



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Naval

“PROYECTO DE SISTEMA DE FONDEO PARA CENTROS DE CULTIVOS DE SALMONES”

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Naval
Mención: Arquitectura Naval.

Profesor Patrocinante:
Sr. Richard Luco Salman.
Ingeniero Naval.
Licenciado en Ingeniería Naval.
Doctor en Ingeniería Naval.

MAURICIO RENAN INOSTROZA RIVAS
VALDIVIA – CHILE
2008

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

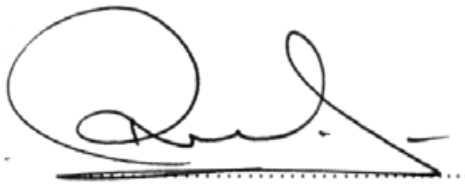
La tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de: **Ingeniero Naval**, mención **Arquitectura Naval**.

EXAMEN DE TITULO:

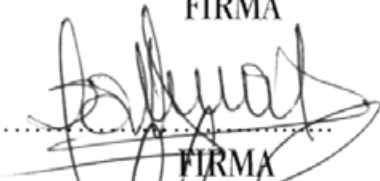
Nota de presentación	(Ponderada) (1)	: 4,148
Nota de examen	(Ponderada) (2)	: 1,300
Nota Final de Titulación	(1+2)	: 5,448

COMISIÓN EXAMINADORA:

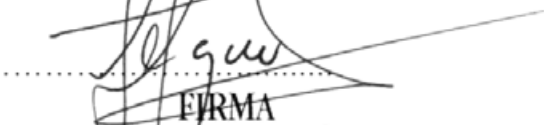
DR. ROGERIO MORENO M.
DECANO


FIRMA

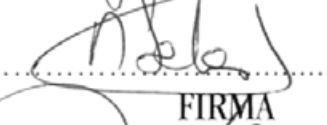
DR. RICARDO LUCOS
EXAMINADOR


FIRMA

HECTOR LEON L.
EXAMINADOR


FIRMA

DR. MARCOS SALAS S.
EXAMINADOR


FIRMA

XIMENA LOBOS S.
SECRETARIO ACADÉMICO


FIRMA

Valdivia, LUNES 22 DICIEMBRE 2008

Nota de Presentación	=NC/NA * 0.6 + Nota de Tesis * 0.2
Nota Final	=Nota de Presentación + Nota Examen * 0.2
NC	=Sumatoria Notas Currículum, sin Tesis
NA	=Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo, quiero agradecer a mis padres Elba y José, quienes han sido mi apoyo toda mi vida, que con mucho esfuerzo y amor se convirtieron junto a mis hermanos en el pilar fundamental en todos mis logros, siendo este uno de los más importante.

Mi novia y compañera Ximena, quien me ha dado de forma incondicional todo su apoyo y amor, el cual me ayudó para lograr terminar con esta etapa de mi vida y comenzar juntos a construir nuestro futuro junto a Natalia.

Como no mencionar a mis amigos y compañeros que juntos compartimos muchos momentos buenos y malos, de alegría y tristeza, carrete y estudio, pero con los cuales forjamos una amistad que aún perdura especialmente con los que compartimos casa y los más apegados a ella.

No puedo dejar de agradecer a la empresa Walbusch S.A., quien me abrió sus puertas hace 4 años en Puerto Montt, cuando recién egresé, y en donde me he desarrollado como profesional y especializado en un área nueva para la Ingeniería Naval, logrando generar un equipo de trabajo de alto nivel junto a compañeros y amigos de carrera.

INDICE

	Página
Objetivos Generales	3.-
 Capítulo I	
Antecedentes Globales	
1.1.- Factores a Considerar	5.-
1.2.- Descripción de un sistema de cultivos	8.-
1.3.- Descripción de sus componentes	12.-
1.4.- Flotabilidad y Estabilidad de las Balsas-Jaulas	15.-
1.5.- Comportamiento de las Balsas-Jaulas en el mar	16.-
 Capítulo II	
Factores Ambientales	
2.1.- Factores que inciden en un sistema de fondeo	17.-
2.2.- Estudios Previos	18.-
2.3.- Batimetría	21.-
2.4.- 1° Correntometría	24.-
2.5.- 2° Correntometría	40.-
 Capítulo III	
Memoria de Cálculos	
3.1.- Antecedentes Generales	50.-
3.2.- Introducción	51.-
3.3.- Ubicación Sitio	52.-
3.4.- Glosario	53.-
3.5.- Calculo de Fondeo	54.-
3.5.1.- Condiciones Ambientales	55.-
3.6.- Fuerzas Generadas por Olas	56.-
3.6.1.- Dirección de Llega	56.-
3.6.2.- Fuerzas de Arrastre	60.-
3.6.3.- Fuerzas de Inercia	60.-
3.7.- Fuerzas Generadas por Corrientes	62.-
3.7.1.- Obtención Corriente de Diseño	63.-

3.8.- Resistencia por Viento	65.-
3.9.- Resistencia Total	67.-
3.9.1.- Categoría del Sector	68.-
3.9.2.- Tensión en las Líneas	69.-
 Capítulo IV	
Materiales	
4.1.- Materiales a utilizar	70.-
 Conclusiones	73.-
Bibliografía	75.-
Anexos	
Plano de Proyección	
Esquema detalle de materiales	

R E S U M E N

El presente proyecto tiene por objeto entregar una pauta en relación al cálculo y diseño del sistema de fondeo de balsas jaulas para el cultivo de salmónidos.

Se puede sintetizar este estudio en cuatro aspectos fundamentales. Primero una descripción de los factores a considerar en los centros de cultivo, los estudios previos medioambientales que afectan, el cálculo propiamente tal y un pequeño esbozo de la instalación.

S U M M A R Y

The present work has the objective of delivering a guideline in relation to the calculation and design of the system of I anchor of rafts cages for the culture of salmon.

It is possible to synthesize this study in four fundamental aspects. First a description of the factors to considering in the centers of culture, the previous environmental studies that they affect, the calculation it self and a small sketch of the installation.

OBJETIVOS GENERALES.

- a) Determinar y dimensionar un sistema de fondeo de balsas-jaula, para un sitio geográfico con ciertas características determinadas, que permita mantener la posición de operación bajo ciertos márgenes de tolerancia aceptables.
- b) Realizar un estudio de la problemática del sistema de fondeo de balsas-jaula para el cultivo de peces, tomando como referencia la situación actual, particularmente la Décima y Undécima Región del Sur de nuestro país.

ESPECIFICOS

- a) Presentar metodología de cálculo desde el punto de vista estático, considerando los factores dinámicos que excitan al sistema.
- b) Realizar un análisis para identificar las variables que más afecten al sistema de fondeo.
- c) Conocer una aplicación de la Ingeniería Naval, dándole el enfoque de tipo medioambiental, proporcionado por los estudios pertinentes.
- d) Describir una práctica de fondeo de módulos rectangulares de balsas jaulas cuadradas de 30 x 30 m.

SUPUESTO

EL estudio se ajusta a las condiciones existentes de un determinado centro de cultivo lo cual supone que cada lugar posee condiciones diferentes.

Para realizar los cálculos del sistema estático se consideraron valores máximos de velocidad del viento, corrientes, y estimaciones de propiedades de olas.

Para la verificación y diseño del sistema de fondeo se considera la situación más desfavorable, asumiendo que el sistema es capaz de soportar esa condición.

En la estática de fondeo es difícil calcular la catenaria de la línea de fondeo, debido a que está compuesta por materiales de distinta composición, por esta razón, se supone que la línea esta en el caso más desfavorable, con máxima tensión, sin catenaria.

Como referencia, se asumió que las metodologías y normas desarrolladas en países europeos pueden ser usadas en nuestro país, siempre y cuando se hagan las correcciones debidas a las diferencias medioambientales existentes.

CAPITULO I

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 FACTORES A CONSIDERAR EN UN CENTRO DE CULTIVO.

INTRODUCCIÓN

En la escala global, la declinación de las poblaciones de recursos pesqueros ha sido un factor motivante para la expansión de la acuicultura en la industria pesquera.

Particularmente, el cultivo en jaulas flotantes es uno de los sistemas más productivos en la acuicultura y uno de los más utilizados para el cultivo intensivo de peces marinos en la actualidad. Este arte de cultivo ha sido ampliamente desarrollado con éxito en los países con mayor experiencia en piscicultura marina, como en Europa, de peces cultivados como el salmón, pargo dorado (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*), mientras que en Latinoamérica, Chile ya reporta la engorda de distintas especies de salmón en jaulas flotantes de alto desarrollo tecnológico.

La preferencia por el uso de estos sistemas se debe a que la jaula para cultivo ofrece un espacio para el mantenimiento de los organismos en su medio natural, es decir, en el sitio de su desarrollo habitual, lo que significa que sus parámetros hidrobiológicos como el oxígeno, salinidad y temperatura, entre otros, se obtienen de manera natural, lo que puede permitir aumentar la densidad de cultivo y hacerlo más productivo.

Desde la década de los ochenta, se remonta el nacimiento y posterior auge de la actividad salmonera en Chile, lo cual implica la apertura de centros de cultivo de recursos marinos, que en ese entonces no contaban con grandes infraestructuras estando bajo el amparo de la experiencia y el ingenio. De allí en más, un aumento considerable en la producción, gracias a la proyección al mercado internacional, ha requerido de instalaciones y artefactos flotantes más sofisticados, ya sea plataformas, pontones, bodega y módulos o trenes de balsas-jaula, utilizado para la crianza de peces.

Se puede decir que dentro de lo que implica la industria salmonera las instalaciones juegan un papel decisivo, una razón es el uso para la producción propiamente tal, y otra, que deben ser seguras, para el personal que trabaja en ellas y por el alto costo que significaría la pérdida de una o varias jaulas en un siniestro. Las cifras involucradas hablan de millones de dólares.

Para conservar el patrimonio involucrado, es necesario contar con un sistema de anclaje o fondeo adecuado en todas las instalaciones expuestas al medio marino. El sistema de anclaje es el que permite la fijación de éstas al fondo marino, por lo que una falla podría hacerlas colapsar, y de esa manera perder una gran cantidad de dinero invertido, para evitar tan elevadas pérdidas se dio lugar a los estudios ingeniérriles para evitar esas situaciones, existiendo empresas dedicadas a la solución y diseño de sistemas de fondeos o anclaje adecuados. Dentro de la Ingeniería Naval se desconocía este nuevo campo para nuestra profesión y esto ha cambiado radicalmente de un par de años a la fecha ya que actualmente existen varias empresas que se dedican exclusivamente a calcular los sistemas de fondeos de estos artefactos navales. Las empresas que cultivan salmones actualmente están invirtiendo en ingeniería para el 100% de sus centros de cultivos para tener un respaldo frente a las aseguradoras.

En el sur de Chile, principalmente en la parte sur de la Décima Región, se ubica el centro de la actividad de la industria salmonera, expandiéndose actualmente a la Undécima Región, abriendo una cantidad importante de centros de cultivos, habiendo muchas empresas dedicadas, las que han usando masivamente los módulos o trenes de balsas jaula, tanto de forma cuadradas, como circulares, pero principalmente cuadradas, por tener ventajas de uso, manejo, capacidad de mantención y costo. Esta idea, recogida en principio desde Europa ya sea en países como Noruega y Escocia, permite que la actividad salmonera goce de un sitio importante en la economía de nuestro país, dando también de paso nociones de cálculo, porque no es posible usar la misma configuración en diferentes situaciones, ya que varían las condiciones normales.

Un desafío resulta en aplicar las nuevas tecnologías, tanto por la forma de abordar problema, como por su grado de aplicabilidad. En la historia, de la teoría a la práctica ha habido diferencias considerables en la elección del sistema de fondeo, ocurriendo siniestros de gran envergadura, por lo que las nuevas tecnologías para la realización de estudios previos y aplicándose una mezcla de criterios teóricos y prácticos ha permitido una disminución importante del problema, que sería lo más acertado decidiéndose recoger las consideraciones teóricas, ya sea estudios realizados por organismos nacionales e internacionales y por los de empresas del rubro.

En cuanto a los agentes climáticos que intervienen, es muy útil considerar la opinión tanto de la Dirección Meteorológica de Chile y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, quienes llevan un registro de los parámetros involucrados en la obtención del sistema de fondeo, como ser la velocidad y dirección de viento, corrientes y altura de olas en algunos puntos referenciales, los cuales nos ayudan para tener una visión preliminar del sector en estudio. Pero para tener datos más exacto del lugar donde se llevará a cabo la instalación de un centro de cultivo y cálculos más fieles, es necesario realizar los estudios pertinentes de corrientes y topografía o batimetría del fondo marino, lo cual nos darán una referencia conducente al comportamiento del medio ambiente en el lugar específico.

Considerándose lo ya señalado, podemos dar a conocer el lugar específico donde se llevará a cabo el sistema de fondeo de un módulo o tren de balsas – jaulas.

1.2 DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE CULTIVO DE PECES O BALSAS JAULAS.

Gracias al ingenio y la persistencia del hombre por aprovechar de mejor manera lo que este quiere producir, es que podemos encontrar muchas formas de obtener recursos marinos, los cuales por sus propiedades y comportamiento, y la existencia de seres depredadores, han sido una condición importante para idear un sistema de cultivo adecuado de peces, usándose el Sistema de Tren o Módulo de Balsas -Jaula.

Una balsa-jaula consiste básicamente en una estructura rígida, o semirrigida de variados diseños, formas, y tamaños, la cual se encuentra flotando fuertemente adherida al fondo marino mediante un sistema de fondeo, contando con una red-jaula que permite conservar a los peces en su interior y una red llamada lobera para aislarlos de los depredadores.

De las formas geométricas de balsas-jaula ya existentes se puede señalar que las de mayor uso son las cuadradas y circulares, dando especial atención en este análisis a la primera, por su uso masivo en la Décima y Undécima Región de Chile, pudiéndose encontrar en distintos tamaños, por las diferentes condiciones medioambientales y por sus características estructurales.

- Forma Circular

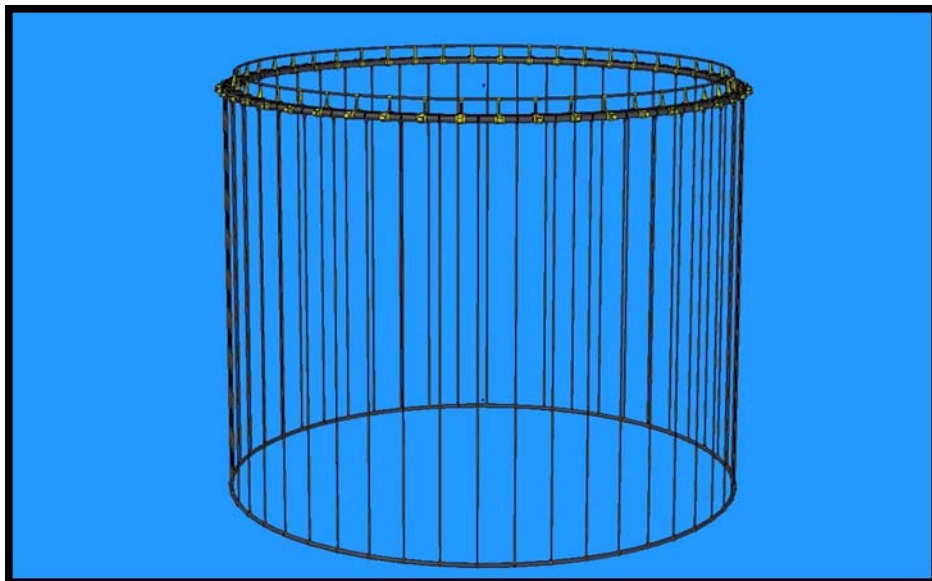


FIGURA N°1.-

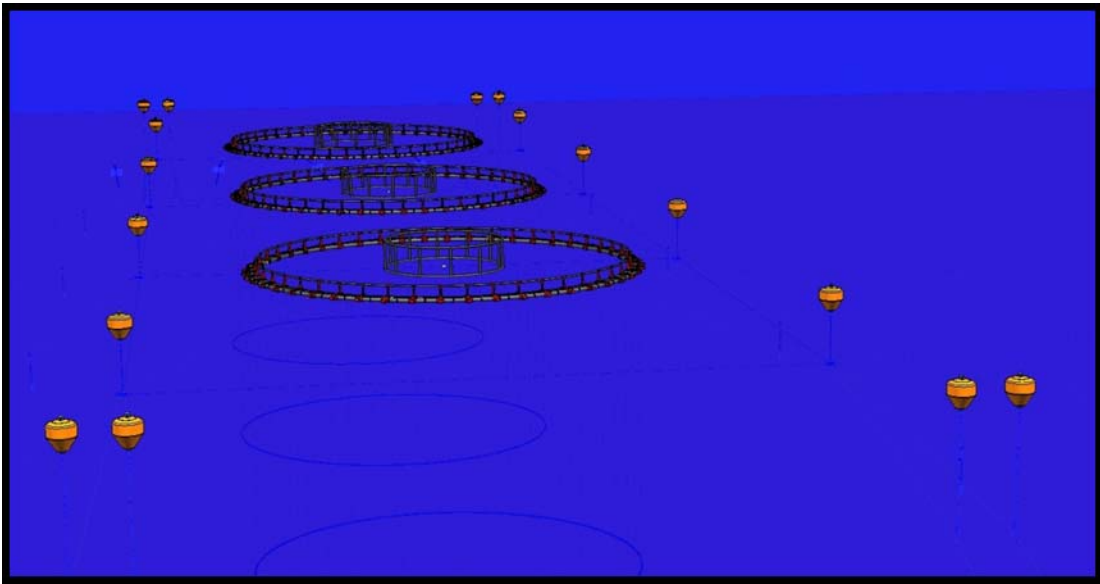


FIGURA N°2.-



FIGURA N°3.-

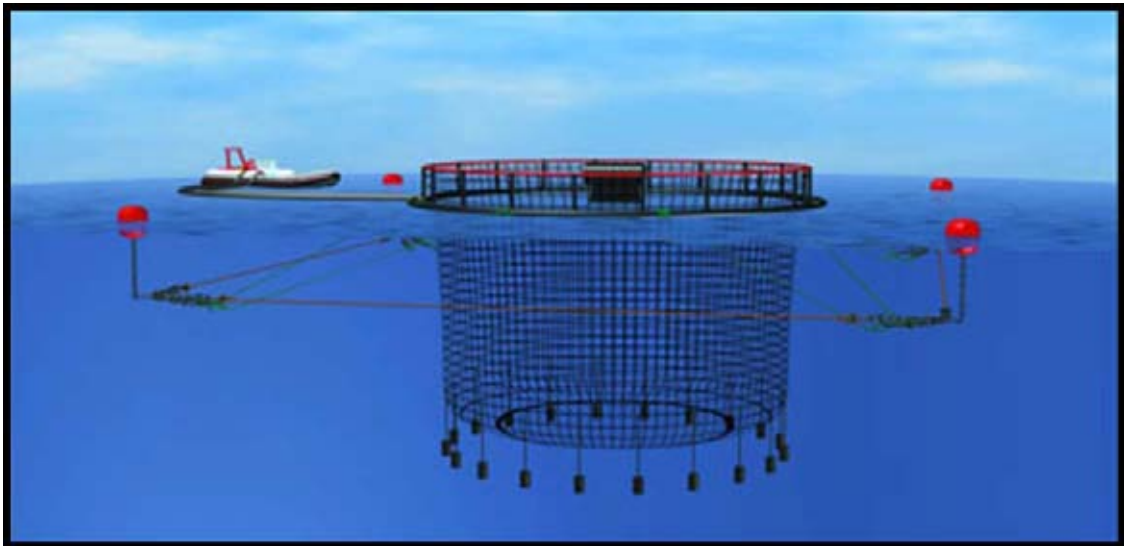


FIGURA N°4.-

- Balsa Jaula Cuadrada

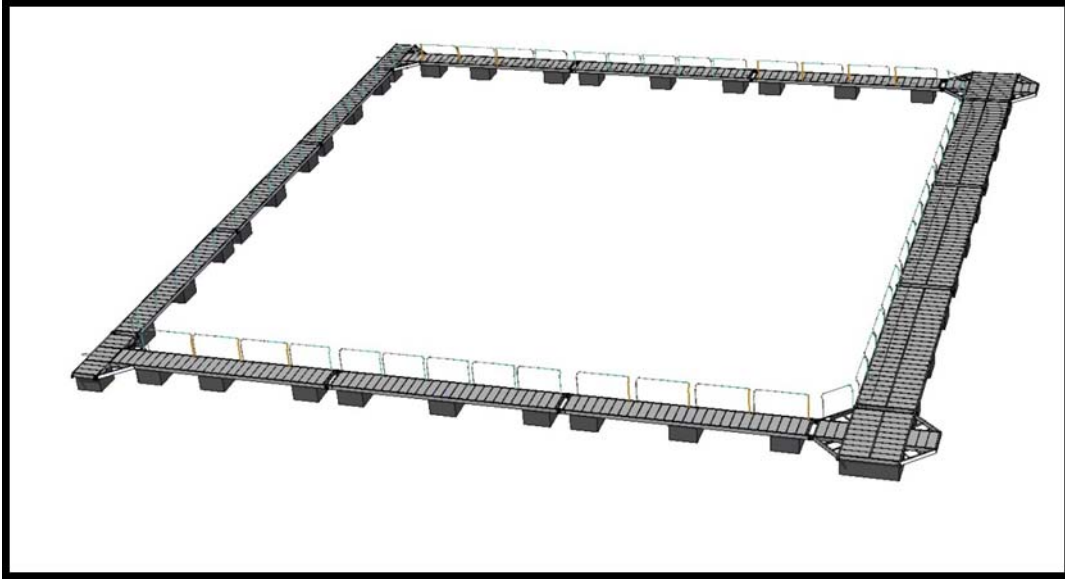


FIGURA N°5.

