \times 5\text{m} \times 5\text{m} = 125 \text{ m}^3$  colocadas longitudinalmente en dos filas y lastrada en sus cuatro esquinas; ver figura 2.

Estas son unidas a una estructura construida de cabos y soportada a flote por garrafones de vidrio y tambos de 200 litros; también debe estar fija al fondo del mar mediante un sistema de anclaje seguro que garantice un trabajo estable y adecuado para el propósito para el cual se construye (cultivo o engorda de peces en cautiverio).

Es preciso durante trabajos previos, encontrar el ángulo perpendicular a la corriente y sobre el cual estimar el área seccional por donde se estimara pasará el caudal de la masa de agua considerada.

La velocidad inicial  $V_0$  con que se acerca un caudal de masa de agua a las jaulas, es medido antes de cruzar el sistema; el choque con los elementos de materiales pesqueros que va encontrando a su paso va provocando en la masa de agua disminuya su velocidad la cual será finalmente medida después de salir en el lado opuesto con una velocidad de salida  $V_f$  con magnitudes diferentes en la sección considerada; como consecuencia de que las áreas efectivas (área sólida) encontradas a su paso son diferentes en cada punto de la sección transversal por donde pasa, se hace necesario contar con un valor promedio para poder aplicar la metodología propuesta.

Al respecto se presenta una idea que puede ser útil para el caso de aplicaría en un sistema simétrico. Las áreas efectivas localizadas en el recorrido de un caudal que

se mueve por una sección en trayectoria recta paralela a la corriente, van a ser medidas y sumadas al final del recorrido.

El caudal de referencia que saldrá con velocidad final  $V_F$  considerado en los confines de ese subsistema, va ser el resultado provocado por el efecto sumado de las áreas efectivas.

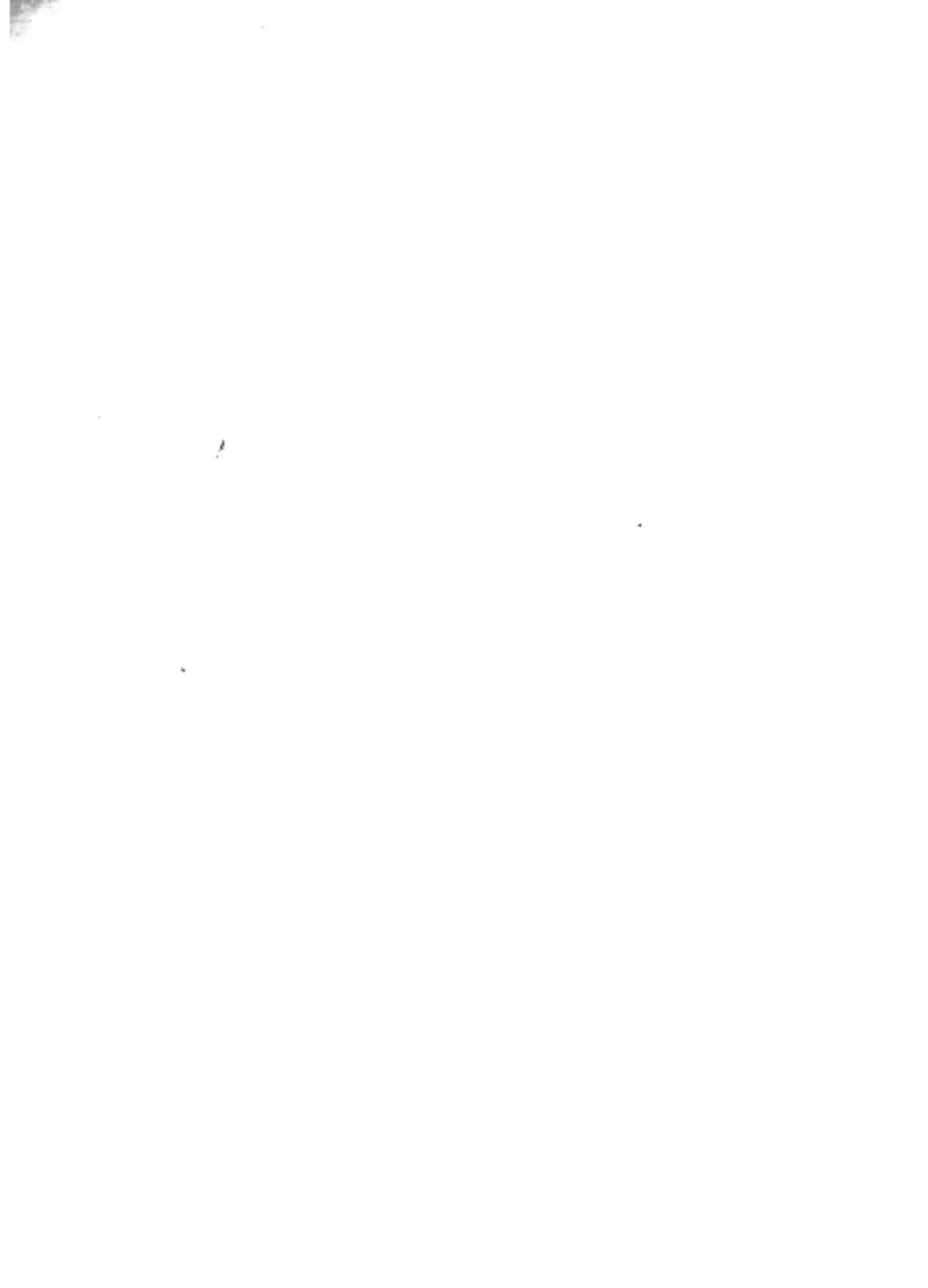
Las trayectorias adyacentes a este caudal de referencia, también va haber caudales con velocidad de salida diferente, provocados obviamente por áreas efectivas diferentes, por lo que en las secciones transversales de las trayectorias adyacentes, las áreas efectivas se estimarán en base a los perfiles del diseño conocido de las jaulas y sumadas como fracciones de unidad del área efectiva de referencia.