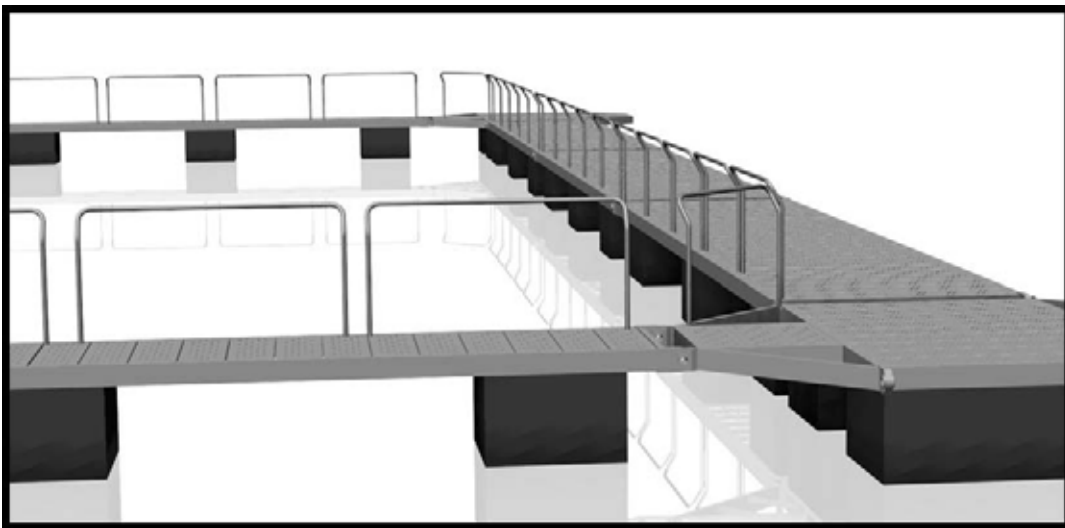


FIGURA N°6.



FIGURA Nº7.



FIGURA Nº8.

1.3. DESCRIPCIÓN DE SUS COMPONENTES.

Por la función que cada elemento de la balsa-jaula cumple, podríamos hablar de subsistemas, o sistemas fundamentales, los cuales son los flotadores, la red y el fondeo.

1.3.1 Los flotadores.

Son estructuras de rigidez variable, que cumple dos funciones elementales, que son:

- Dar flotabilidad y estabilidad al conjunto.

1.3.2 La red.

Está sujeta en los elementos estructurales en la parte superior, y con contrapesos en la zona inferior, para mantener el volumen en condiciones de operación.

1.3.3 El fondeo.

Sujeta a la estructura flotante y evita grandes deformaciones a través de líneas de fondeo y elementos como boyas, anclas y muertos que coartan el desplazamiento de la estructura.

1.3.4 Materiales de construcción

Para la construcción de balsas, como de los elementos que la componen se han utilizado materiales como madera, ferro cemento en el principio, hasta P.R.V. (plástico reforzado con fibra de vidrio), metales como aluminio, materiales sintéticos, o la combinación entre estos. Cabe señalar que en la elección de los materiales se ha buscado las ventajas comparativas que ofrezcan, el costo de construcción y mantención, resistencia al medio de operación y volumen útil del sistema de cultivo.

Una descripción de los materiales usados en la construcción de las balsas-Jaula se representa continuación:

a) Sistemas principales:

- Flotación
- Red
- Fondeo,

b) Elementos estructurales en los flotadores:

- Materiales: Caucho, acero, madera, aluminio, p.r.f.v., p.v.c.
- Perímetro: Cuadradas, rectangulares, poligonales y circulares.

c) Red:

- Materiales: Nylon, polietileno.
- Construcción: Con y sin nudos.
- Contorno: Cuadradas, romboidales
- Formas: Circular, rectangular, poligonal
- Contrapesos y boyas.

d) Fondeo:

- Disposición: Amarre a tierra a través de anclaje a roca, fondeo
- Elementos: Cables de acero, fibra natural y sintética, cadena, ancla, muerto, boyas, contrapesos intermedios o pesos ángeles.

Las dimensiones más comunes hasta hace algunos años pertenecen a un intervalo de 10 x 10 a 15 x 15 m., con profundidades de red que van de 5 a 15 m., hoy en día se han aumentados estos intervalos considerablemente a balsas jaulas de 20 x 20, 30 x 30, hasta 40 x 40 m. Y con una profundidad de red de hasta 20 m. dependiendo del sitio a ser ubicadas y de los criterios de la empresa salmonera.

En la actualidad, las balsas- jaulas mayormente usadas son metálicas del tipo semirrígidas, generalmente construidas con acero estructural, el que se previene de la corrosión al galvanizarse en caliente, o al aplicar un esquema de pintura apropiado.

La balsa se configura a partir de los módulos, que están constituidos para la estructura metálica, más los flotadores, los cuales van unidas por medio de articulaciones tipo bisagra en sus extremos, formando un collar flotante de diversas geometrías.

La estructura tiene en su costado interior tinteros, donde van puestas las barandas de donde cuelga la red, además de tener cáncamos para sujetar las

líneas de amarre de fondeo. Las dimensiones de los módulos o pasillos varían entre los 4.5 a 10 m. Lo anteriormente expuesto constituye los pasillos de las balsas, cuyo piso puede ser de acero o madera. El ancho de los pasillos centrales oscila entre 1 y 2.5 m., mientras que los laterales entre 0.5 y 1 m. Cabe destacar que existen balsas que no tienen pasillos y que sólo unen los flotadores a través de una estructura muy ligera.

La altura de las barandas oscila entre 0.8 y 1.1 m., y por otra parte los tinteros comúnmente tienen un diámetro de 2", con una altura entre 15 a 20 cm.

El sistema de flotación es relativamente sencillo, pues cada pasillo contiene flotadores de polietileno expandido o plumavit como suele llamarse, cuya peso específico es de 20 kg/m^3 , estos van ubicados bajo la estructura en una cantidad que depende del peso del conjunto o el empuje requerido para sustentar la estructura. Se puede decir también que nunca serán en número inferior a 2 los flotadores ubicados en ambos extremos de cada módulo o pasillo, dejándose un Francobordo que fluctúa entre los 30 y 50 cm.

Para prolongar la vida útil de los flotadores, son forrados con polietileno, brea con geotextil o plástico reforzado con fibra de vidrio.

La red constituye la jaula propiamente tal, formando una estructura con paredes laterales las cuales dependen de la geometría del collar, por ejemplo, si es cuadrada, tendrá cuatro paredes, fondo y tapa, las dos primeras cumplen con mantener en cautiverio a la especie y oxigenar el ambiente, eliminando los organismos que pueden dañar a la especie involucrada. La tapa o panel de la red superior tiene por objeto impedir la entrada de depredadores.

Su construcción es generalmente de poliamida sin nudos, debido a que estos pueden presentar problemas para los peces, ya que les puede producir infección por el desprendimiento de sus escamas.

Las dimensiones de las redes dependen del perímetro del collar flotante que la sujeta, la profundidad existente en el lugar, los kilos de peces a obtener, siendo la empresa en cuestión la que tomará la decisión, de esa forma podemos encontrar redes de 10 x 10 x 11 m., 10 x 10 x 13 m., 15 x 15 x 16 m. 20 x 20 x 16 m. y 30 x 30 x 20 m. y hoy en día se encuentran de hasta 39 x 39 x 20 m.

Para impedir las deformaciones de las redes producto de las fuerzas ambientales como corrientes y olas se colocan pesos colgantes que se ubican en cada esquina de la balsa; estos pesos varían dependiendo del tamaño de estas oscilando entre los 20 a 120 kg., pero en lugar mas expuestos y con mayor intensidad de corrientes se encuentran pesos de hasta 250 kg. Ellos no siempre dan buenos resultados, con lo que las deformaciones de las redes igual se producen, disminuyendo el volumen encerrado, lo que daña a los peces, cuando estos rozan con la red, se produce desprendimiento de escamas e infecciones.

Los lugares propicios para el establecimiento de balsas –jaula han sido principalmente bahías protegidas y profundas, con corrientes de marea rápida de una velocidad máxima de 2.5 kn, en la capa superficial, existiendo la tendencia de ubicarlas en bahías y golfos. Durante el último período, se nota una escasez de áreas protegidas, ya sea por el número creciente de empresas que han incorporado a la actividad y por la proyección de las que ya existen, lo que ha hecho que los centros de cultivo sean ubicados en lugares más expuestos a condiciones desfavorables, encontrándose corrientes de hasta 4.0 kn., principalmente en la Undécima región, todo lo cual se ha traducido en rediseñar o perfeccionar los sistemas de fondeo y los cálculos de estas estructuras de cultivo.

1.4 FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE LAS BALSAS JAULAS.

Tanto la boyantes, calado y estabilidad de los módulos son parámetros importantes de conocer para poder aproximarnos al comportamiento real que tendría en la zona de trabajo.

Hoy en día, por el crecimiento de la industria, existen empresas dedicadas exclusivamente a la construcción de balsas jaulas como por ejemplo, wave Master hoy en día perteneciente a Akva Group, Prona y Aquacards, además de empresas extranjeras que están entrando al mercado nacional como Aqualine y polar Cirkel, para balsas jaulas metálicas y circulares construidas de polietileno de alta densidad (HDPE). Estas empresas llevan desde el comienzo de la masificación de centros de cultivos, por lo que las construcciones se han perfeccionado a través del tiempo y solicitudes de la industria, para mejorar flotabilidad, estabilidad y comportamiento en el mar, además por siniestros ocurridos y por lo expuesto a condiciones adversas de las nuevas concesiones estas se han ido reforzando en su estructura, principalmente en los cáncamos de amarre de las líneas de fondeo.

En la presente tesis no se estudiará el diseño de las distintas balsas jaulas existentes en el mercado.

1.5 COMPORTAMIENTO DE LAS BALSAS JAULAS EN EL MAR.

El comportamiento de las balsas flotantes depende de la magnitud e incidencia de la ola, viento y corriente, de las características del sistema de fondeo, además de sus dimensiones, forma y peso de la instalación.

Se ha podido observar que los centros resisten bien a las condiciones ambientales cuando se encuentran longitudinalmente al viento y a la corriente. No así cuando el centro recibe olas transversales o en forma oblicua, por cuanto la mayoría de las articulaciones no han sido diseñadas para moverse en completa libertad, produciéndose así grandes aceleraciones.

Recordemos que un cuerpo flotante está expuesto a seis grados de libertad, es decir, tres rotaciones y tres traslaciones.

Como las balsas jaulas se encuentran ancladas radialmente esta debería tener tres grandes movimientos: heave, roll y pitch. El heaving es el movimiento vertical, el rolling es la rotación alrededor del eje longitudinal y el pitching es la alrededor del eje transversal. Dependerá de la dirección en que la corriente, olas y viento exciten al modulo o set de balsas jaulas.

El movimiento de heaving disminuye debido a que la red y los contrapesos actúan como amortiguador.

CAPITULO II

2.1 FACTORES QUE INCIDEN EN UN SISTEMA DE FONDEO

Para el análisis del cálculo del sistema de fondeo de balsas jaulas, se deben tener en cuenta ciertos aspectos que se describen a continuación:

- Viento
- Corrientes
- Olas
- Batimetría o Topografía del fondo marino
- Tipo de fondo marino.

2.1.1 Sistema Balsa

- Elementos Estructurales
- Elementos de Flotación

2.1.2 Sistema Jaula

- Red Pecera
- Red Lobera
- Numero de jaulas que componen el Sistema

2.1.3 Sistema de Fondeo

- Tipo de anclaje
- Características de la línea
- Relación de fondeo
- Sistema de conexión o herraje

2.2 ESTUDIOS PREVIOS

2.2.1 INTRODUCCIÓN.

En realidad, los factores involucrados en un sistema de balsas-jaula son muchos y variados por las múltiples funciones que estos cumplen. Pero los de mayor importancia a considerar es el determinar lo más cercano a la realidad posible las fuerzas naturales a las que está expuesto un centro de cultivos.

Para calcular un sistema de fondeo debemos tener la mayor información posible sobre los factores ambientales del sector donde la empresa salmonera posee su concesión marina.

El viento es un factor difícil de medir, solo nos podemos regir por información de estaciones meteorológicas dispuestas por la armada y fuerza aérea y así poder utilizar los peak de intensidad registrado a través tiempo y la dirección, recordemos que se debe utilizar factores extremos para los cálculos y así considerar el escenario más adverso.

Para corriente, se utilizan dos tipos de estudios de corrientes, con derivadores, correntometría Lagrangeana y con equipo de medición o correntómetro, correntometría Euleriana.

Para saber cómo es la morfología del fondo donde se instalará el centro de cultivos, se desarrollan estudios de batimetría o topografía del fondo marino.

En un ideal se requiere realizar ensayos o pruebas de tracción en el lugar y en la disposición en que irán las líneas de fondeo, para analizar la real eficiencia de los anclajes a utilizar.

2.2.2 UBICACIÓN DEL CENTRO DE CULTIVO.

La ubicación del centro de cultivo, está directamente relacionada con la concesión otorgada a la empresa salmonera.

Para este estudio se considerará una concesión ubicada en la Isla Chulín, perteneciente al archipiélago de Chiloé, décima región, como lo indica la figura N°9.



FIGURA N°9.

En la figura N°10, se muestra la ubicación de la concesion en una fotografía satelital del área georreferenciada.

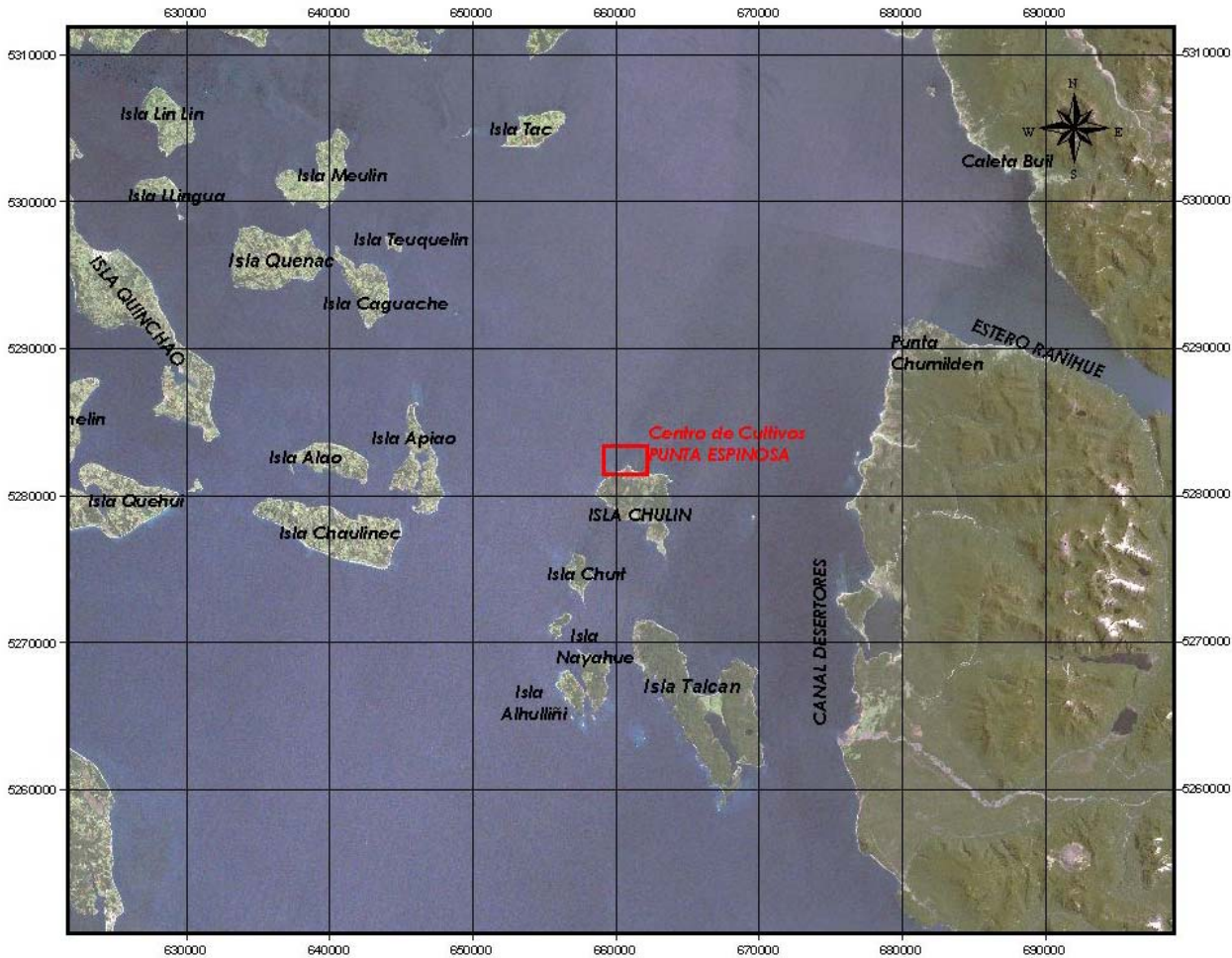


FIGURA N°10.

2.3 BATIMETRÍA.

La batimetría es la técnica asociada a la obtención de valores de profundidad del agua. Esta puede ser en distintos tipos de lugares, ya sea marino, lacustre o fluvial. Este estudio tiene gran importancia ya que define la topografía y los accidentes del fondo marino, obteniendo el plano batimétrico y sobre este ubicar la concesión de acuicultura y así poder definir donde posicionar el set de jaulas y evitar posibles roces en el fondo debido al mal posicionamiento del elemento de sujeción de la línea de fondeo.

2.3.1 REFERENCIACIÓN.

Para referenciar la batimetría se debe utilizar la proyección UTM (Universal Transversal Mercator), es un sistema de coordenadas que permite situar un punto determinado en una zona UTM. Las coordenadas se definen como el número de metros de desplazamiento Este y Norte. El desplazamiento al Este, el desplazamiento al Norte, el número de zona y el hemisferio, son datos suficientes para describir un punto sobre la Tierra, donde las cuadrículas rectangulares vienen expresadas metros.

Geográficamente el levantamiento batimétrico se efectuó en el Huso 18 en DATUM WGS 1984, es un sistema de referencia terrestre que asume una forma elipsoide de la Tierra y un punto de referencia u origen para el elipsoide. El Datum WGS84, está referido en el mismo centro de la Tierra.