Como ya se ha mencionado, el caudal entrante menos el caudal saliente nos proporciona un caudal remanente  $\Delta Q$  que choca contra las áreas efectivas (área sólida) que no dejó pasar dicho volumen por los límites establecidos y que para el caso de este análisis particular tenemos que:

$$\text{Caudal remanente } \Delta Q_s = Q_s - Q_s \quad [m^3 / seg]$$

La razón de la relación entre el caudal remanente y el caudal inicial del subsistema considerado, es directamente proporcional a sus respectivas áreas; de tal manera que el cálculo del área efectiva  $A_e$  pueda ser encontrado como sigue:

$$\frac{\Delta Q_s}{Q_s} = \frac{A_e}{A} \quad \therefore A_e = k \cdot A$$



El Caudal remanente total  $\Delta Q_T$  para el sistema total de jaulas y de acuerdo con la ecuación  $\Delta Q = A_e \cdot V_0$  y su aplicación al sistema completo se apunta como sigue:

$$\Delta Q_T = 5 \cdot A_e \cdot V_0$$

$$\Delta Q_T = A_{eT} \cdot V_0$$

Donde:

$A_{eT}$  es la sumatoria de las áreas efectiva  $\Sigma (1+1+4+4+7+7+8+8)/8$  tomadas de la proyección simétrica en base de la unidad  $8/8 = A_e$  de las áreas efectivas en la trayectoria del caudal de referencia  $Q_0$  ver figura 10

El caudal final total es igual a:

$$Q_{FT} = Q_{0T} - \Delta Q_T$$

También:

$$Q_{FT} = A_T (V_0 - \bar{V}_F)$$

Por lo tanto la velocidad final promedio es igual a:

$$\bar{V}_F = \frac{Q_{FT}}{A_T} - V_0$$

De esta manera la fuerza de reacción hidrodinámica para un sistema de jaulas flotantes se determina con la siguiente ecuación:

$$F_{R0T} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T (V_0^3 - \bar{V}_F^3)$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYAGI



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

$$\begin{aligned}
 V_0 &= \\
 V_6 &= \\
 A_0 &= 17.67 \text{ m}^2 \\
 A_6 &= 17.67 \text{ m}^2 \\
 A_T &= 134.62 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

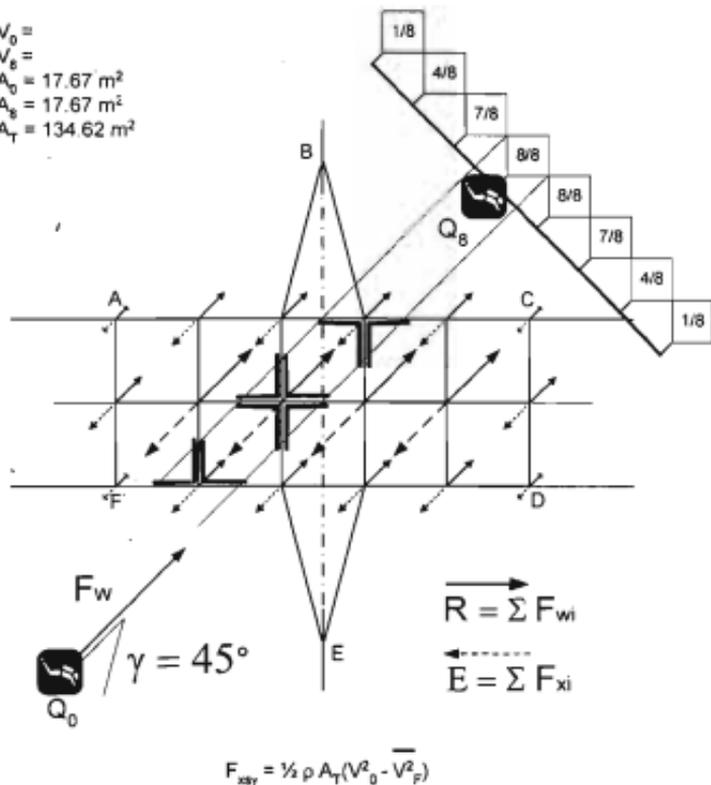


Figura 11.- Proyección de áreas efectivas de los paños en un sistema simétrico de jaulas flotantes y localización de los puntos de instalación de los correntómetros

## VI RESULTADOS Y DISCUSION

La Gráfica 1 muestra los resultados de las 85 mediciones registradas cada dos minutos, durante 2 horas y 53 minutos aproximadamente, el día 3 de marzo del 2006 con el correntómetro acústico 2Dacm. Las variables que se muestran son: La presión en dBares y el cálculo del vector promedio de velocidad de corriente en cm/seg, mismas que fueron recuperadas en una PC y procesadas con el programa de 'Microsoft Excel para la definición de los datos buscados y presentados de manera útil en la Tabla 1.

El total de variables que el aparato registró en los intervalos de tiempo programado fueron las variables: Presión en dBares, Cálculo del vector promedio de velocidad de corriente en cm/seg, Conductividad eléctrica en mmho/cm, Temperatura en °C, Dirección de la corriente en grados, entre otros, y por supuesto registrados y almacenados en tiempo real a la memoria de destello interna de largo plazo:

La presión hidrostática registrada durante el experimento se ubica en la gráfica en la parte superior y la de las velocidades de la corriente que se localiza en la parte inferior, por ser la magnitud de la escala de las ordenadas en la gráfica compatible para ambas variables.

La presión hidrostática registrada en dBares en una 1ª serie de 85 mediciones, presentada con una tendencia Polinomial, misma que nos muestra una relación con el pronóstico de mareas para ese día; obsérvese el calendario de mareas en la Gráfica 2 una clara dependencia de la intensidad de la corriente con la fluctuación de la marea en su fase de pleamar según la ecuación:

$$P_{wh} = -142.46X^2 + 167.38X - 37.465 \quad R^2 = 0.6522$$

### REGRESIÓN LINEAL

Cambio de la Velocidad de la Corriente por efecto del Nivel de Red P1 y P2

- Temperatura promedio 19.387°C  
Conductividad 48.196 mmho/cm  
Densidad

$$P_{m1} = -142.46x^2 + 167.38x - 37.465$$
$$R^2 = 0.6522$$

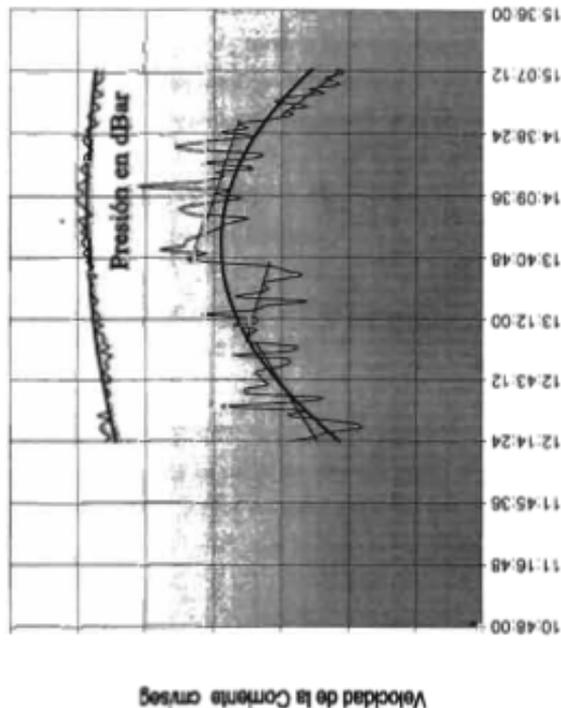
$$V_{m2} = -842.66x^2 + 967.93x - 270.18$$
$$R^2 = 0.4951$$