La tierra, en proyección UTM, esta dividida en 60 Husos y la zona de estudio se encuentra en el Huso 18, en sentido Horizontal y en la letra G en el sentido vertical, finalmente el huso es el 18G, como se muestra en la siguiente figura N°11.

Cuadrícula UTM, en Huso 18 G.



FIGURA N°11.

2.3.2

METODOLOGÍA UTILIZADA

Se realizó la medición con la ayuda de los equipos GPS de frecuencia simple, junto con el ecosonda en modo de navegación.

En este estudio se debe hacer levantamiento de la costa vía GPS, para luego sincronizar los registros de datos de la profundidad con la posición de la embarcación utilizada.

A medida que se obtienen los datos de profundidad y ubicación, al momento de realizar el barrido del sector (ver figura N°12.), estos son traspasados en formato electrónico a un ordenador, para luego corregir de acuerdo a tablas de marea de la fecha de estudio con el puerto patrón que corresponda. De esta manera se puede realizar a través de software cartográfico a el plano de batimetría en marea baja (N.R.S. = nivel de reducción de Sonda).

Esquema de toma de datos para Batimetría.

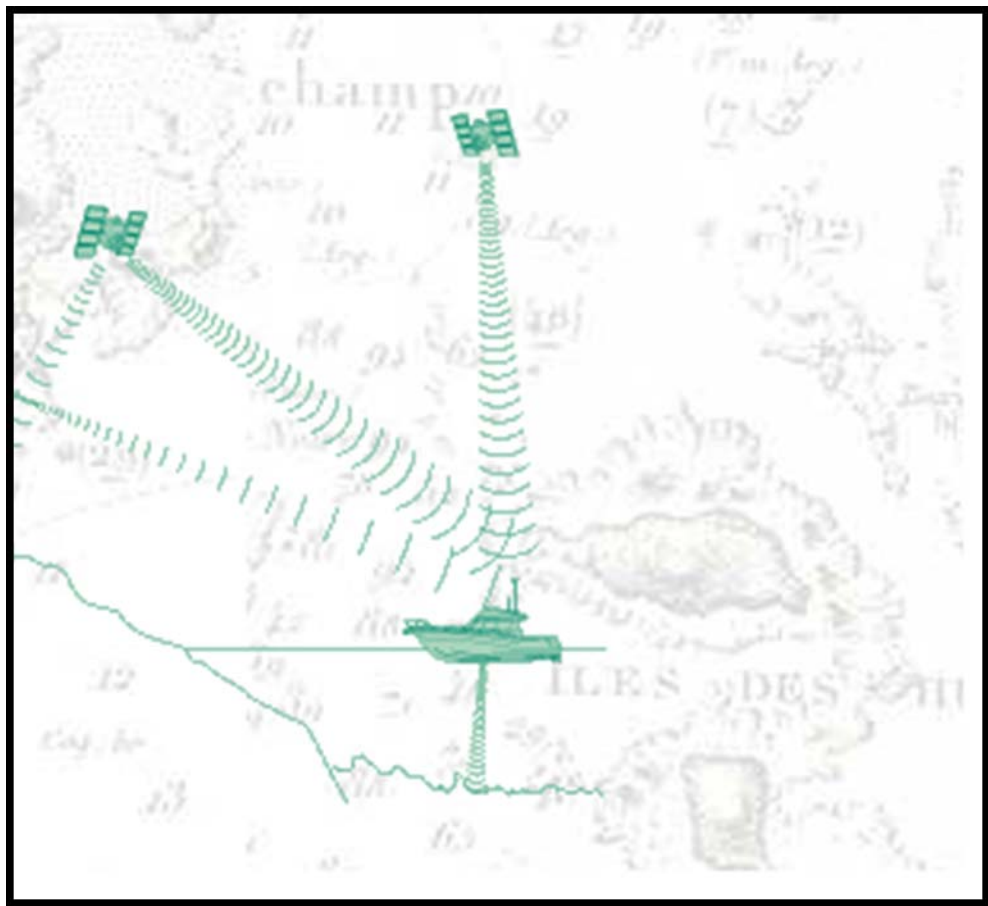


FIGURA N°12.

Resultado luego de procesar la información obtenida en terreno.

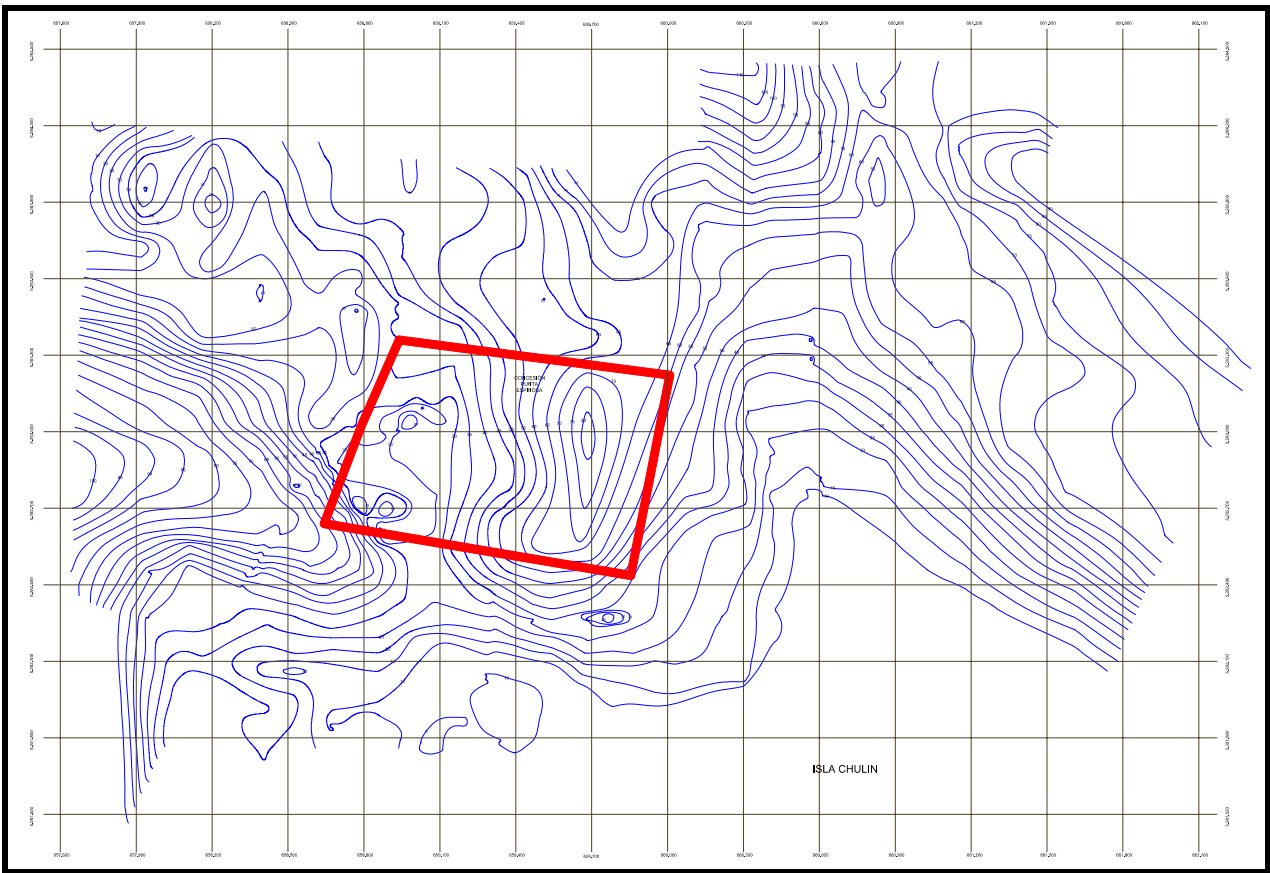


FIGURA N°13.

Nota: El recuadro en rojo es el perímetro de la concesión, las líneas azules corresponden a veriles o isóbatas de profundidad, las cuales van de 5 en 5 m. de profundidad.

2.4 ESTUDIO DE CORRIENTES O CORRENTOMETRÍA.

2.4.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de corriente tiene por objeto el caracterizar la circulación de la masa de agua de un lugar específico, es decir, determinar las direcciones e intensidad desde la superficie hasta el nivel de profundidad que influye en el cálculo.

Se pueden considerar dos tipos de medición de corrientes:

- Correntometría Lagrangeana: Consiste en derivadores que por lo general corresponden a cortinas de polietileno de 2 x 1 m., unidas a un bollerín, con ello se busca determinar el perfil de circulación del agua, para ello se consideran en tres profundidades, 1, 5 y 10 m.

La metodología empleada en terreno es de posicionar los derivadores en el agua en el sector de interés, registrando este punto a través de GPS, luego con la embarcación de apoyo se hace el seguimiento volviendo a registrar nuevos puntos de ubicación cada 10 minutos, con ello se puede ver el patrón de dirección y el desplazamiento a través del tiempo, con ello se puede obtener un esbozo de la velocidad. Esto se repite idealmente por el tiempo en transcurrir un ciclo de marea (12 horas).

Obtenidos estos datos, se grafican los vectores de corrientes.

Este tipo de correntometría es solo para tener la dirección de la corriente, ya que en cuanto a la intensidad no es confiable por el viento durante la medición, pero sí ayuda para hacer una pre-proyección de la orientación del módulo o set de jaulas. Por lo general este estudio se desarrolla cuando se hace el estudio batimétrico.

- Correntometría Euleriana

La correntometría Euleriana es un método de registro de corriente, que se caracteriza por que el instrumento de medición conserva una posición estática con respecto a una masa de fluido que pasa a través de él. El resultado obtenido de este estudio debe ser un vector de corriente en uno o varios estratos con el cual se puede determinar la cantidad de fuerza que ataca a una estructura sólida por concepto de flujo de fluido.

Con el plano batimétrico y la pre-proyección del módulo de jaulas se puede determinar la mejor posición donde debe ser instalado el equipo correntómetro, para obtener datos fieles de dirección, velocidad que afectaran al set en proyecto, en las distintas capas de la columna de agua.

Para este proyecto se utilizó el estudio de Corriente Eulerina, con un perfilador acústico Doppler. El perfilador de corrientes por efecto Doppler es un equipo que nos da las componentes de la velocidad del agua en diferentes capas de la columna de agua. El sistema consta de un transductor que emite ondas acústicas, una unidad electrónica que genera los pulsos y pre-procesa las ondas recibidas, y un PC que adquiere los datos y los procesa. El perfilador utiliza el efecto Doppler transmitiendo sonido a una frecuencia fija y escuchando los ecos retornados por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas o plancton que reflejan el sonido hacia el equipo. Estos reflectores flotan en el agua y se mueven a la misma velocidad horizontal que el agua. Cuando el sonido enviado por el equipo llega a los reflectores, este está desplazado a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler, este desplazamiento frecuencial es proporcional a la velocidad relativa entre el perfilador y los reflectores. Parte de este sonido desplazado frecuencialmente es reflejado hacia el equipo donde se recibe desplazado una segunda vez.

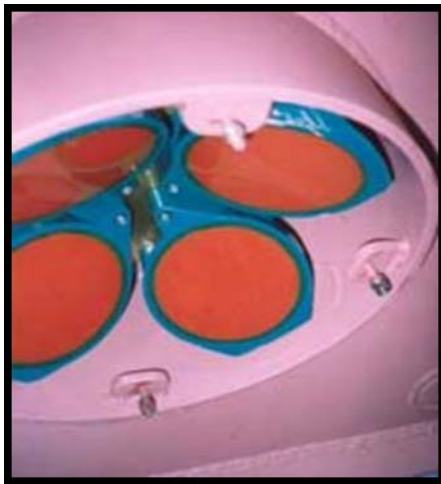


FIGURA N°.14.

2.4.2.- ESTUDIO CORRENTOMETRÍA EULERIANA.

El período en que se debe realizar una correntimetría es en el de Sicigia, es aquí donde se producen los cambios de marea más significativos y con ello los peak de corrientes más intensos.

Como antecedente general el período de sicigia, denominadas también mareas vivas, ocurre cuando la posición de los tres astros, sol, luna, tierra se encuentran sobre una misma línea se suman las fuerzas de atracción de la luna y el sol, por lo que se producen las pleamares de mayor valor y en consecuencia las bajamares son más bajas que las promedio.

Cuando la luna se encuentra entre la tierra y el sol se la denomina de **conjunción** (luna nueva).

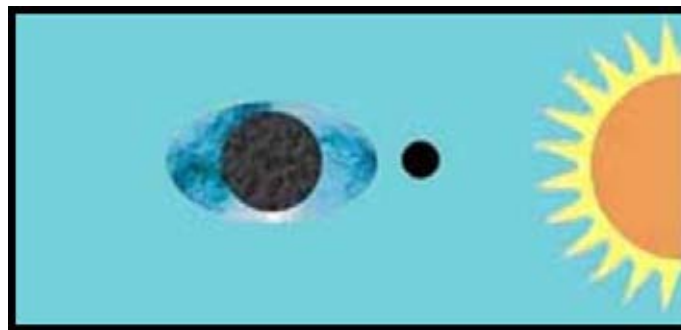


FIGURA N°15.

y cuando la tierra se encuentra entre la luna y el sol se las llama de **oposición** (luna llena).

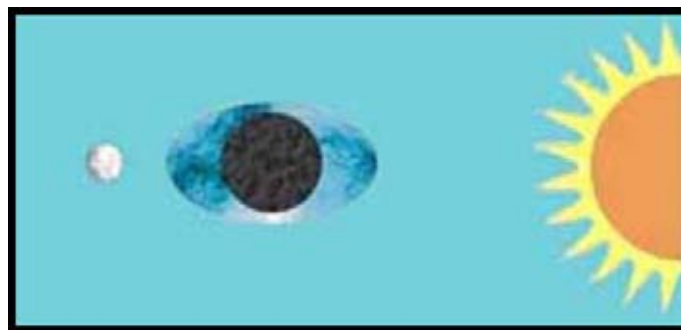


FIGURA N°16.

Dentro de las mareas de sicigia hay dos con valores máximos y son las que se producen en los equinoccios de otoño y primavera, o sea cuando el sol y la luna se encuentran sobre el ecuador.

A mayor amplitud de marea (diferencia entre pleamar y bajamar) corresponden mayores corrientes por el volumen de agua a trasladarse en el mismo tiempo.

A continuación, por lo extenso de un informe de corriente, se dará un resumen de este, con lo más relevante a considerar en el cálculo del sistema de fondeo.

RESUMEN EJECUTIVO

En la localidad de Isla Chulín, archipiélago de Chiloé, se tomó un registro continuo de datos de dirección y velocidad de las corrientes por un período aproximado de 22 días. El equipo recopiló información en la columna de agua siguiendo automáticamente la evolución de las mareas y cubriendo aproximadamente 27,0 m. de profundidad.

La máxima velocidad en la columna de agua se presentó en la capa 01 (de 1 a 3 metros de profundidad), el día 04 de Enero a las 05:01 h con una dirección hacia el Suroeste y correspondió a 163,98 cm/s (3,18 kn). Los valores máximos y promedios para cada una de las capas, se resume en la tabla N°1. Las mediciones en la capa superficial (hasta 1 metro de profundidad) arrojaron un valor máximo que alcanzó una magnitud de 194,64 cm/s (3,78 kn) con dirección Suroeste ocurrida el día 04 de Enero a las 05:31 h.

Profundidad (m)	Velocidad Máxima (cm/s)	Orientación (º)	Asignación Cartográfica	Ocurrencia		Velocidad Promedio (cm/s)
				Día	Hora	
Superficie	194,64	226,66	SW	04	05:31	70,57
2	163,98	238,45	SW	04	05:01	54,38
4	77,46	220,86	SW	19	14:11	28,82
6	79,06	64,63	NE	18	23:11	26,96
8	132,61	54,88	NE	20	12:01	51,76
10	132,49	53,68	NE	20	11:51	50,85
12	132,88	52,4	NE	21	12:41	49,9
14	130,81	49,9	NE	21	12:41	48,87
16	134,11	49,28	NE	21	12:41	47,76
18	133,87	46,47	NE	21	12:41	46,58
20	133,8	48,04	NE	20	11:31	45,33
22	135,05	47,6	NE	21	12:41	44,1
24	137,98	48,32	NE	21	12:41	43,13
26	139,6	54,91	NE	20	12:01	42,32

Tabla N° 1.-

Para visualizar mejor esto, se presenta el gráfico N°2. de dispersión para la superficie (donde habitualmente se presentan las máximas velocidades), seleccionando los valores que son iguales o superiores a 60cm/s.

Gráfico . Frecuencia de Rango de Velocidad Horizontal v/s Dirección.

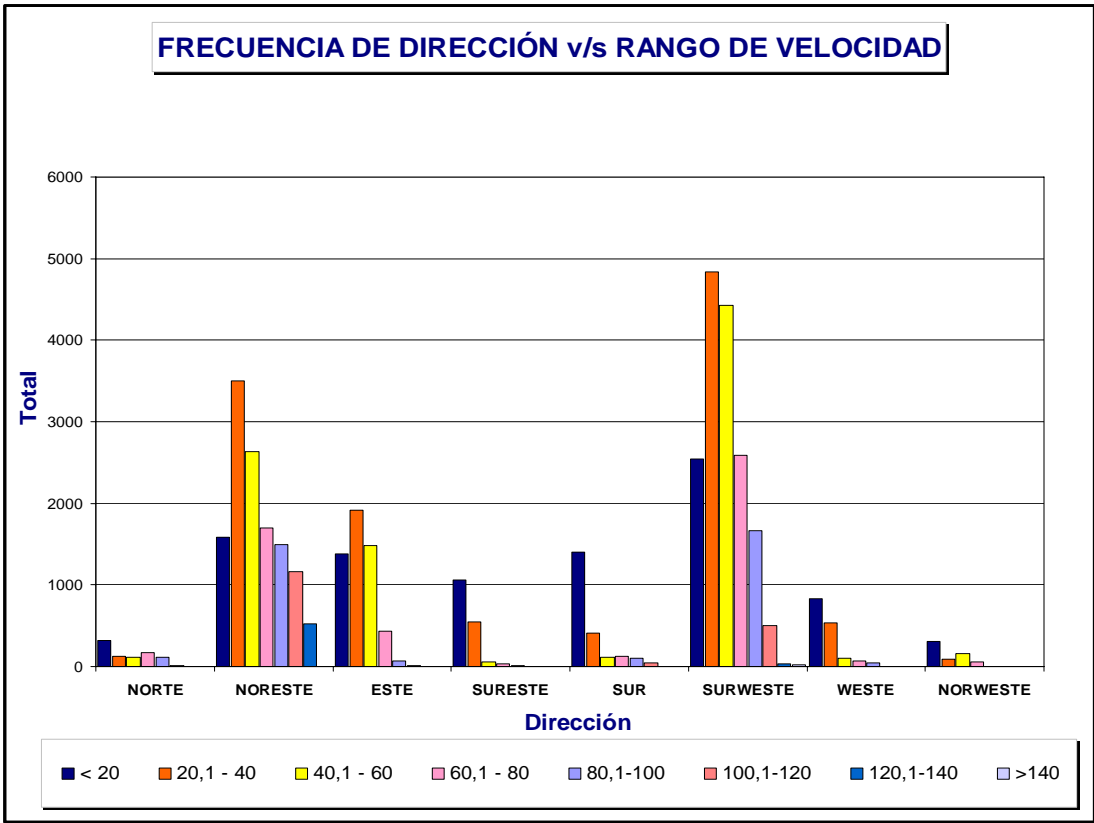
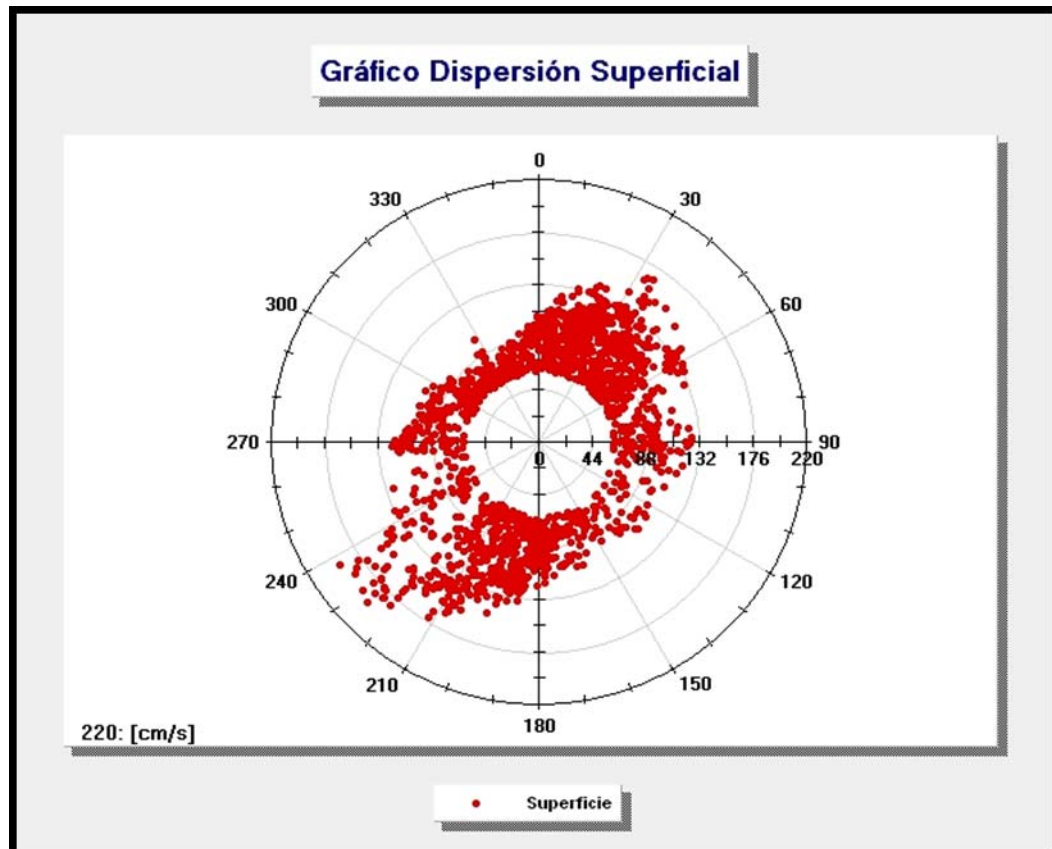


Grafico N°1

Dentro de un informe de corriente, lo más fácil de comprender y los que entregan mayor información en cuanto dirección e intensidad, son los gráficos polares o de dispersión, estos están generados para cada capa que subdivide la columna de agua. Existen perfiladores o correntómetros que poseen un software que generan estos gráficos, es el caso del utilizado en este estudio.

Gráfico N° 2.- Dispersión superficial con valores.



El Trabajo se realizó en el sector de Punta Espinosa, isla Chulín. El equipo se fondeó en las coordenadas latitud: 42°_35'_21.36" Sur , longitud: 73°_03'_38.96" Oeste aproximadamente a 27m de profundidad, tal como se indica en el gráfico N°3.

El fondeo del equipo fue realizado el 03 de Enero a las 20:11 hrs y la captura de información se realizó hasta el 25 de Enero de 2007 a las 23:51. Este período equivale a aproximadamente a 22 días de mediciones continuas.

La programación del equipo fue predeterminada para obtener lecturas simultáneas de dirección y velocidad de la corriente en múltiples capas. Se configuró el equipo para realizar la medición en tres columnas simultáneas, incluyendo la superficie, con el objeto de mejorar la resolución del perfil en partes específicas de la columna.

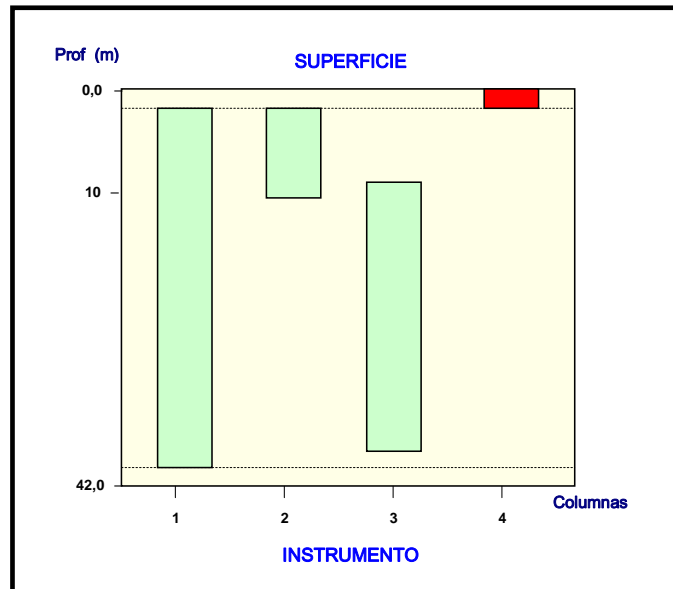


Gráfico N° 3.

Las columnas son referenciadas a la superficie o al equipo, cualidad que permite que las mediciones sigan la evolución de las mareas automáticamente de manera de no necesitar compensaciones posteriores.

El intervalo de grabación fue de 10 minutos, lapso durante el cual se obtuvieron las lecturas de cada variable mencionada. La información almacenada por el equipo fue tratada con su software para su visualización e interpretación. Luego, los datos fueron exportados para efectuar un post-proceso de ellos y poder ser analizados estadísticamente.

La mayor diferencia entre una pleamar y bajamar consecutiva fue de 5,37m (pleamar a las 03:41 del 21 de Enero: 34,96 m de profundidad; y bajamar a las 10:01 del 21 de Enero: 29,59 m de profundidad), alcanzando una menor diferencia de altura de marea entre las 10:11 h del 13 de Enero: 32,61 m (pleamar) y las 15:41 h del 13 de Enero: 31,35 m (bajamar) con un rango de diferencia de mareas de 1,26 m., como lo indica el gráfico N°4.

Gráfico Variación del nivel del Mar (m) sector Punta Espinosa.

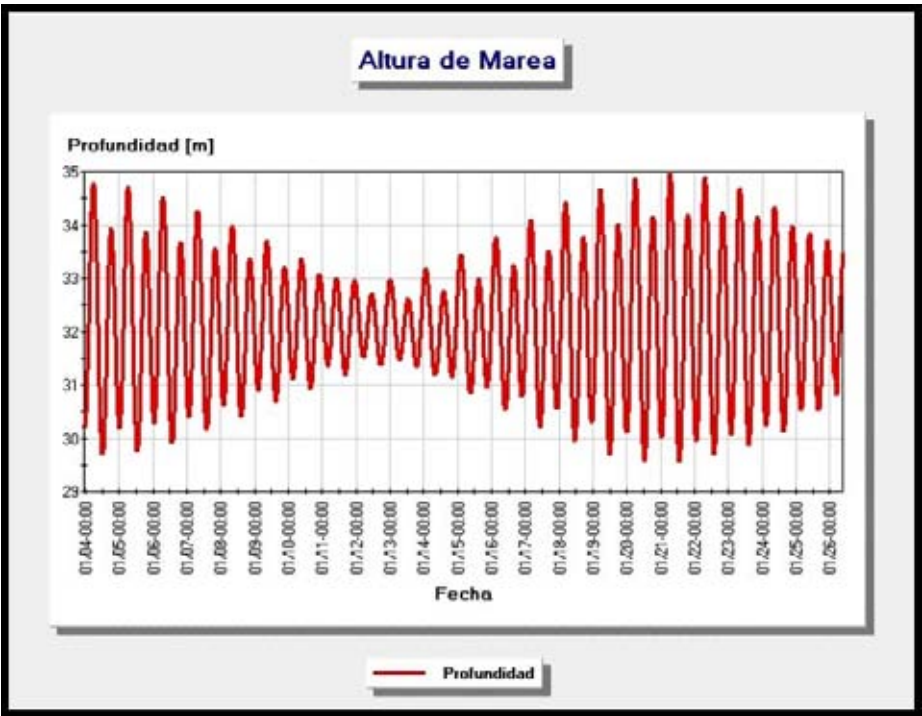


Gráfico N°4.

Velocidad Horizontal de Corriente

El equipo recopiló información de las corrientes en la columna completa de agua siguiendo automáticamente la evolución de las mareas (referenciado a la superficie); como consecuencia, el equipo realizó la medición real de 13 capas cada 2 m., cubriendo aproximadamente una totalidad mínima de 27m de profundidad, valor que cambia de acuerdo a la variación de la marea.

La velocidad más alta se presenta en la capa 01 (hasta 3m de profundidad) alcanzando un peak de velocidad de 163,98 cm/s (3,18 nudos) cuya orientación es hacia los 238,45° (SW). Considerando la totalidad de los datos, la columna completa presenta una velocidad promedio de 44,68 cm/s d.s.: 29,23 (0,86 nudos).

El comportamiento de la velocidad horizontal y dirección de la corriente a diferentes profundidades se puede apreciar en los gráficos de dispersión que se muestran a continuación, por cada celda o capa según tabla N°2. y gráficos N°5 al N°16.

Tabla N°2 : Rango por capa

Capa	Rango (m)	Distancia al centro de la capa (m)
1	1 a 3	2
2	3 a 5	4
3	5 a 7	6
4	7 a 9	8
5	9 a 11	10
6	11 a 13	12
7	13 a 15	14
8	15 a 17	16
9	17 a 19	18
10	19 a 21	20
11	21 a 23	22
12	23 a 25	24
13	25 a 27	26