$$V_{m1} = 54.929x - 23.058$$
$$R^2 = 0.288$$

$$V_{P1} = -26.891x + 21.622$$
$$R^2 = 0.310$$

$$V_{m2} = -29.871x + 25.587$$
$$R^2 = 0.713$$

$$V_{P2} = -117.06x + 76.07$$
$$R^2 =$$



Hora del día 03/28/2006

Figura 12.- Análisis de tendencias Velocidad vs Hora y Presión vs Hora

La velocidad de la corriente registrada en cm/seg, es el cálculo de vectores promedio de velocidad instantánea registrada por el correntómetro y graficados en una 2<sup>da</sup> serie de 85 mediciones, que muestran también una tendencia polinomial según ecuación:

$$V_{w0} = -842.66X^2 + 967.93X - 270.18 \quad R^2 = 0.4951$$

Esta serie requiere ser corregida en los valores de la velocidad de la corriente de los datos ubicados en la ordenada de los puntos medios de las rectas de las series 4<sup>ta</sup> y 6<sup>ta</sup> ver tabla 1, en virtud de que dicha velocidad fue disminuida por los paneles de paño de red; en consecuencia esta 2<sup>da</sup> serie para efectos de detectar los valores de la velocidad  $V_0$  tendría que localizarse un poco mas arriba como lo demuestran los valores medios de las series 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup> que deberían de coincidir con los de la 2<sup>da</sup> serie polinomial de velocidad de la corriente.

$$V_{w1} = 54.929X - 23.058 = 5.852 \text{ cm/seg} \quad R^2=0.288$$

$$12^\circ 37' 37'' \quad X = .526122685$$

$$V_{w2} = -29.871X + 25.587 = 7.910 \text{ cm/seg} \quad R^2=0.713$$

$$14^\circ 12' 12'' \quad x = .591805555$$

La velocidad de la corriente  $V_{P1}$  y  $V_{P2}$  corresponden a la velocidad de la corriente después de pasar por el paño de red del panel 1 y el panel 2 respectivamente, son localizadas en la gráfica en los puntos medios de las rectas de regresión lineal simple de las series 4<sup>ta</sup> y 6<sup>ta</sup>, que presentan las siguientes ecuaciones:

Para la 4<sup>ta</sup> serie de 19 mediciones corresponde a un panel de paño de red encabalgado con un  $u_1/u_2 = .707/.707$ , es decir, a malla cuadrada es:

$$V_{P1} = -26.891X + 21.622 = 6.676 \text{ cm/seg} \quad R^2=0.310$$

$$13^\circ 20' 20'' \quad X = .555787037$$

Para la 6<sup>ta</sup> serie de 11 mediciones corresponde a un panel de paño de red encabalgado con un  $u_1/u_2 = .500/.866$ , es decir, malla mas cerrada, la ecuación es:

$$V_{p2} = -117.08x + 78.07 = 5.144 \text{ m/seg} \quad R^2 =$$

$$14^\circ 56' 56'' \quad X = .62287037$$

Las siguientes fórmulas son empleadas para estimar la velocidad de salida  $V_{p2}$  del panel 2, apoyados en los resultados de las fórmulas de H. Stengel y H. J. Fischer y las basadas en el cambio de velocidad.

$$F_{wp2} = F_{w0} - F_{\#2} \quad F_{wp2} = .210346625 \quad \text{Kgf}$$

$$F_{wp2} = Cr \cdot \frac{d}{a} \cdot At \cdot V^2 \quad V_{p2} = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{wp2}}{\rho \cdot A}} \quad .063297728 \quad \text{m/seg}$$

$$F_{w0} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot A$$

TABLA 2.: Análisis comparativo de la reacción hidrodinámica

Elementos para la evaluación	$F_{wp} = Cr \cdot \frac{d}{a} \cdot At \cdot V^2$			$F_{wp} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_0^2 - V_2^2)$		
	P <sub>1</sub> 707/ 707	P <sub>2</sub> 500/ 866	P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> 707/ 707	P <sub>2</sub> 500/ 866	P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>
Cr	122.2	162.9	1.333	-	-	-
$\rho$ (Kgf·seg <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	105		1.0	105		1.0
d (mm)	1.75		1.0	1.75		1.0
a (mm)	19.05		1.0	19.05		1.0
At (m <sup>2</sup> )	1.0		1.0	1.0		1.0
Af (m <sup>2</sup> )	2.0 m <sup>2</sup>	2.3094	1.1547	2.0 m <sup>2</sup>	2.3094	1.1547
Vo (m/seg)	07485952343		1.0	07485952343		1.0
Vp (m/seg)	-	-	-	06676330	063297728	94677
Exp (Kgf)	062908363	083860658	1.333	060197026	083860658	1.3931

		Regresión Lineal Hora vs Velocidad		Tendencia Polinomial Hora vs Velocidad		Diferencia
Hora	Absisa	Serie	cm/seg	Serie	cm/seg	cm/seg
12° 37' 37"	526122685	3° t	5.841392964	2° t	5.817362056	024030908
13° 20' 20"	555787037	4° t Vp1	6.676633078	2° t VO	7.485952343	809308033
14° 12' 12"	591805555	5° t	7.910357889	2° t	7.518324363	392033529
14° 56' 56"	622870370	6° t Vp2	5.144127561	2° t VO	5.790225518	646097957

El segundo panel que se utilizó en el experimento, se ladeo a consecuencia de que perdió un flotador, por lo que los resultados y el análisis hecho sobre este, sería poco confiable; sin embargo, los resultados de las mediciones obtenidas del análisis de las tendencias estadísticas se muestran en la Tabla anidada.

## 6.1 Cálculo de los Efectos Hidrodinámicos Panel 1; Panel 2

Determinación de los diferentes parámetros con que se mueve un "filete" de agua de 1 m<sup>2</sup> de sección por el área de trabajo de un panel de red perpendicular a la corriente:

### 6.1.1 Fuerza con la que se mueve el agua

Antes de pasar por el paño  $Fw_0 = \gamma_2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot A$  0.295 Kgf

Después de pasar por el paño limpio  $Fw_1 = \gamma_1 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot A$  0.234 Kgf

Después de pasar por el paño sucio  $Fw_2 = \gamma_2 \cdot \rho \cdot V_{p2}^2 \cdot A$  0.210 Kgf

### 6.1.2 Fuerza de reacción hidrodinámica del panel al paso de la corriente

Con el paño limpio  $Fx_{p1} = \gamma_1 \cdot \rho \cdot A \cdot (V_0^2 - V_{p1}^2)$  0.0601 Kgf

Con el paño sucio  $Fx_{p2} = \gamma_2 \cdot \rho \cdot A \cdot (V_0^2 - V_{p2}^2)$  0.0838 Kgf

### 6.1.3 La presión hidrodinámica que ejerce las masas de agua al pasar por el panel

Con paño limpio  $P_{*1} = \frac{Fx_{p1}}{A} = \gamma_1 \cdot \rho \cdot (V_0^2 - V_{p1}^2)$  0.0601 Kgf / m<sup>2</sup>

Con paño sucio  $P_{*2} = \frac{Fx_{p2}}{A} = \gamma_2 \cdot \rho \cdot (V_0^2 - V_{p2}^2)$  0.0838 Kgf / m<sup>2</sup>

#### 6.1.4 Relación entre las fuerzas de reacción hidrodinámicas

El utilizó paño con coeficientes de abertura de malla  $u_1/u_2 = .500/.866$  y paño con malla cuadrada  $u_1/u_2 = .707/.707$  para simular un paño limpio y un paño sucio "Fouling" respectivamente; Índice del Cambio de Velocidad Relativo  $Iv^2 = (A_{e2}/A_{e1})^2$

$$\frac{F_{sp2}}{F_{sp1}} = \frac{V_{o2}^2 - V_{p2}^2}{V_{o1}^2 - V_{p1}^2} = Iv^2 = 1.394342762$$

Nota: los valores de las velocidades  $V_{o1}$  ;  $V_{o2}$  ;  $V_{p1}$  se tomaron del experimento y  $V_{p2}$  se estimó con la ayuda de la formula de H. Stengel y H. J. Fischer

#### 6.1.5 Grado de ensuciamiento

El incremento en área efectiva (obviamente provocada por el encabalgado impuesto al panel 2) aumenta en un 18% el área efectiva.

$$Iv = \frac{A_{e2}}{A_{e1}} = \sqrt{1.394342762} = 1.18$$

#### 6.1.6 Potencias sucesivas de las masas de agua en función de la velocidad

Potencia del filete de agua antes de pasar por el panel limpio

$$N_{w0} = F_{w0} \cdot V_0 = .0221 \text{ Kgf} \cdot \text{m/seg}$$

Potencia del filete de agua después de pasar por el panel limpio

$$N_{w1} = F_{w1} \cdot V_p = .0156 \text{ Kgf} \cdot \text{m/seg}$$

Potencia del filete de agua después de pasar por el panel sucio

$$N_{w2} = F_{w2} \cdot V_{p2} = .0133 \text{ Kgf} \cdot \text{m/seg}$$

Pérdida de potencia del filete de agua al pasar por el panel limpio

$$N_{p1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_o^3 - V_{p1}^3) = .0064 \text{ Kgf} \cdot \text{m/seg}$$

Pérdida de potencia del filete de agua al pasar por el panel sucio

$$N_{p2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_o^3 - V_{p2}^3) = .0087 \text{ Kgf} \cdot \text{m/seg}$$

### 6.1.7 Cambios de caudal

Caudal que se mueve antes de pasar por el panel

$$Q_0 = V_0 \cdot A \quad .0748 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Caudal que se mueve después de pasar por el panel limpio

$$Q_p = V_{p1} \cdot A \quad .0667 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Caudal que se mueve después de pasar por el panel sucio

$$Q_{p2} = V_{p2} \cdot A \quad .0635 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

### 6.1.8 Determinación del caudal rechazado

Caudal rechazado por el panel limpio:

$$\Delta \text{caudal remanente } \Delta Q_1 = Q_0 - Q_{p1} \quad .0081 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Caudal rechazado por el panel sucio:

$$\Delta \text{caudal remanente } \Delta Q_2 = Q_0 - Q_{p2} \quad .0113 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

### 6.1.9 Determinación del área efectiva (área sólida) y coeficiente de filtración

Bajo los criterios establecidos en la propuesta tenemos que:

- a) De acuerdo al caudal remanente  $\Delta Q$  y la velocidad inicial  $V_0$  tenemos que:

$$\text{Área efectiva del panel limpio} \quad A_{e1} = \frac{\Delta Q_1}{V_{01}} \quad .1082 \text{ m}^2$$

$$\text{Área efectiva del panel sucio} \quad A_{e2} = \frac{\Delta Q_2}{V_{02}} \quad .1509 \text{ m}^2$$

Relación de áreas efectivas (ensuciamiento por "fouling") respecto al paño limpio.

$$\frac{A_{e2}}{A_{e1}} = \sqrt{\frac{\Delta Q_{02}}{\Delta Q_{01}}} = \sqrt{1.3946} = fv = 1.1809$$

- b) De acuerdo a las áreas proyectadas de los hilos de los paño de cada panel, el área "efectiva" (área proyectada) se tiene los siguientes resultados:

Área de trabajo de 1.0 m<sup>2</sup> Panel P<sub>1</sub>

Paño PAφ = 1.75 mm; 2a = 38.1 mm; u<sub>1</sub>/u<sub>2</sub> = .707/.707

$$\frac{\text{área ficticia del paño}}{\text{área ficticia de una malla}} \cdot \text{área efectiva de malla} \quad [1.75288 \text{ m}^2]$$

Área de trabajo de 1.0 m<sup>2</sup> Panel P<sub>2</sub>

Paño PAφ = 1.75 mm; 2a = 38.1 mm; u<sub>1</sub>/u<sub>2</sub> = .500/.866

$$\frac{\text{área ficticia del paño}}{\text{área ficticia de una malla}} \cdot \text{área efectiva de malla} \quad [2.02411 \text{ m}^2]$$

El incremento del área "efectiva" (área proyectada), se tiene:

$$Iv = \frac{Ae_2}{Ae_1} = 1.15473$$

El coeficiente de filtración para Panel 1 *Coef. de filtración* Kf =  $1 - \frac{Ae_1}{A} = .824$

El coeficiente de filtración para Panel 2 *Coef. de filtración* Kf =  $1 - \frac{Ae_1}{A} = .798$

Panel P<sub>1</sub> Se requiere 5.7 paneles para impedir el paso de la corriente

Panel P<sub>2</sub> Se requiere 4.9 paneles para impedir el paso de la corriente

#### 6.1.10 Áreas Efectivas en el Sistema de Jaulas Flotantes

Los paneles que conforman cada jaula en el sistema, tienen lados de 25 m<sup>2</sup> de área de trabajo. Haciendo un análisis de las áreas "efectivas" en la trayectoria Q<sub>a</sub> le la figura 10, se tiene lo siguiente:

- El equivalente a ocho paneles de 25 m<sup>2</sup> de área de trabajo con un ángulo α = 45° (ángulo de ataque en el eje X de la malla con área

"efectiva" (proyectada) igual a:  $3.46ad - 2d^2$  , ver tabla 10), el área proyectada en esa trayectoria es de  $26 \text{ m}^2$  ; pero con la corrección a áreas efectivas según resultados del punto 6.1.9 tenemos que  $(.1082/.1750)26 = 16.07 \text{ m}^2$  de áreas efectivas; según figura 10 el área discurrida es igual a  $17.76 \text{ m}^2$  es decir, la relación  $Ae/A = 16,07/17,76 = .904$

- *Coef. de filtración  $K_f = 0.095$*  lo que físicamente representa movimiento cero de la corriente a la salida de la trayectoria citada, eso sin contar con las áreas de los paneles superior e inferior de las jaulas consideradas.

## VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En virtud de los resultados obtenidos en esta investigación, se puede aseverar las siguientes conclusiones:

- El cambio en las velocidades de la corriente provocadas por el panel de red quedó plenamente demostrada con el experimento.
- La magnitud de fuerza de reacción hidrodinámica para un sistema estacionario puede ser estimada a partir de la velocidad de la corriente en su trayectoria a la entrada  $V_0$ , y a la salida  $V_F$  según el perfil recurrente de mayor relevancia o de interés en el estudio.
- El enfoque propuesto en este estudio (el agua se mueve a través de un cuerpo) contempla la posibilidad de calcular la resistencia de una serie de paños que consecutivamente disminuyen la velocidad de la corriente, fenómeno que es difícil de predecir para los cálculos tradicionales en que solo se contempla una velocidad en particular.
- Las ecuaciones matemáticas propuestas permiten hacer las evaluaciones pertinentes para un estudio de un suceso hidrodinámico similar al estudiado.
- La velocidad final  $V_F = 0$  en los recintos con organismos en cautiverio puede ser determinada a partir de las áreas "efectivas" (proyectadas) y el coeficiente de filtración y/o hacer un pronóstico del cambio de velocidad de la corriente.
- Este tipo de correntómetro utilizado en el experimento dada la capacidad de sus mediciones es vital para el éxito del trabajo de campo.

La metodología propuesta tiene sus limitantes y esta no es la excepción ya que se procuro en la medida de lo posible medir la velocidad de la corriente de marea y sus efectos en un sistema de paño de red estacionario, procurando que otros fenómenos hidrometeoro-lógicos (olas y vientos) no influyeran en este estudio, por ello, recomendamos algunos puntos a considerar tales como:

- La velocidad de la corriente en el mar es un movimiento turbulento de partículas que habrá que medirse continuamente con el fin de lograr en un intervalo de tiempo, suficientes mediciones para obtener un promedio de la velocidad que represente un flujo uniforme para los cálculos correspondientes.
- Las olas imponen a las partículas movimientos circulares o casi circulares que se suman o se restan a la velocidad de una corriente "uniforme", por lo que habrá de evitarse tener este tipo de fenómenos simultáneamente ya que estadísticamente será imposible obtener la magnitud de la velocidad de la corriente buscada para los cálculos correspondientes.
- Realizar un estudio planeado en detalle para el perfeccionamiento de esta propuesta metodológica en sistemas estacionarios para pesca y acuicultura que coadyuve en la investigación científica de este campo que actualmente cobra un creciente interés mundial.

Para el sistema de jaulas flotantes analizado en el capítulo de los antecedentes, se tienen las siguientes conclusiones:

- Las fuerzas de reacción hidrodinámica recaen en los cabos principales de manera desigual cuando los efectos de la presión hidrodinámica de la corriente incide sobre el sistema de jaulas flotante en su ángulo más crítico.
- Las fuerzas de la tensión previa impuesta durante la instalación, puede variar por efecto de los cambios de marea que provocan una tensión mejor distribuida ya que la fuerza de flotabilidad del sistema de flotación actúa de manera vertical y esta se encuentra uniformemente distribuida.
- La estructura está construida de cabos sintéticos; estos presentan ciertas características físico mecánicas, tales como; resistencia a la ruptura, la elasticidad, la plasticidad y contractibilidad que contribuyen al funcionamiento como un sistema de amortiguamiento de las cargas dinámicas que continuamente se presentan.
- Debido a la plasticidad y la contractibilidad mencionadas, la estructura debe de armarse con cabos que en ciertos puntos presentan nudos especiales que

facilitan el reajuste de las longitudes para la reconfiguración de sus dimensiones de trabajo.

## VIII BIBLIOGRAFIA

Beveridge, M.C.M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Doc. Téc. Peca (255) 100 p.

DICABLE S.A. de C.V. Catalogo de materiales pesqueros y accesorios para la pesca.

FAO <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB705E/AB05E00.htm>, V.I. 11/01/2006  
Training Manual on Marine Finfish Netcage Cultura in Singappore. Documento electrónico (OCR)

F. Bucki. 1985. Principios generales de calculo de las artes de pesca. Serie de materiales didácticos en ciencia y tecnología del mar. SEP. México. D.F. 77p.

F. Bucki. 1984. Materiales Pesqueros, Parte I Serie de textos didácticos en ciencia y tecnología del mar. SEP. México. D.F.

Frias. V. A, Moreno.C.G. 1994. Ingeniería de costas Editorial Limusa, México, D.F.339 p.

Fridman. A. L.. 1986 Calculations for fishing gear designs. FAO, Fishing news books. 239 pp.

Fridman. A. L.. 1973. Theory and design of comercial fishing gear. Traducido del ruso por R. Kondor. Israel program for scientific traslations Ltd. © 1973.

M.S.Movnin, A.B. Izraelit, A.G. Rubashking. Fundamentos de mecánica técnica. Traducción del ruso, por Molina G, Antonio., 1985. Primera parte PP. 13-65. Editorial, Mir, Moscú.