Gráfico N° 5.-

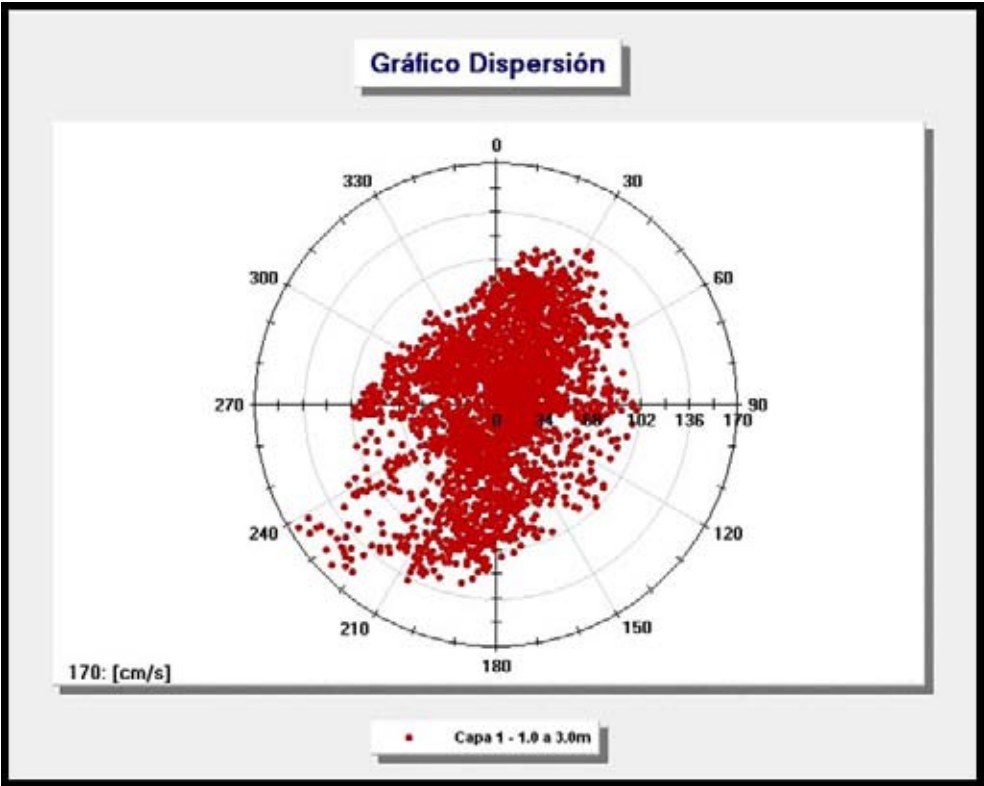


Gráfico N° 6.-

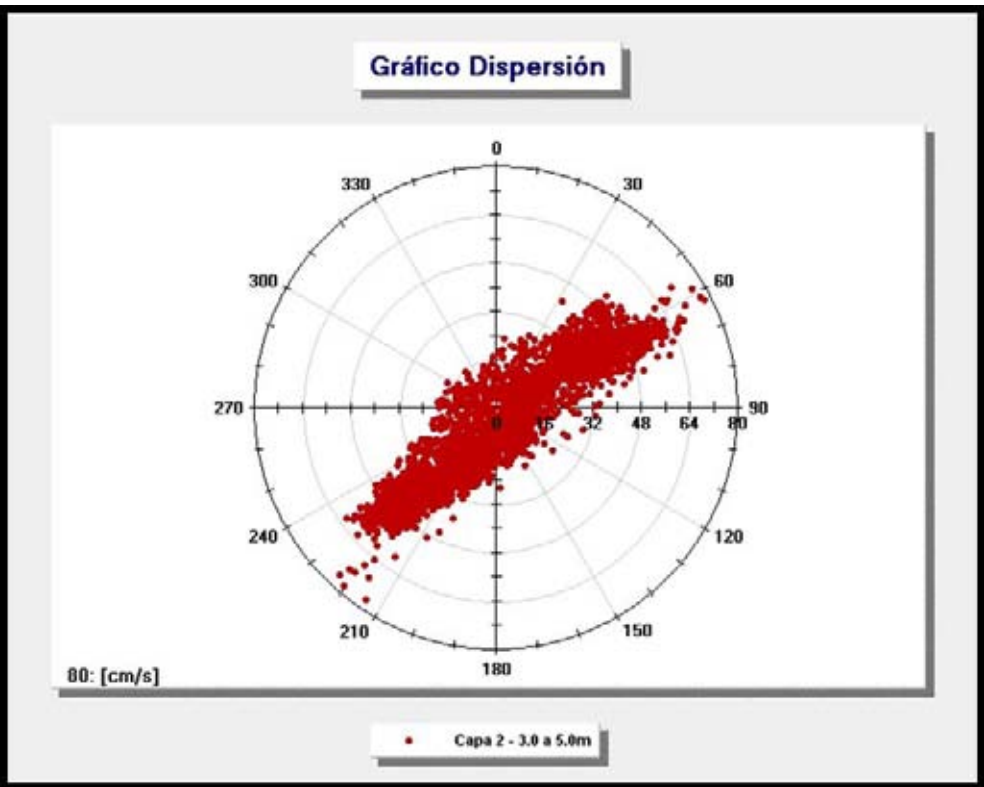


Gráfico N° 7.-

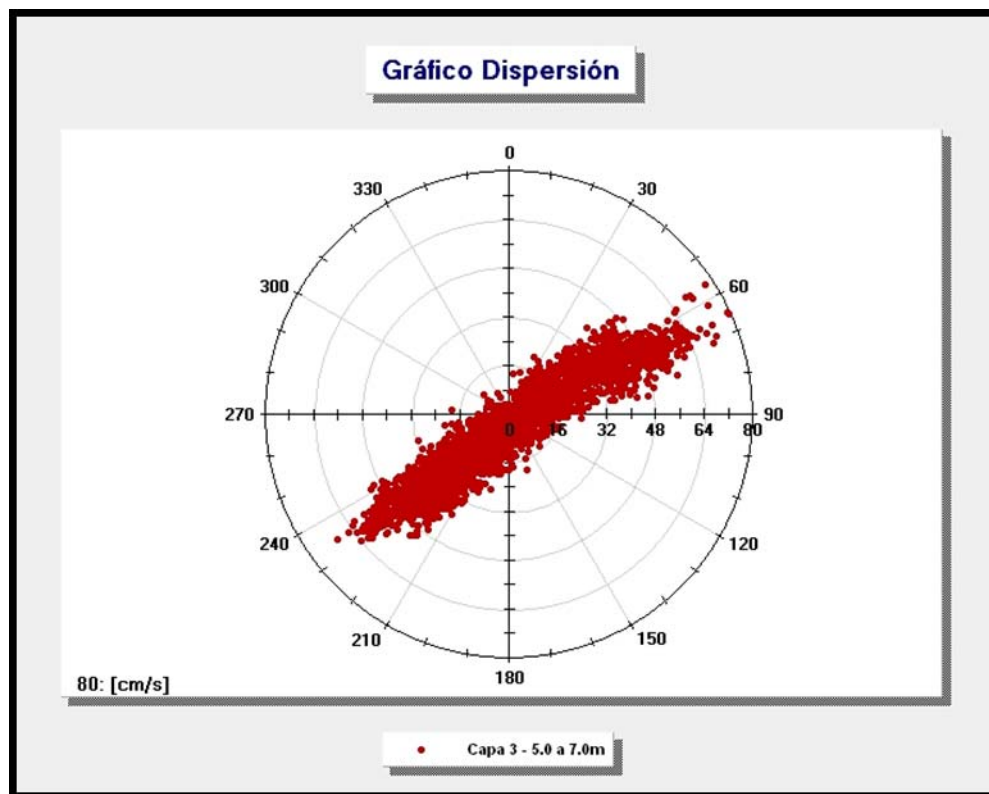


Gráfico N° 8.-

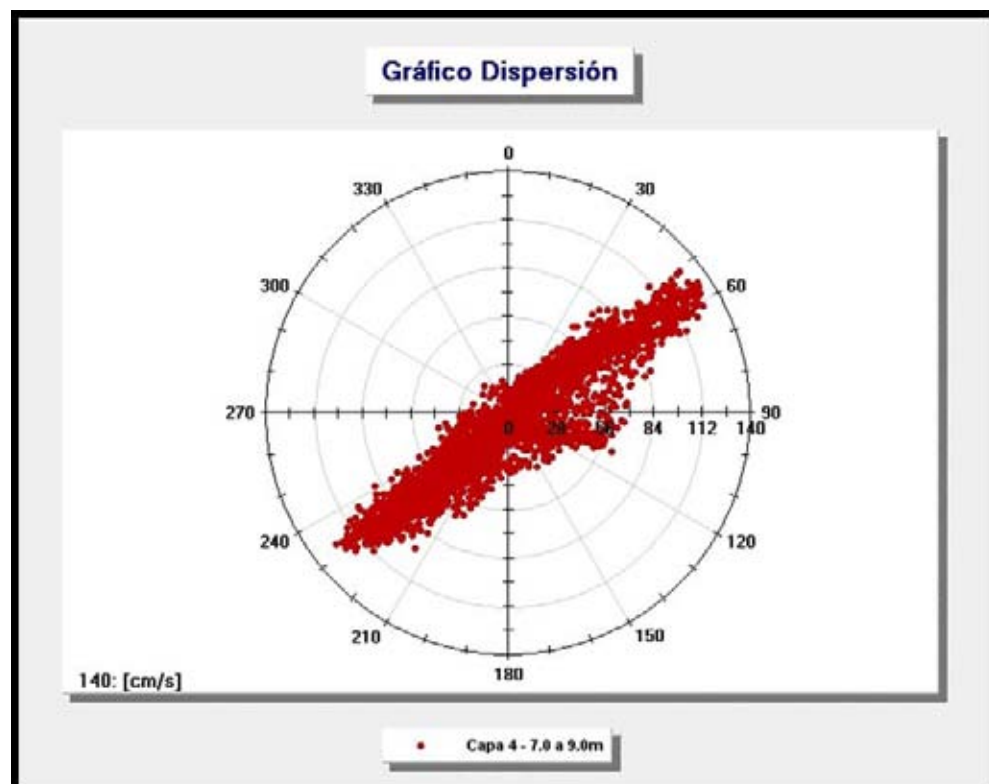


Gráfico N° 9.-

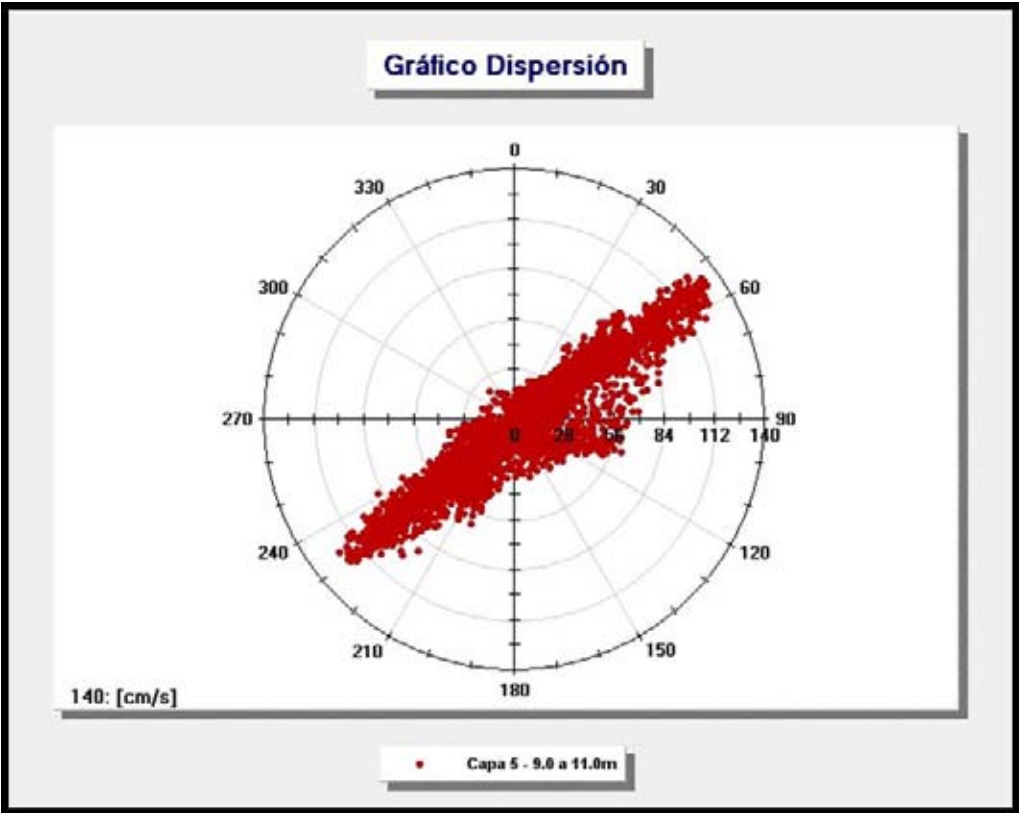


Gráfico N° 10.-

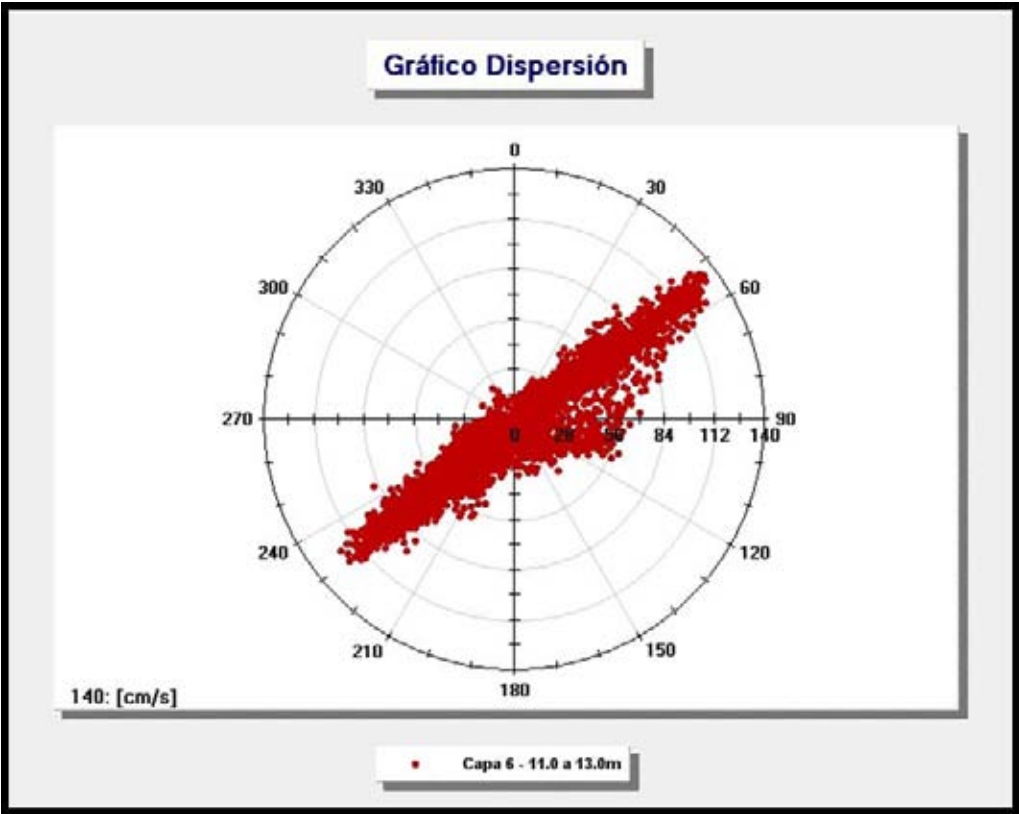


Gráfico N° 11.-

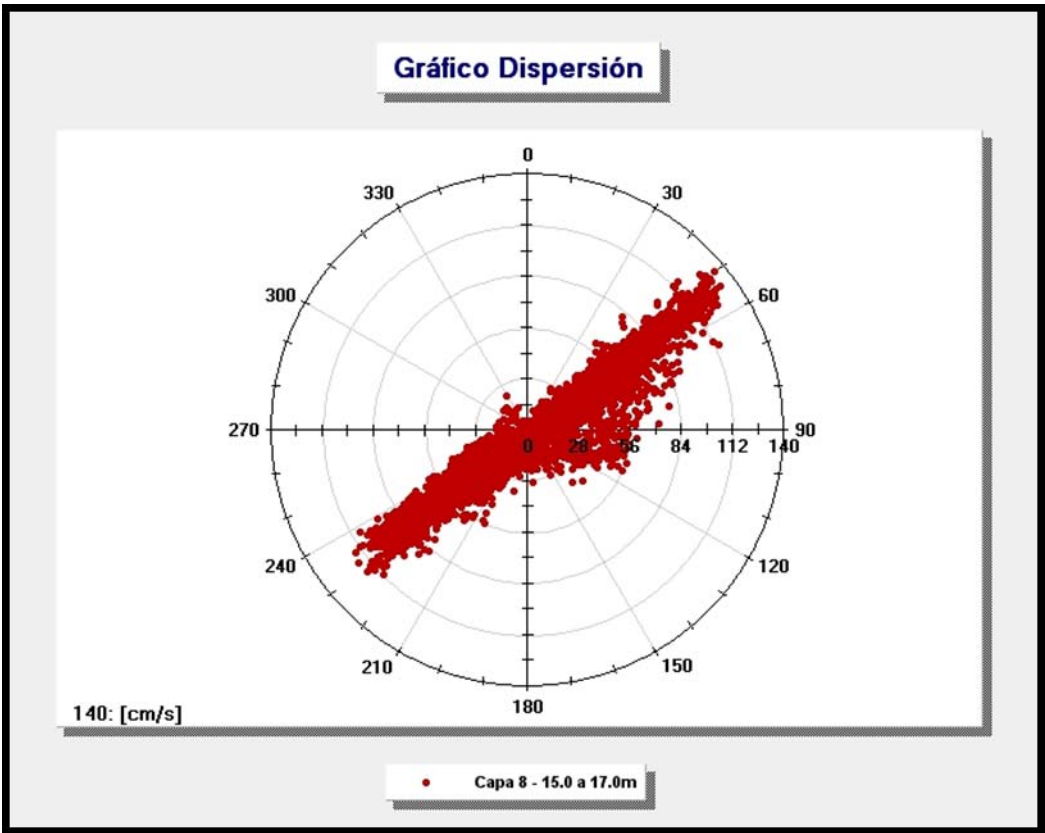


Gráfico N° 12.-

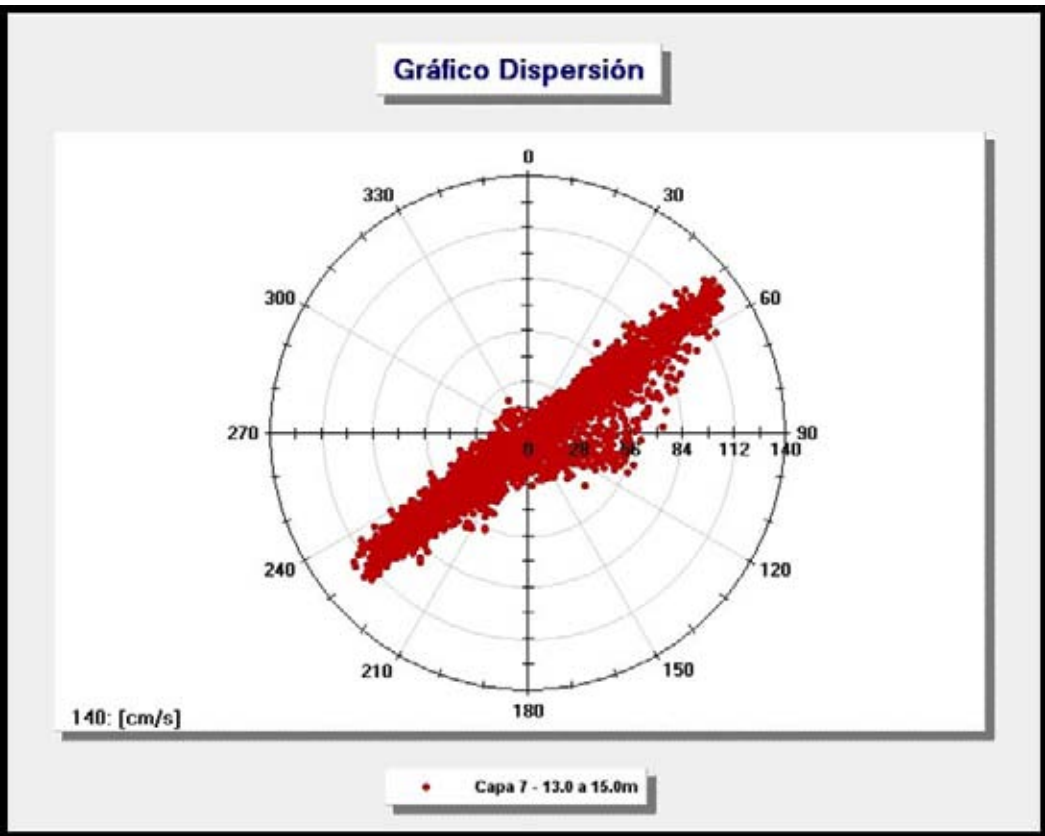


Gráfico N° 13.-

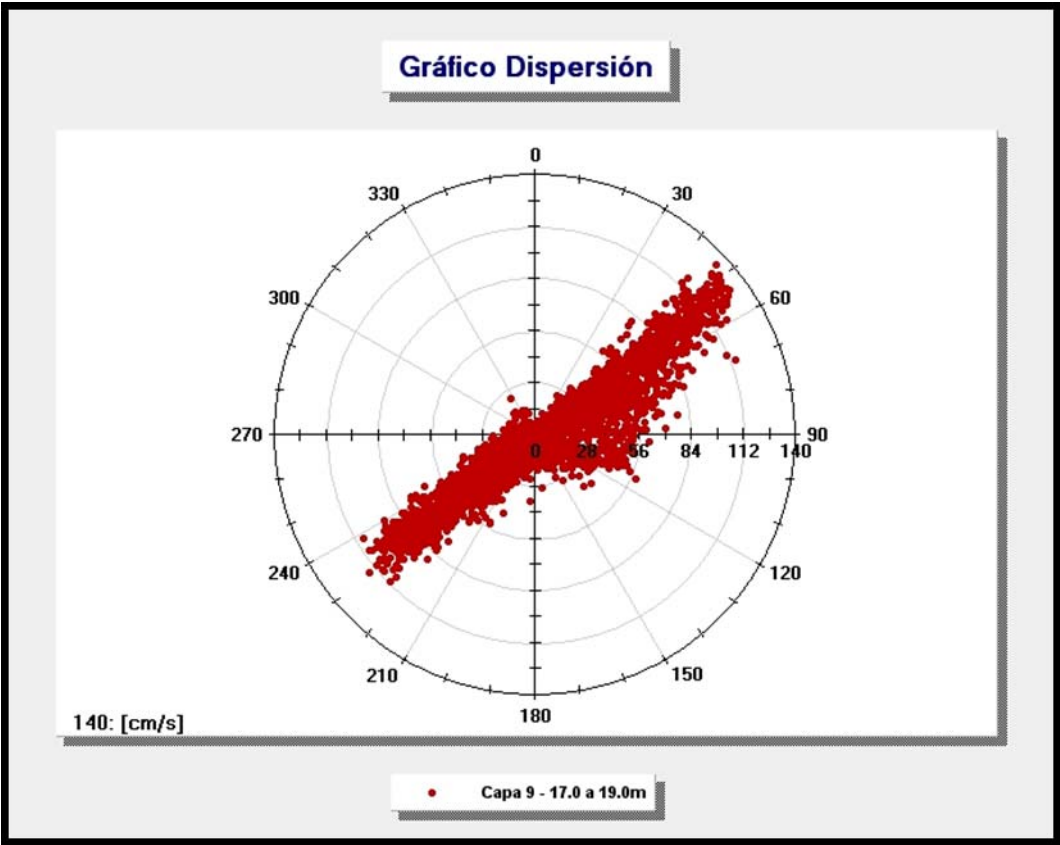


Gráfico N° 14.-

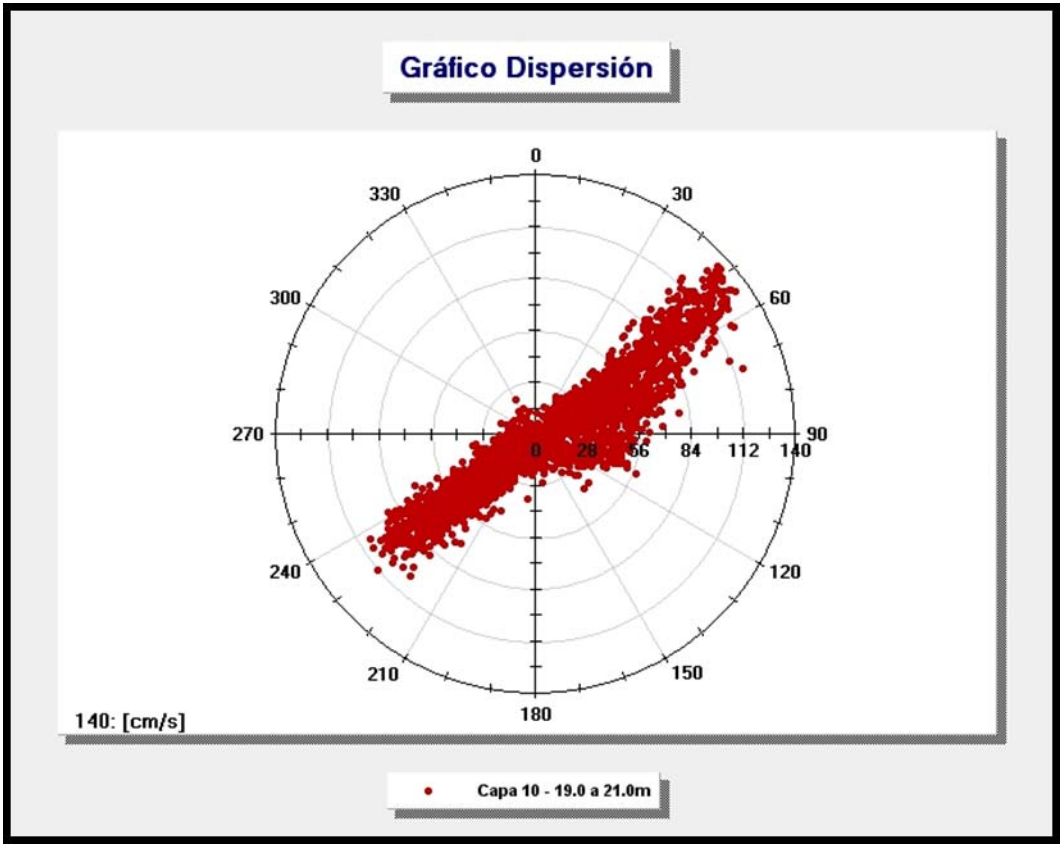


Gráfico N° 15.-

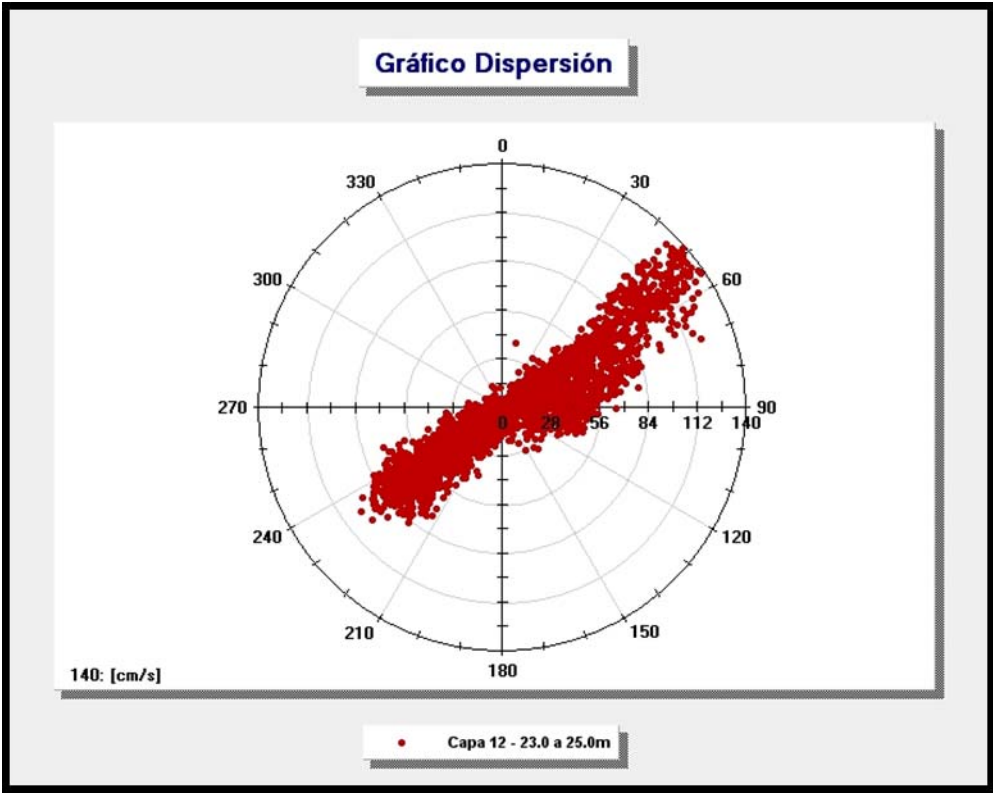
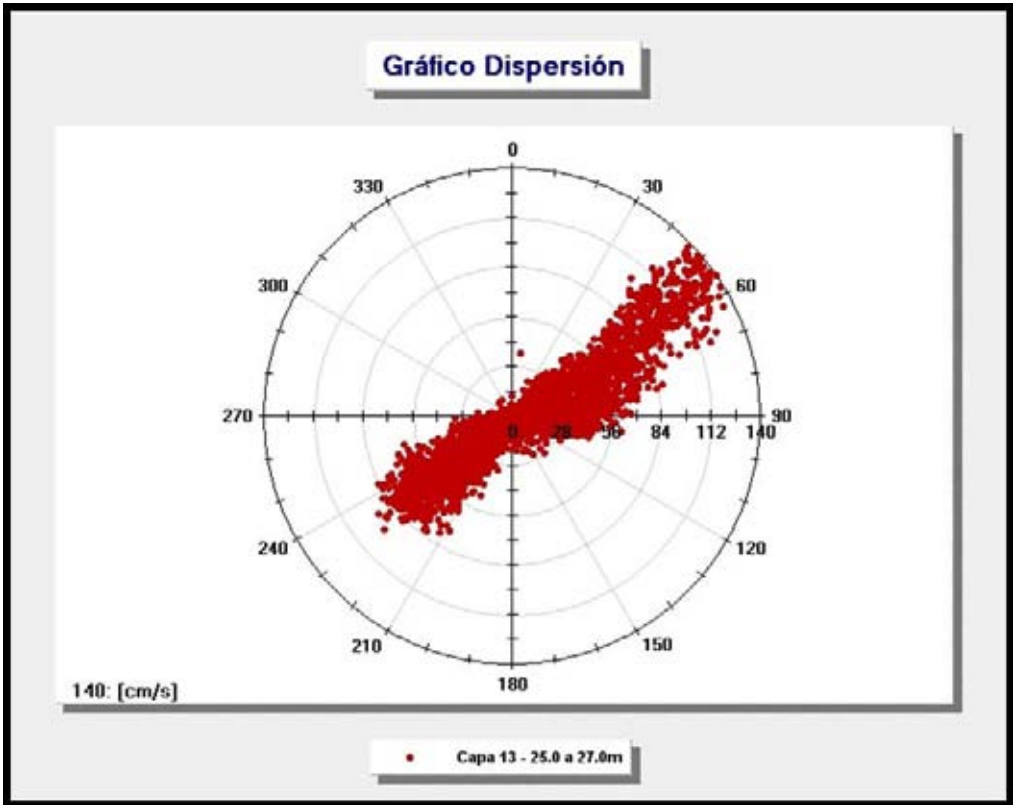


Gráfico N° 16.-



Conclusión del estudio:

Con los datos obtenidos en el estudio, considerando las direcciones e intensidades y haciendo un cálculo del promedio de los peak máximos de cada celda dentro de la columna de agua en la dirección en que afectarían al módulo o tren de balsas jaulas, tanto para el lado frontal y lateral de este, arrojando como intensidad 2.5 kn. de velocidad de corriente neta, sin factores de estimación a lo largo del tiempo en la columna completa, lo cual hace complicado el poder instalar un centro de cultivo que pueda soportar esta corriente en la masa completa de agua. Por lo general el perfil de la corriente en lugares más protegidos es con mayor intensidad en la superficie, pero a medida que la profundidad aumenta la velocidad disminuye. Este no es el caso por lo que se debe solicitar una nueva correntometría en una nueva posición dentro de la concesión y así definir si es factible la instalación que necesita la empresa salmonera.

Cabe señalar, que no se puede descartar la instalación de un centro de cultivos sin buscar más alternativas, ya que la empresa salmonera ya invirtió una cantidad de dinero importante para adquirir la concesión.

2.5 2º ESTUDIO CORRENTOMETRÍA EULERIANA.

Este segundo estudio se realizó en el mismo sector, a poco menos de una milla náutica al Nor Este de la posición del equipo anterior, se decidió optar por esta posición porque según batimetría se proyecta a mayor profundidad, por lo que debería existir menor intensidad en la velocidad de la corriente. El equipo se fondeó en las coordenadas latitud: 42º_34'_56.62"Sur longitud: 73º_02'_53.37" Oeste aproximadamente a 60 m de profundidad.

Profundidad (m)	Velocidad Máxima (cm/s)	Orientación (º)	Asignación Cartográfica	Ocurrencia		Velocidad Promedio (cm/s)
				Día	Hora	
Superficie	157.01	198.6	S	26/09	15:41	73.86
2	141.03	207.27	SW	26/09	17:41	69.3
4	90.2	226.4	SW	17/09	17:51	40.59
6	47.93	27.5	NW	27/09	21:51	10.75
8	73.27	239.8	SW	30/09	07:31	16.78
10	82.62	241.9	SW	30/09	07:31	20.31
12	83.8	241.1	SW	27/09	17:51	20.79
14	85.5	242.1	SW	27/09	17:51	21.25
16	86.9	243.1	SW	27/09	17:51	21.7
18	88.04	245.1	SW	27/09	17:51	22.13
19	87.61	244.1	SW	30/09	07:31	22.56
20	88.54	246.6	SW	27/09	17:51	22.93
21	91.76	247.7	W	27/09	17:51	23.3
22	90.9	249	W	27/09	17:51	23.58

El fondeo del equipo fue realizado el 13 de Septiembre a las 17:00 hrs y la captura de información se realizó hasta el 06 de Octubre de 2007 a las 18:01 hrs. Este período equivale a aproximadamente a 23 días de mediciones continuas.

La programación del equipo fue predeterminada para obtener lecturas simultáneas de dirección y velocidad de la corriente en múltiples capas. Se configuró el equipo para realizar la medición en una columna y una capa superficial, con el objeto de mejorar la resolución del perfil en partes específicas de la columna.

El rango de diferencia de mareas entre pleamar y bajamar, como se muestra en el gráfico, se incrementa para la luna de sicigia del 26 de Septiembre y decrece para la Cuadratura del 03 de Octubre.

La mayor diferencia entre la pleamar y bajamar consecutiva fue de 6,05m, con pleamar a las 14:41 del 27 de Septiembre: 56,91 m de profundidad; y bajamar a las 20:41 del 27 de Septiembre : 50,86 m de profundidad, alcanzando una menor diferencia de altura de marea entre las 19:11 h del 19 de Septiembre: 54,19 m (pleamar) y las 00:11 h del 20 de Septiembre: 53,74 m (bajamar) con un rango de diferencia de mareas de 0,45 m.

Variación del nivel del Mar (m) sector Punta Espinosa.

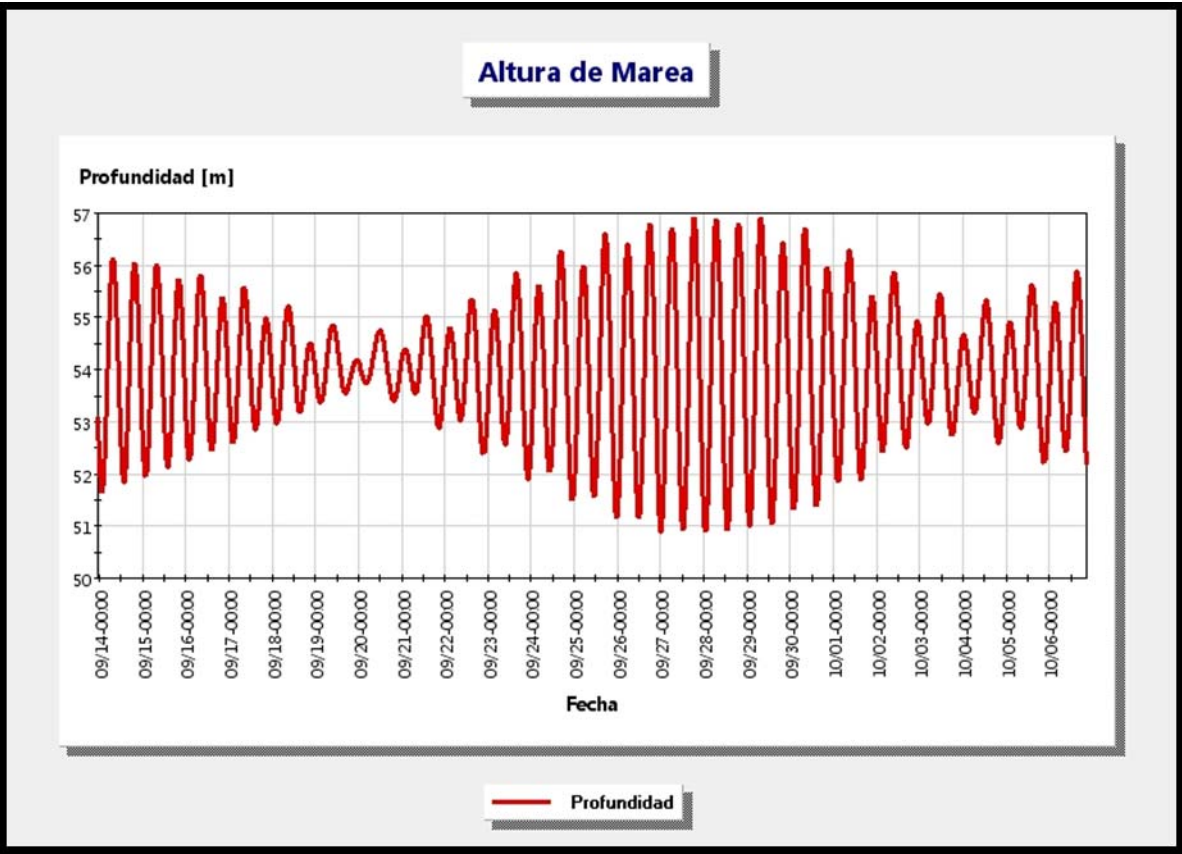


Gráfico N° 17.-

La velocidad más alta se presenta en la capa 01 (hasta 3m de profundidad) alcanzando un peak de velocidad de 141,03 cm/s (2,7 Kn) cuya orientación es 207,27° (SW). Considerando la totalidad de los datos, la columna completa presenta una velocidad promedio de 25,85 cm/s; (0,48 Kn).

Velocidad Horizontal de la Corriente.

El equipo recopiló información de las corrientes en la columna entera de agua siguiendo automáticamente la evolución de las mareas (referenciado a la superficie); como consecuencia, el equipo fue programado y realizó la medición real de 13 capas cubriendo aproximadamente una totalidad mínima de 26m de profundidad, valor que cambia de acuerdo a la variación de la marea.

Los rangos de cada celda en la columna 1 son las siguientes:

Tabla N°3: Rango por capa

Capa	Rango (m)	Distancia al centro de la capa (m)
1	1 a 3	2
2	3 a 5	4
3	5 a 7	6
4	7 a 9	8
5	9 a 11	10
6	11 a 13	12
7	13 a 15	14
8	15 a 17	16
9	17 a 19	18
10	19 a 21	20
11	21 a 23	22
12	23 a 25	24
13	25 a 27	26

DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN

Gráfico N° 18.-

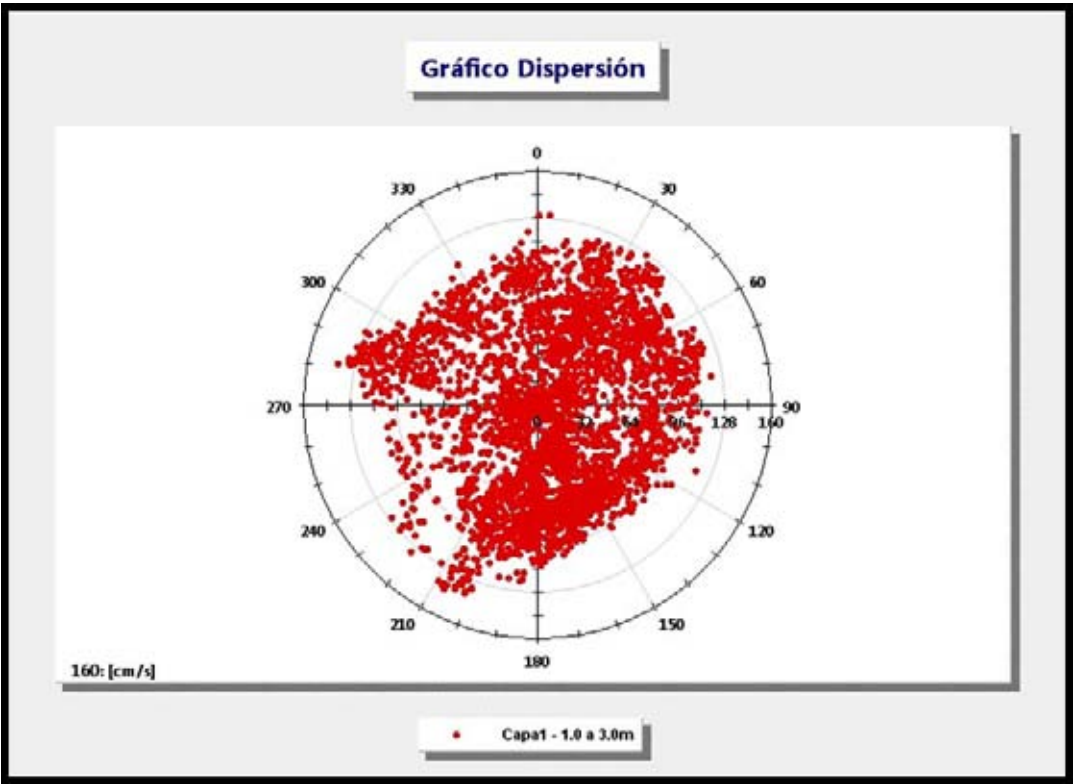


Gráfico N° 19.-

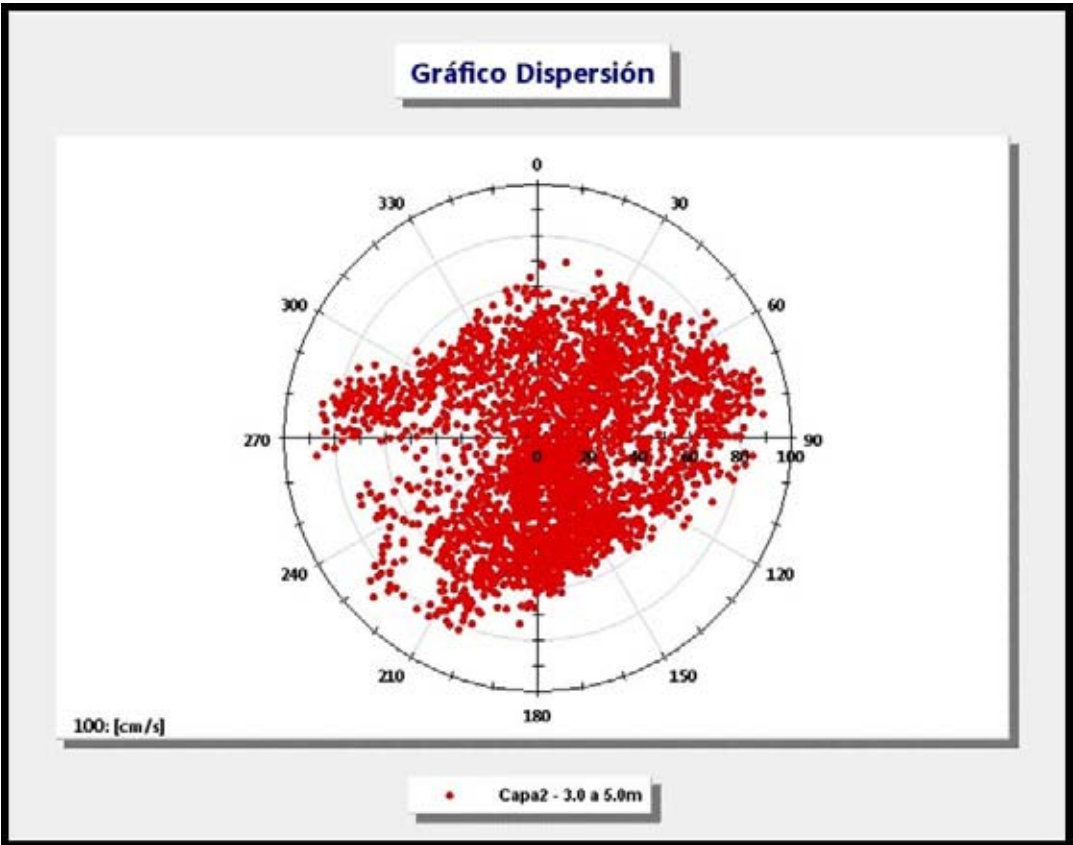


Gráfico N° 20.-

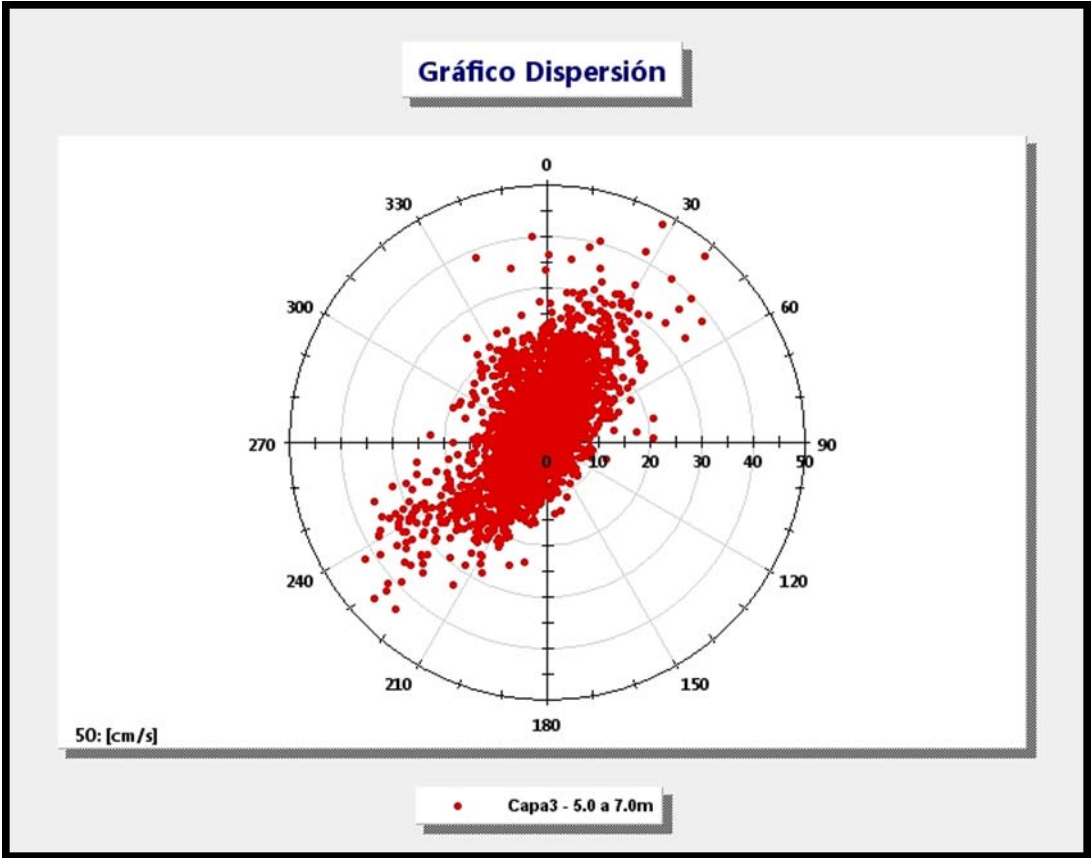


Gráfico N° 21.-

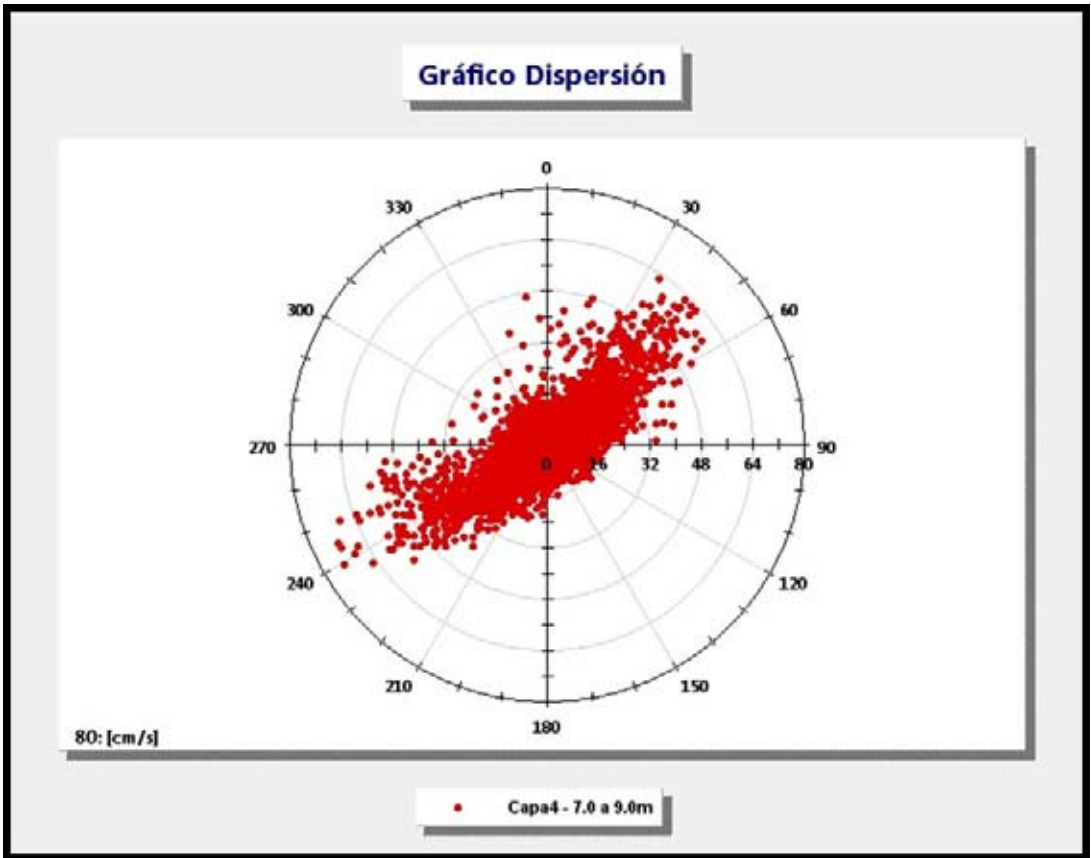


Gráfico N° 22.-

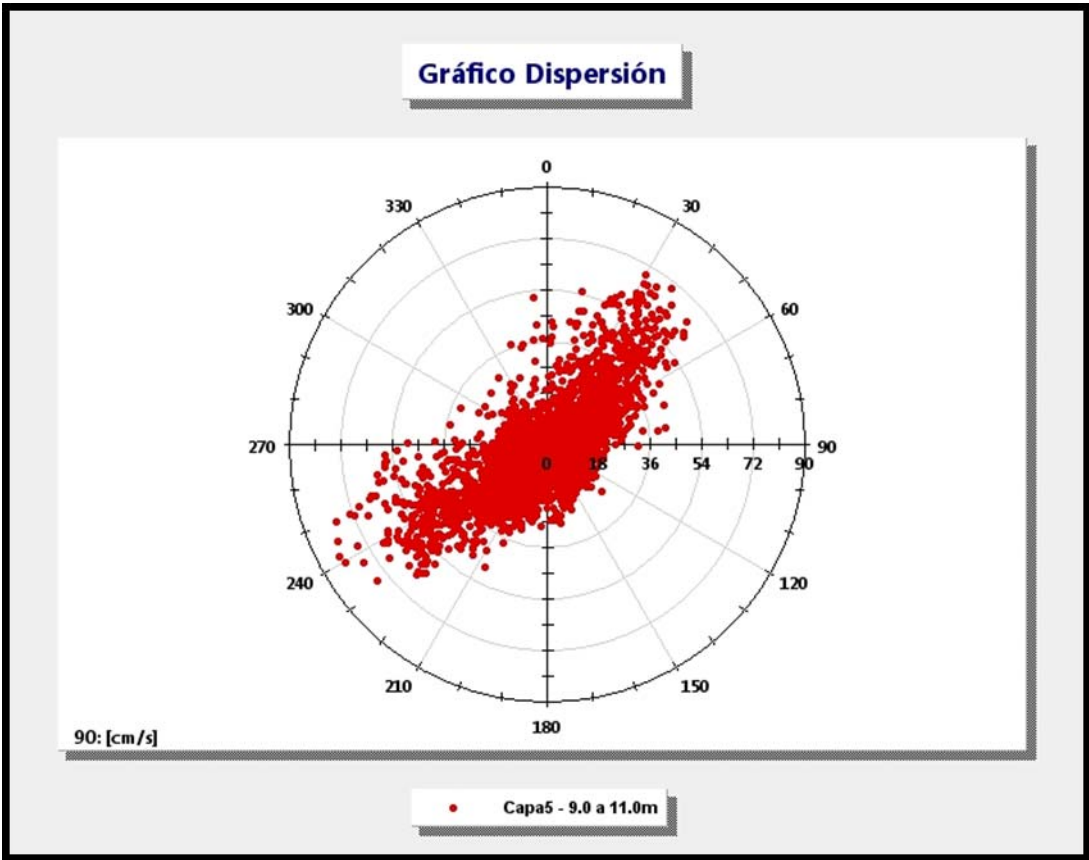


Gráfico N° 23.-

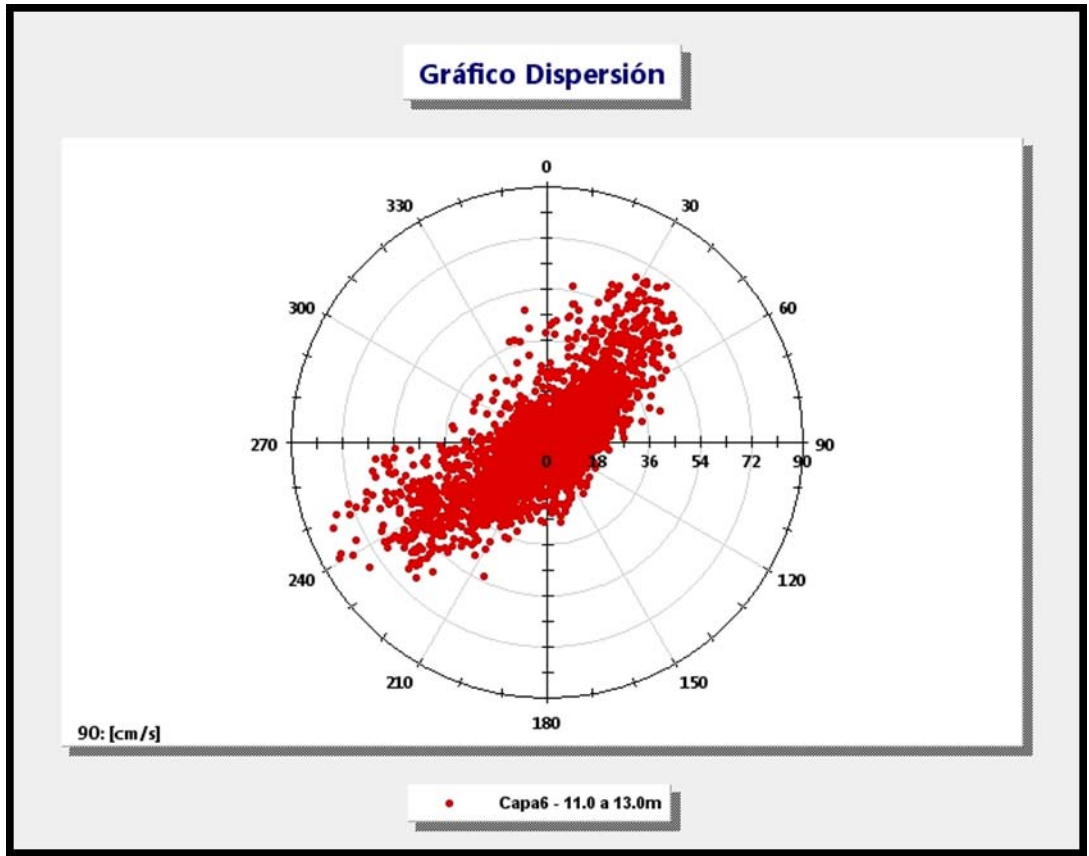


Gráfico N° 24.-

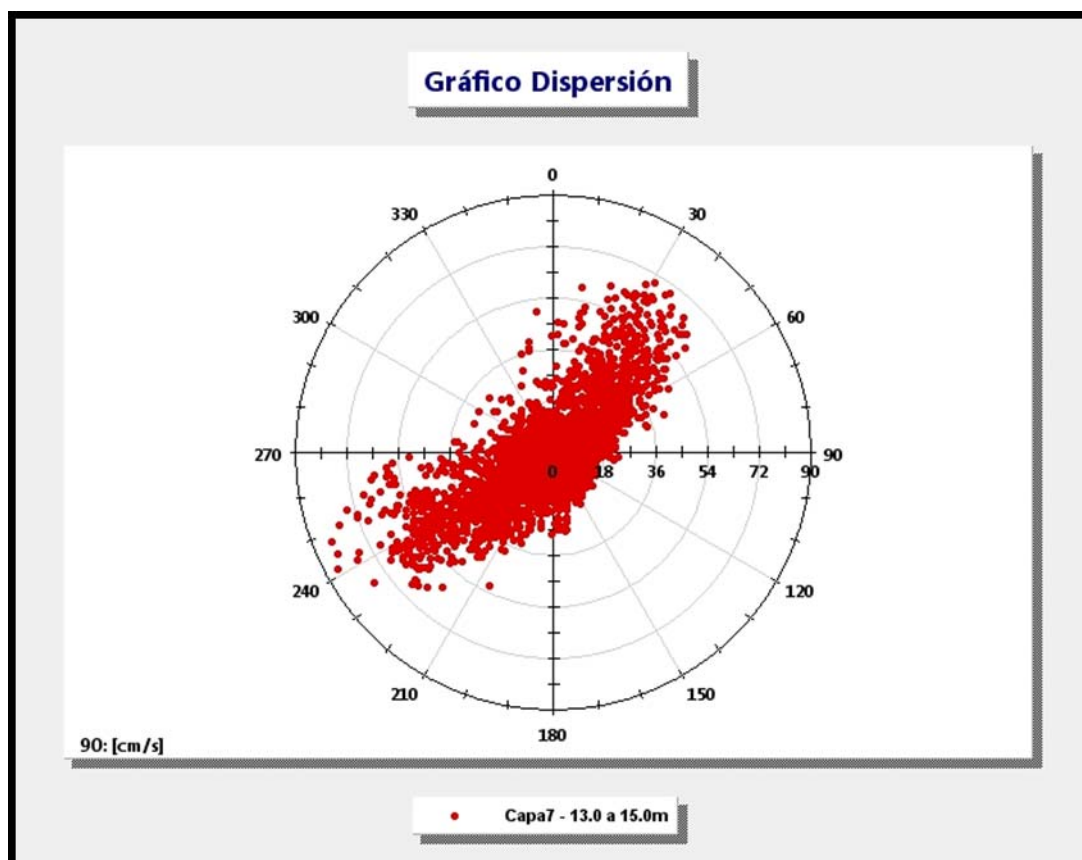


Gráfico N° 25.-

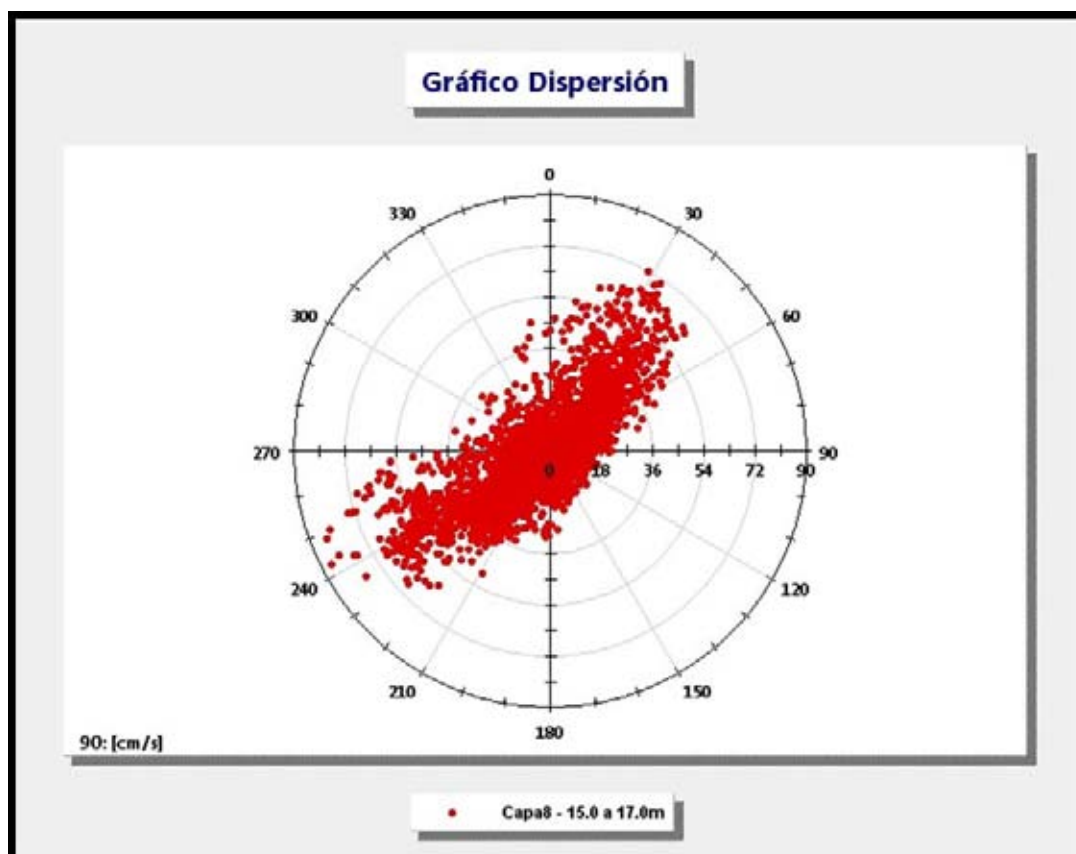


Gráfico N° 26.-

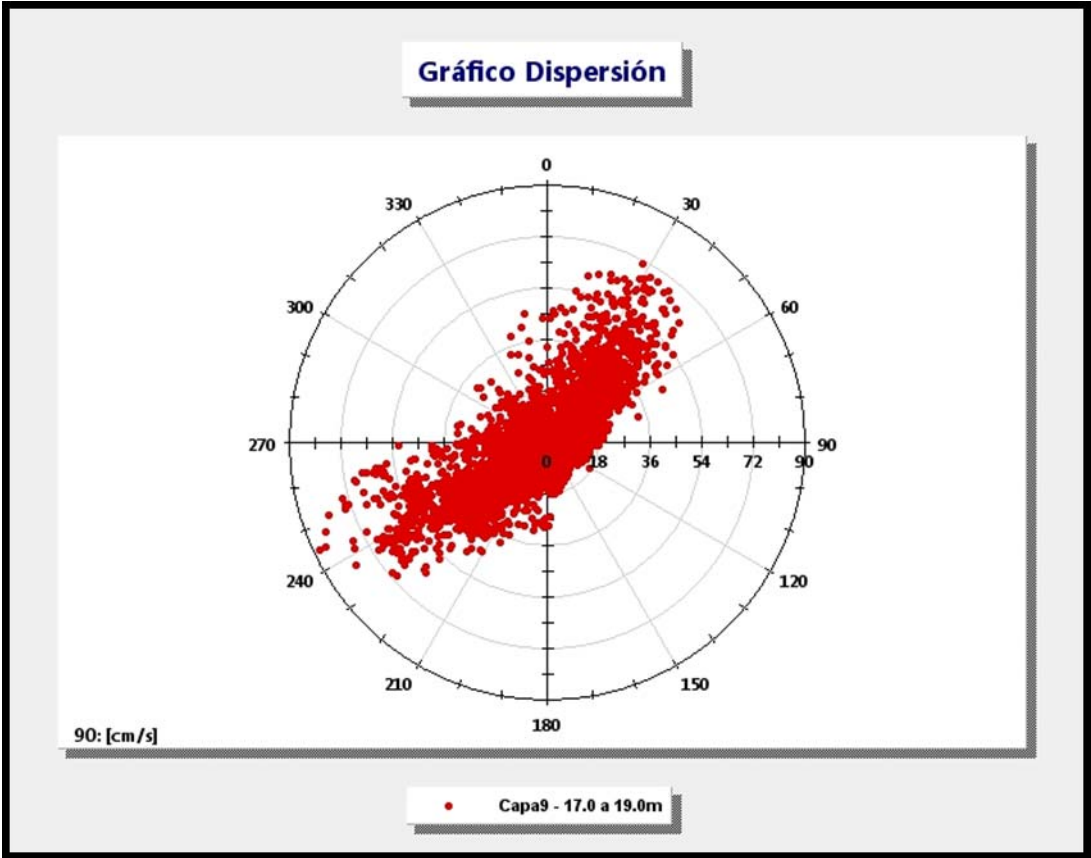


Gráfico N° 27.-

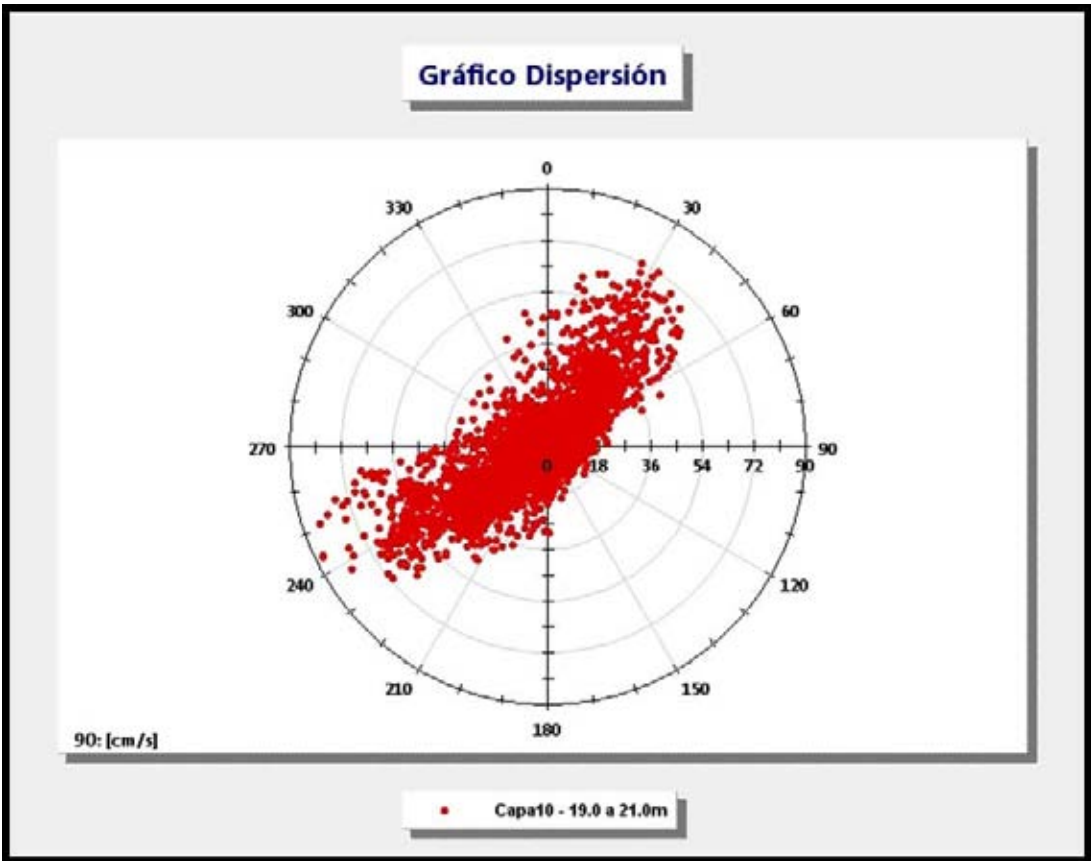


Gráfico N° 28.-

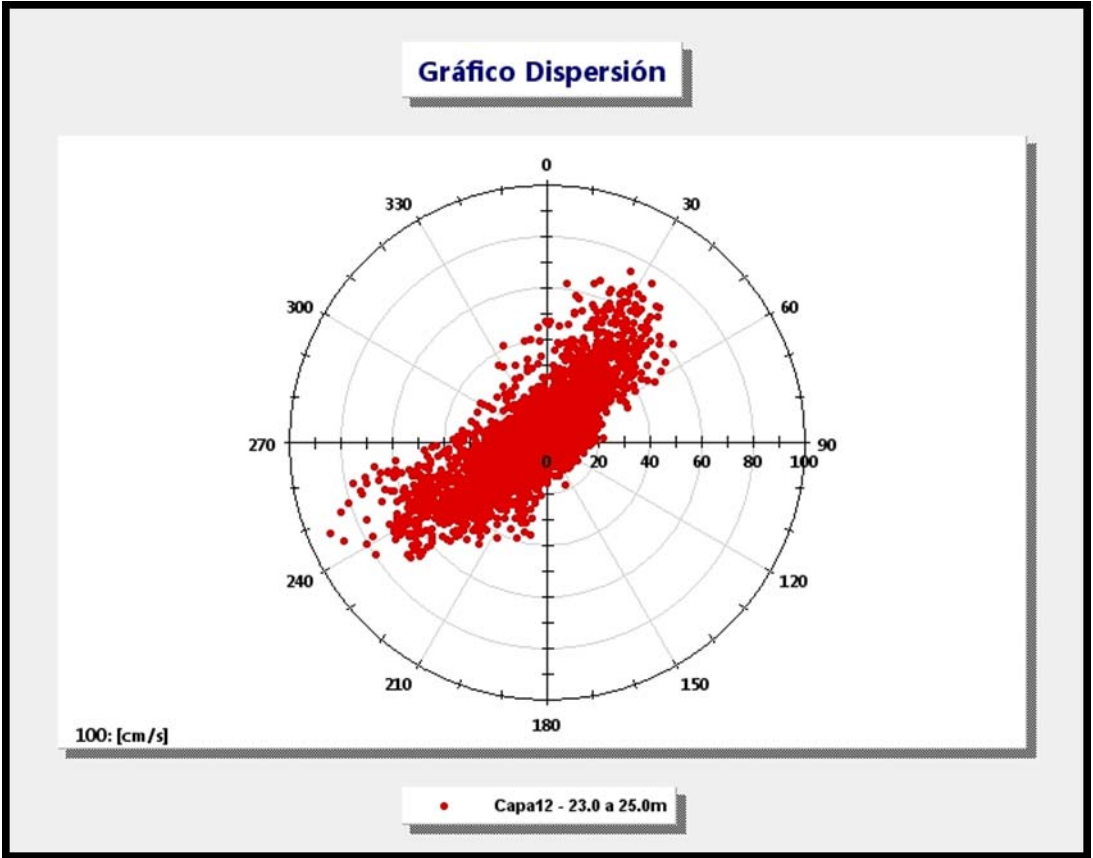
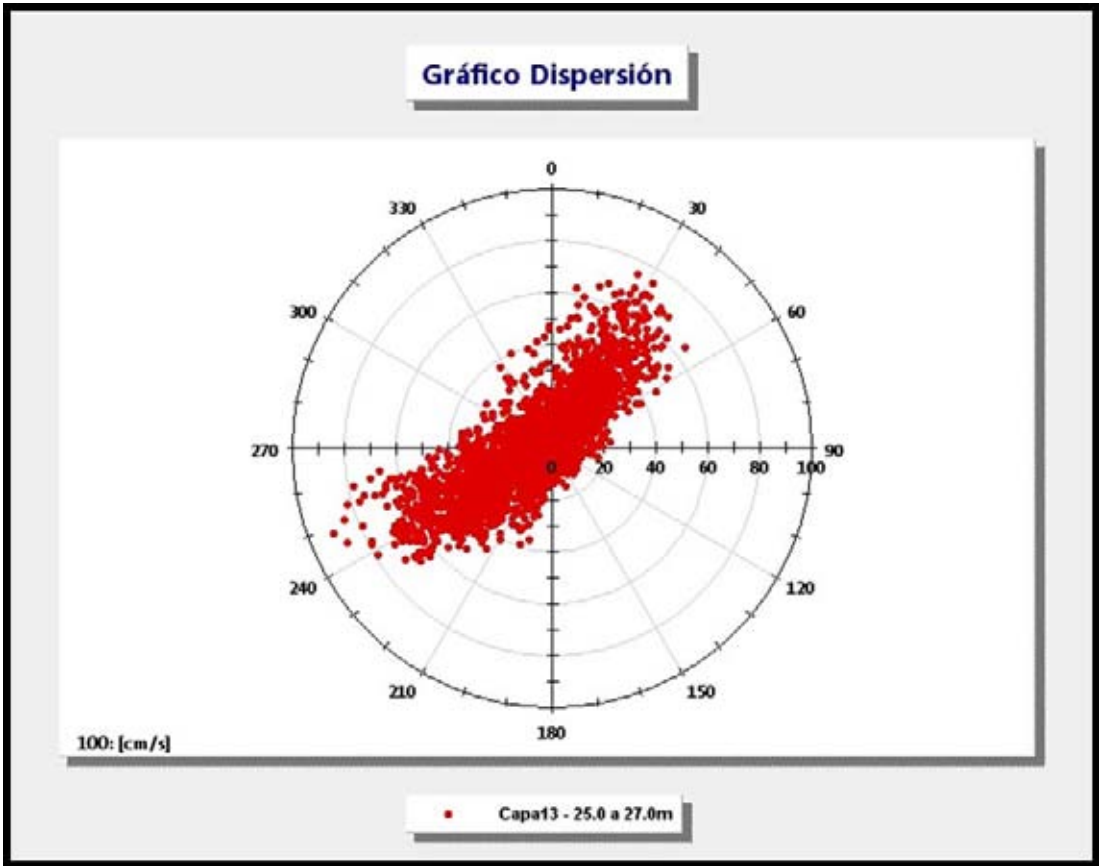


Gráfico N° 29.-



CONCLUSION 2º ESTUDIO:

En esta posición del equipo de medición, al estar a mayor profundidad y desplazado al Este, se logró una captura de datos con menor intensidad pero manteniendo la dirección de la corriente.

Con los datos obtenidos y evaluando preliminarmente se puede aceptar dicho estudio, siendo factible la instalación del centro de cultivos en esta segunda posición.

CAPITULO III. MEMORIA DE CALCULOS

3.1 Antecedentes Generales

Para realizar una memoria de cálculo, se debe considerar el escenario más adverso, es decir, las máximas intensidades de los agentes externos medioambientales que afectan al módulo en proyecto. Con esto se pretende lograr una metodología de cálculo para el sistema de fondeo, con todos sus elementos, a partir de los requerimientos dados por la empresa Salmonera, en el centro de cultivo Punta Espinosa.(Referencia: Memoria de calculo Walbusch S.A.).

El mayor problema que tienen las jaulas situadas en el mar es soportar las cargas que producen los agentes externos. De estas acciones, las más importantes, por su magnitud e incidencia en el comportamiento del módulo, son las fuerzas producidas por las olas y las corrientes. La importancia del viento depende del área expuesta a su influencia.

Por lo tanto los valores de esfuerzos que arroje el presente cálculo, están fundamentados en condiciones extremas, esto es, las condiciones desfavorables de viento, estados de mar y de corrientes actuando juntas sobre un tren de jaulas.

Por lo visto, el diseño del esquema de fondeo será según las condiciones que en este caso fueron presentadas con anterioridad por parte de la empresa Salmonera, y en el que se hará el análisis para determinar el sistema de fondeo a utilizar, es decir, sus materiales con las respectivas características técnicas, en el cual se basará para ejecutar posteriormente trabajos correspondientes al centro de cultivo.

3.2 INTRODUCCIÓN

Según lo informado por la empresa interesada, se requiere determinar un sistema de fondeo para el módulo de 10 jaulas metálicas, cuadradas de 30 x 30 m., ubicado en el Centro de cultivo Punta Espinosa, ubicado al Nor Oeste de la Isla Chulín, en el archipiélago de Chiloé, Decima región. Es por ello que se elaborará y desarrollarán los trabajos para el interesado.

Como se ha dicho en parte, las fuerzas que actúan en el módulo equivalen a la suma de cargas parciales de tipo estáticas (estructura y sus aparejos) y dinámicas (condiciones medioambientales). Las cargas dinámicas son por lo general, las que inciden en el sistema de fondeo, por lo que se deberán asumir datos máximos actuales.

Cabe mencionar que es posible que exista un escenario aun peor a lo contemplado como condiciones adversas, por lo que el cálculo solo contempla las variables antes mencionadas (vientos, olas, corrientes), siendo estos valores utilizados durante las etapas de desarrollo y análisis del cálculo de fondeo.

El presente estudio desarrolla los aspectos antes mencionados, intentando ser lo más acorde con la realidad.

3.3 UBICACIÓN DEL SITIO

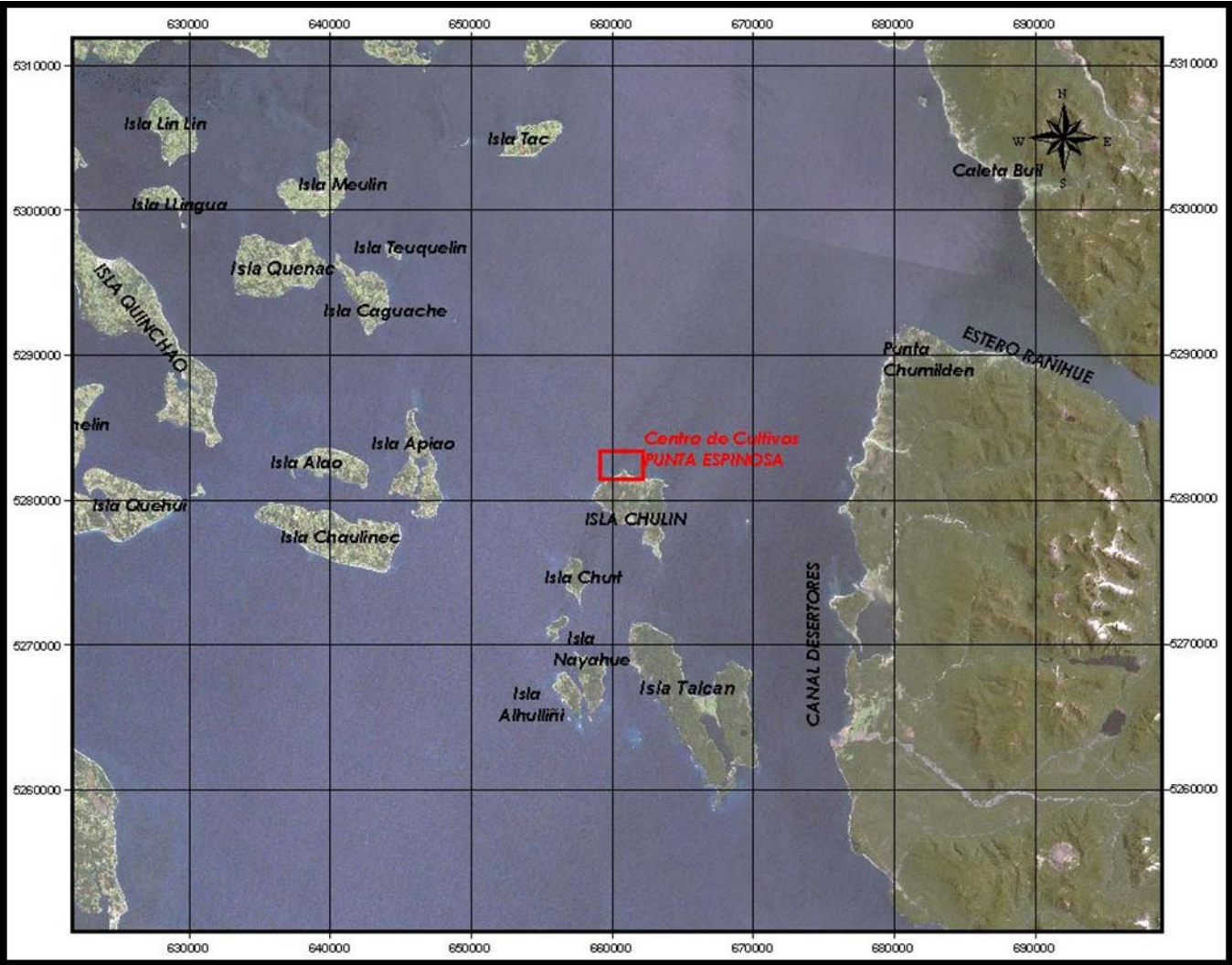


FIGURA N°17.

3.4 GLOSARIO

Corresponde algunas definiciones obtenidas de distintas publicaciones encontradas en la red como por ejemplo en www.books.google.cl, www.tecnoedu.com, para el mejor entendimiento en esta etapa de la tesis.

Fuerza por fricción o arrastre: Se produce por el efecto viscoso del fluido al pasar por una estructura.

Fuerza de Inercia: Son proporcionales a la aceleración. Posee dos componentes: La masa añadida, que es la cantidad de agua que arrastra el miembro, y que produce el efecto de aumentar la masa, por lo que puede considerarse como una fuerza que se opone al movimiento.

Fuerza Estática: Es producida por las tensiones internas que componen la estructura del módulo y lo mantiene en equilibrio.

Fuerzas Dinámicas: Es producida por la acción dinámica de los agentes ambientales que afectan al módulo.

Fetch: Región no interrumpida en que la dirección y velocidad del viento es constante, o la distancia limpia que tendría el viento sin que encuentre obstáculo.

3.5 CALCULO DE FONDEO

En el presente estudio se desarrollará el cálculo de fuerzas sobre un módulo de 10 jaulas metálicas de 30 x 30 metros,. El sitio de estudio es sector del centro de cultivo Punta Espinosa, Sector Nor Oeste Isla Chulín, archipiélago de Chiloé, Decima región.

El siguiente cálculo está basado en formulación de entidades dedicadas al desarrollo e investigación para la fijación de artefactos navales. Estas entidades son casas clasificadoras como American Bureau of Shipping (ABS), Det Norske Veritas (DNV), Lloyd's Register of Shipping (LR), además de una normalización Noruega aplicada para el fondeo y sistemas de fondeo de centros de cultivos, esta norma es la NS 9415.E