(<http://www.falmouth.com>)

<http://oceanografia.cicese.mx/predmar>

## IX ANEXOS

**TABLA 3.- Datos del muestreo**

Lugar del experimento: Chipehua, Salina Cruz, Oaxaca						
Correntómetro tipo acústico. Núm. de serie: 1528-20						
Fecha: 03-28-2006						
Latitud: 16°02' N						
Longitud: 95°22' O						
Número	AVDIR	ASPD	HORA Y FECHA	COND.	TEMP.	PRES
1	198.166	5.703	12:14:14 03-28-2006	48.322	18.434	11.19
2	191.971	4.983	12:16:16 03-28-2006	48.296	18.419	11.01
3	203.779	4.627	12:18:18 03-28-2006	48.327	18.446	11.21
4	206.644	3.636	12:20:20 03-28-2006	48.334	18.451	11.3
5	195.883	3.806	12:22:22 03-28-2006	48.347	18.467	11.26
6	196.498	4.901	12:24:24 03-28-2006	48.363	18.477	11.04
7	200.422	5.822	12:26:26 03-28-2006	48.297	18.471	11.38
8	190.042	5.334	12:28:28 03-28-2006	48.359	18.474	11.06
9	175.754	7.671	12:30:30 03-28-2006	48.365	18.474	11.03
10	184.111	5.551	12:32:32 03-28-2006	48.375	18.487	11.07
11	193.197	4.806	12:34:34 03-28-2006	48.37	18.491	11.1
12	191.686	7.007	12:36:36 03-28-2006	48.366	18.478	11
13	189.554	7.06	12:38:38 03-28-2006	48.361	18.473	11.09
14	190.737	6.406	12:40:40 03-28-2006	48.365	18.478	11.21
15	191.86	6.532	12:42:42 03-28-2006	48.354	18.47	11
16	188.703	6.598	12:44:44 03-28-2006	48.367	18.479	11.04
17	188.849	6.718	12:46:46 03-28-2006	48.306	18.477	11.22
18	188.257	6.146	12:48:48 03-28-2006	48.355	18.465	11.06
19	188.065	5.77	12:50:50 03-28-2006	48.354	18.469	11.15
20	196.263	5.782	12:52:52 03-28-2006	48.362	18.47	11.13
21	191.764	7.344	12:54:54 03-28-2006	48.356	18.46	10.96
22	207.761	5.716	12:56:56 03-28-2006	48.357	18.464	11.27
23	197.381	5.543	12:58:58 03-28-2006	48.341	18.446	11.05
24	201.293	6.983	13:01:10 03-28-2006	48.36	18.471	11.23
25	190.262	6.908	13:04:40 03-28-2006	48.36	18.465	11.22
26	185.245	6.735	13:06:60 03-28-2006	48.367	18.469	11.42
27	188.61	7.416	13:08:80 03-28-2006	48.358	18.459	11.24
28	196.633	6.725	13:10:10 03-28-2006	48.35	18.451	11.37
29	196.735	6.718	13:12:12 03-28-2006	48.318	18.426	11.35
30	186.182	8.259	13:14:14 03-28-2006	48.31	18.418	11.34
31	195.986	6.764	13:16:16 03-28-2006	48.288	18.4	11.46
32	204.415	6.461	13:18:18 03-28-2006	48.292	18.402	11.58
33	203.687	5.26	13:20:20 03-28-2006	48.268	18.381	11.39
34	196.362	7.304	13:22:22 03-28-2006	48.267	18.377	11.45
35	208.92	6.626	13:24:24 03-28-2006	48.262	18.373	11.52
36	211.789	6.374	13:26:26 03-28-2006	48.245	18.353	11.56
37	204.685	6.541	13:28:28 03-28-2006	48.243	18.35	11.49
38	196.962	6.009	13:30:30 03-28-2006	48.25	18.361	11.62
39	213.319	5.398	13:32:32 03-28-2006	48.233	18.346	11.41
40	209.963	5.868	13:34:34 03-28-2006	48.243	18.351	11.71

41	206.959	6.299	13:36:38 03-28-2006	48.234	18.344	11.56
42	185.368	8.175	13:38:38 03-28-2006	48.221	18.33	11.74
43	197.899	8.733	13:40:40 03-28-2006	48.203	18.307	11.71
44	196.719	8.238	13:42:42 03-28-2006	48.167	18.284	11.84
45	195.076	9.519	13:44:44 03-28-2006	48.176	18.274	11.75
46	201.463	8.909	13:46:46 03-28-2006	48.147	18.244	11.83
47	201.602	8.765	13:48:48 03-28-2006	48.152	19.253	11.86
48	205.214	8.429	13:50:50 03-28-2006	48.147	18.241	11.71
49	203.36	8.052	13:52:52 03-28-2006	48.155	18.25	11.87
50	202.622	7.791	13:54:54 03-28-2006	48.156	18.249	11.76
51	196.029	7.464	13:56:56 03-28-2006	48.159	18.251	11.83
52	190.323	7.029	13:58:58 03-28-2006	48.157	18.245	11.92
53	179.146	8.54	14:01:01 03-28-2006	48.149	18.238	11.54
54	168.959	8.965	14:04:04 03-28-2006	48.151	18.235	11.77
55	161.877	8.157	14:06:06 03-28-2006	48.166	18.253	11.88
56	182.66	7.179	14:08:08 03-28-2006	48.136	18.228	12.01
57	187.706	7.94	14:10:10 03-28-2006	48.126	18.212	11.84
58	191.778	7.541	14:12:12 03-28-2006	48.124	18.21	11.84
59	183.739	10.197	14:14:14 03-28-2006	48.104	18.191	12.01
60	173.311	8.4	14:16:16 03-28-2006	48.074	18.159	11.83
61	182.437	7.687	14:18:18 03-28-2006	48.045	18.14	11.69
62	187.781	7.9	14:20:20 03-28-2006	48.051	18.141	11.77
63	189.337	6.71	14:22:22 03-28-2006	48.048	18.145	11.89
64	202.096	8.248	14:24:24 03-28-2006	48.045	18.137	11.73
65	197.138	6.886	14:26:26 03-28-2006	48.035	18.131	11.82
66	185.804	6.58	14:28:28 03-28-2006	48.023	18.116	11.77
67	187.833	8.385	14:30:30 03-28-2006	48.015	18.109	11.59
68	193.003	9.045	14:32:32 03-28-2006	47.996	18.091	11.75
69	179.509	8.22	14:34:34 03-28-2006	48.008	18.1	11.83
70	172.353	6.744	14:36:36 03-28-2006	48.007	18.099	11.81
71	172.147	7.767	14:38:38 03-28-2006	47.993	18.085	11.65
72	178.997	7.002	14:40:40 03-28-2006	47.992	18.083	11.72
73	186.725	7.241	14:42:42 03-28-2006	47.972	18.061	11.42
74	186.551	6.354	14:44:44 03-28-2006	47.957	18.044	11.45
75	195.081	5.67	14:46:46 03-28-2006	47.969	18.058	11.66
76	188.891	5.865	14:48:48 03-28-2006	47.971	18.056	11.54
77	189.764	5.261	14:50:50 03-28-2006	47.963	18.052	11.33
78	168.455	6.171	14:52:52 03-28-2006	47.967	18.052	11.45
79	166.968	5.846	14:54:54 03-28-2006	47.954	18.041	11.54
80	198.644	4.759	14:56:56 03-28-2006	47.953	18.043	11.24
81	226.393	5.187	14:58:58 03-28-2006	47.955	18.04	11.41
82	221.245	4.296	15:01:01 03-28-2006	47.935	18.019	11.44
83	216.93	4.71	15:04:04 03-28-2006	47.934	18.02	11.26
84	211.299	4.196	15:06:06 03-28-2006	47.929	18.012	11.27
85	209.473	4.371	15:08:08 03-28-2006	47.932	18.013	11.25
Promedios	193.445			48.18618	18.287	

**TABLA 4.- Escala de Beaufort y Douglas simplificada**

USOS METEOROLOGICOS	Escala Douglas	ESCALA DE BEAUFORT			
Nombre	Altura de ola (m)	*Bf	Nombre	Velocidad (m/seg)	CONDICIONES DEL MAR
<i>Perturbación tropical:</i> son circulaciones débiles que se presentan en latitudes entre los 5° y 8°.	0	0	Calma	0.0 – 0.2	Mar lina.
	1 a 5	1	Ventolina	0.3 – 1.5	Ondulación pequeña en superficie, sin producción de espuma.
		2	Flojito	1.6 – 3.3	Olas cortas y bajas que no rompen; mar rizada.
<i>Depresión tropical:</i> circulación sensiblemente cerrada y centro bien definido; velocidad máxima de 40 Km/hr.	1.25 a 2.5	3	Flojo	3.4 – 5.4	Oleaje que empieza a romper; poca espuma; mar rizada.
		4	Bonacible	5.5 – 7.9	Olas de poca altura pero de mayor longitud; borregos de espuma; marejadilla.
	2.5 a 4.0	5	Fresquito	8.0 – 10.7	Se acenta la longitud de las olas; generalización de borregos de espuma; esporádicamente rociones de espuma al aire; marejada.
		6	Fresco	10.8–13.8	Se inicia la formación de grandes olas, que rompen; rociones de espuma; mar gruesa.
<i>Tormenta tropical:</i> forma nubosidades espesas y algunas perturbaciones se disipan al alcanzar esta clasificación, las velocidades aumentan, fluctuando entre 60 y 120 Km/hr.	4 a 6	7	Frescachón	13.9–17.1	Crece la mar; mar muy gruesa.
		8	Duro	17.2–20.7	Olas de altura notable; las crestas despiden espuma pulverizada; mar arbolada.
	6 a 9	9	Muy duro	20.8–24.4	Olas muy grandes; balances pronunciados;
<i>Huracán:</i> Velocidades de viento superiores a los 120 Km/hr.	9 a 14	10	Temporal	24.5–28.4	Olas considerables; mar blanca de espuma, balances fuertes.
		Mas de 14	11	Borrasca	28.5–32.6
	12		Huracán	32.7–36.9	Atmósfera y mar completamente llena de espuma; visibilidad casi nula

**TABLA 5.- Principales propiedades de algunas fibras sintéticas empleadas en la construcción de las artes de pesca**

Propiedades	Poliamida		Poliéster	Poliálkileno	
	Tipo 6.6	Tipo 6		PP	PE
Resistencia a la ruptura (g/denier)					
En estado seco	9.0 – 11	7.0 – 9.0	6.0 – 7.0	7.0 – 8.5	5.0 – 6.0
En estado húmedo	7.6 – 9.6	6.8 – 7.9	6.0 – 7.0	7.0 – 8.5	5.0 – 6.0
Elongación relativa (%)					
En estado seco	15 – 18	15 – 22	8 – 10	14 – 22	22 – 35
En estado húmedo	18 – 24	19 – 28	6 – 12	14 – 22	22 – 35
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	1.14	1.14	1.38	0.91	0.94
Conservación de las propiedades físicas a temperaturas bajas	Buena	Buena	Buena	Muy buena	Buena
Titr legal (Denier): El denier expresa el peso de 450 metros del producto en unidades de peso que llevan el nombre de "denier" (den). La dependencia entre la unidad "denier" y el gramo es 1 den = 0.05 gr					

**TABLA 6.- Peso específico del agua en dependencia de la temperatura y salinidad**

Temp. C°	Peso específico del agua $\gamma_w$ (Kgf/m <sup>3</sup> ) con la Salinidad igual a (0/100)									
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40
	5	1019	1021	1024	1027	1031	1036	1040	1043	1047
10	1019	1020	1023	1026	1030	1035	1039	1042	1046	1049
15	1018	1019	1022	1025	1029	1034	1038	1041	1045	1048
20	1017	1018	1021	1024	1028	1033	1037	1040	1044	1047
25	1015	1017	1020	1023	1027	1032	1036	1039	1043	1046

**TABLA 7.- Características de los hilos torsionados de poliamida  
(Según Redes, S.A. de México)**

Nº del Hilo	Diámetro del hilo (mm)	R <sub>TEX</sub>	Resistencia a la Ruptura (Seco sin nudo) (Kg <sup>2</sup> )
1	2	3	4
0	0.33	77	3.5
1	0.43	157	8.4
3	0.48	243	13.6
5	0.69	341	18.4
6	0.78	526	27.0
9	0.86	656	37.0
12	1.15	849	48.0
15	1.22	993	54.0
18	1.43	1,414	67.0
21	1.57	1,572	74.0
24	1.75	1,773	83.0
27	1.85	1,887	88.0
30	1.90	2,212	90.0
36	2.08	2,545	95.0
42	2.10	3,077	120.0
48	2.31	3,436	135.0
54	2.36	3,788	170.0
60	2.41	3,968	182.0
72	2.84	5,650	195.0
84	2.92	6,757	210.0
96	3.66	7,752	240.0
108	3.70	8,130	275.0
120	3.73	9,346	325.0

**TABLA 8.- Algunos materiales utilizados en la construcción y aparejamiento de las jaulas**

Fuerza de empuje vertical: $F_d = V \cdot \gamma_w$ (Kgf)      Peso en el agua: $G_f = G \left( \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma} \right)$ Peso en el aire: $G = V \cdot \gamma$ (Kgf)      Flotabilidad hidrostática: $F_f = G \left( \frac{\gamma_w - \gamma}{\gamma} \right)$					
MATERIAL	Peso específico y (Kgf/m <sup>3</sup> )	Hundimiento Especifico con $\gamma_w = 1.025$ (Kgf/m <sup>3</sup> )	Pérdida de peso (%)	Flotabilidad específica con $\gamma_w = 1.025$ Kgf/m <sup>3</sup>	Flotabilidad hidrostática Ff (Kgf)
Piomo	11,300	0.91	9	-	-
Acero	7,800 a 7,850	0.87	13	-	-
Hierro fundido	7,250	0.86	14	-	-
Aluminio	2,600 a 2,700				
Duraluminio	2,800				
Hule duro	1,200 a 1,800				
Porcelana	2,200 a 2,500				
Vidrio fibra	100 a 200				
Vidrio plano	2,500				
Cable de acero con alma textil	-	0.85	15	-	-
Cabo poliamida	-	0.10	90	-	-
Cabo henequén	-	0.31	69	-	-
Cabo comb. Tipo Hércules	-	0.77	23	-	-
Materiales de redes (PA)	-	0.10	90	-	-
Madera de pino	500 a 800	-	-	1.18 a 0.86	-
Cloruro de polivinilo	120 a 180	-	-	7.54 a 4.69	-
Poliétileno (PE)	950	-	-	0.08	-
Polipropileno (PP)	910	-	-	0.13	-
Arena	1,800				
Piedra	2670				

**TABLA 9.- Características de algunos paños de redes con nudo de poliamida trenzado (Según Redes. S.A. de México)**

Barra de mallas "a" (mm)	Resistencia a la rotura de la malla en estado seco																
	22.0	32.4	45.1	57.6	64.8	80.4	88.8	91.6	99.0	104.5	132.0	148.5	167.0	200.2	214.5	231.0	
Diámetro del hilo o piola (mm)	Diámetro del hilo o piola (mm)																
	0.69	0.78	0.86	1.15	1.22	1.43	1.57	1.75	1.90	2.08	2.10	2.31	2.36	2.41	2.84	2.92	
(mm)	Peso de 1 m <sup>2</sup> ficticio del paño en (gr)																
	6.4	73.6	96.9														
9.5	42.5	56.0	98.5														
12.7	29.5	38.1	67.2	83.1													
19.1	17.9	23.1	39.6	48.7	62.7	87.1	113.4	141.2	169.6								
25.4	12.8	16.5	27.8	34.0	43.6	60.1	77.6	96.3	114.7	135.2	157.2						
31.8	10.0	12.7	21.4	26.0	33.2	45.5	58.4	72.2	85.9	100.6	116.6	146.9	172.1	206.7	227.5	301.1	
38.1	8.2	10.3	17.3	21.0	26.7	36.5	46.7	57.3	68.3	79.7	92.0	115.6	135.1	161.9	179.0	233.3	
44.5	6.9	8.7	14.5	17.5	22.3	30.4	38.8	47.7	56.3	65.7	75.7	95.2	110.7	132.4	145.9	188.7	
50.8	6.0	7.5	12.3	15.1	19.2	26.1	33.2	40.6	48.0	55.5	64.2	80.2	93.4	111.7	122.8	158.7	
63.5	4.7	5.9	9.8	11.8	14.9	20.2	25.6	31.3	36.9	42.8	49.0	61.1	71.0	84.7	92.7	119.1	
76.2	3.9	4.9	8.0	9.7	12.2	16.5	20.9	25.4	29.9	34.7	39.6	49.2	57.1	68.0	74.2	95.0	
88.9	3.3	4.2	6.8	8.2	10.3	13.9	17.6	21.4	25.1	29.1	33.1	41.1	47.7	56.7	61.7	78.7	
101.6	2.9	3.6	5.9	7.1	8.9	12.0	15.3	18.4	21.7	25.0	28.5	35.3	40.9	48.6	52.8	67.2	

TABLA 10.- Características de los cabos sintéticos (Según G. Klust, Hamburg)

Diámetro del cabo (mm)	Cabo de poliamida (PA)			Cabo de poliéster (PES)			Cabo de polipropileno (PP)			Cabo de polietileno		
	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)	G (Kg/m)	Rrup (Kg/ft)
4	0.011	320	0.015	295	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.024	750	0.030	565	0.017	550	0.017	550	0.017	550	0.017	400
8	0.042	1,350	0.051	1,020	0.030	950	0.030	950	0.030	950	0.030	685
10	0.065	2,080	0.081	1,590	0.045	1,425	0.045	1,425	0.045	1,425	0.047	1,010
12	0.094	3,000	0.116	2,270	0.065	2,030	0.065	2,030	0.067	2,030	0.067	1,450
14	0.128	4,100	0.157	3,180	0.090	2,790	0.090	2,790	0.091	2,790	0.091	1,950
16	0.166	5,300	0.205	4,060	0.115	3,500	0.115	3,500	0.120	3,500	0.120	2,520
18	0.210	6,700	0.260	5,080	0.148	4,450	0.148	4,450	0.150	4,450	0.150	3,020
20	0.260	8,300	0.320	6,350	0.180	5,370	0.180	5,370	0.186	5,370	0.186	3,720
22	0.315	10,000	0.384	7,620	0.220	6,500	0.220	6,500	0.225	6,500	0.225	4,500
24	0.375	12,000	0.460	9,140	0.260	7,600	0.260	7,600	0.270	7,600	0.270	5,250
26	0.440	14,000	0.573	10,700	0.305	8,900	0.305	8,900	0.315	8,900	0.315	6,130
28	0.510	15,800	0.630	12,200	0.355	10,100	0.355	10,100	0.365	10,100	0.365	7,080
30	0.585	17,800	0.719	13,700	0.405	11,500	0.405	11,500	0.420	11,500	0.420	8,050
32	0.665	20,000	0.820	15,700	0.460	12,800	0.460	12,800	0.476	12,800	0.476	9,150
36	0.840	24,800	1.040	19,300	0.585	16,100	0.585	16,100	0.600	16,100	0.600	11,400
40	1.040	30,000	1.280	23,900	0.720	19,400	0.720	19,400	0.745	19,400	0.745	14,000





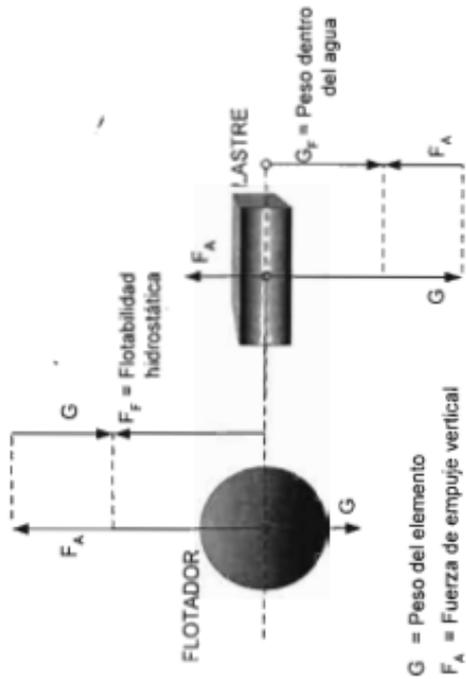


Figura 14.- Fuerzas de gravedad y de empuje vertical de elementos sumergidos en el agua