Datos de entrada para el cálculo

Tipo de módulo	10 jaulas metálicas
Dimensiones de jaulas	30 x 30 m.
Longitud total del módulo	156 m.
Ancho total del módulo	64 m.
Profundidad Red	16 m.
Densidad del agua	104.58 Kg. s ² /m ⁴ .
Densidad del aire	0.125 Kg. s ² /m ⁴ .

3.5.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Como se mencionó anteriormente, los cálculos se harán independiente para la parte frontal como para la parte lateral del módulo, para tener una apreciación más detallada de la capacidad de carga que puede absorber el módulo de acuerdo al sistema de fondeo proyectado.

Un estudio de Correntometría nos entrega datos acerca de la velocidad de la corriente y dirección de ella, con esta información se podrá realizar la memoria de cálculo para establecer la fuerza total que afecta a un determinado set de jaulas y su mejor orientación con respecto a los cambios de marea y fuerzas a que está sometido.

Por otra parte un estudio batimétrico, nos permite obtener la correcta determinación de las profundidades del fondo marino, y así determinar de forma correcta las líneas de fondeo y además obtener las pendientes del fondo marino donde será depositado el sistema de anclaje.

Una prueba de tracción nos entrega la eficiencia o agarre con el fondo marino del sistema de anclaje a utilizar y así obtener de forma adecuada los tonelajes necesarios para anclar nuestro set de jaulas.

3.6 FUERZAS GENERADAS POR OLAS

Las fuerzas producidas por olas siempre han sido un problema difícil de resolver. Estas fuerzas están generadas por la aceleración de las partículas de agua que actúan sobre la capa superior, y que como tal, resulta imposible explicar su comportamiento en una determinada estructura. Para cuantificar las fuerzas y movimientos se pueden usar diferentes criterios.

Los vientos, como suelen actuar sobre la superficie del agua, inciden ciertamente en el movimiento de las olas. Ese efecto, de originar olas con una misma altura, período, y longitud en un espacio determinado produce un fenómeno conocido como Fetch. Para este cálculo, se considerará como Fetch la distancia más lejana desde el módulo a la costa circundante.

La importancia radica en que mayor distancia recorrida por el viento mayor es la superficie del agua donde se produce fricción, lo que a la postre es lo que levanta el agua; afirmando que la altura de la ola aumenta con la velocidad del viento y la energía de la ola aumenta al cuadrado de la altura de la ola.

Con respecto a estas distancias se realiza un cálculo de espectro de ola que está basada en los resultados del espectro Jonswap (Joint Wave Observation Program for the North Sea) puede escribirse a partir de las modificaciones al espectro de Pierson-Moscowitz.

3.6.1 DIRECCIÓN DE LLEGADA

Para las alturas de ola máxima, necesitamos considerar solamente las direcciones principales de ataque de la ola y por ende el viento.

Las Distancias fueron obtenida por medio de una fotografía satelital georeferenciada que nos entrega una medida exacta al igual de la posición utilizada.



FIGURA N°18.

Con respecto a estas distancias se realiza un cálculo de espectro de ola que está basada en los resultados del espectro **Jonswap** (Joint Wave Observation Program for the North Sea) puede escribirse a partir de las modificaciones al espectro de *Pierson-Moscowitz* de la manera siguiente:

Ecuación N°1:

$$E(f) = \alpha * \frac{g^2}{(2\pi)^4} * \frac{1}{f^5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{f_m}{f} \right)^4 \right] \gamma^{\exp \left[\frac{-(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2} \right]}$$

$$\alpha = 0.076 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{-0.22}$$

$$f_m = 3.5 \frac{g}{U} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{-0.33}$$

Donde:

F = Longitud de la Fetch en metros (m).

U = Velocidad del Viento. m/s²

α = Constante adimensional de Philips.

f_m = Frecuencia modal o pico espectral en 1/seg.

f = Frecuencia en 1/seg

γ = 3.3 (media), rango (1.6 - 6). Factor de forma o enfilamiento.

$$\sigma = 0.07 \rightarrow f \leq f_m$$

$$\sigma = 0.09 \rightarrow f > f_m$$

Para el cálculo de ola que atacará al frontal Nor Este del módulo se obtuvo una Fetch efectivo de 66.46 Km.

Parámetros de cálculo de espectro de ola.

FETCH (MILLAS NÁUTICAS)	ESCALA BEAUFORT					
35.89	4	6	8	10	11	12
Velocidad Viento (Kn)	15.0	25.0	40.0	50.0	60.0	70.0
Velocidad Viento (m/s)	7.72	12.86	20.58	25.72	30.86	36.01
Altura Ola Significativa (m)	1.017	1.695	2.713	3.391	4.069	4.747
Periodo de Ola (s)	4.99	5.92	6.93	7.46	7.93	8.35
Longitud de Ola (m)	38.95	54.75	74.90	86.91	98.15	108.77
Frecuencia de Ola	1.26	1.06	0.91	0.84	0.79	0.75

Para el cálculo de ola para la lateral Nor Weste del módulo se obtuvo una Fetch efectivo de 28.65 Km.

Parámetros de cálculo de espectro de ola.

FETCH (MILLAS NÁUTICAS)	ESCALA BEAUFORT					
15.47	4	6	8	10	11	12
Velocidad Viento (Kn)	15.0	25.0	40.0	50.0	60.0	70.0
Velocidad Viento (m/s)	7.72	12.86	20.58	25.72	30.86	36.01
Altura Ola Significativa (m)	0.668	1.113	1.781	2.226	2.671	3.117
Periodo de Ola (s)	3.77	4.47	5.23	5.64	5.99	6.31
Longitud de Ola (m)	22.23	31.24	42.74	49.60	56.01	62.07
Frecuencia de Ola	1.67	1.40	1.20	1.11	1.05	1.00

De acuerdo a estos parámetros se obtienen los valores de ola a la que puede estar sometido el módulo en estudio.

Para este fin se consideró mediciones de viento históricos realizados por la base El Tepual, ubicado en Puerto Montt, con ello se asumió una velocidad de viento extrema de 60 Kn. Para ambos sentidos, es decir, para cabecera y lateral del módulo en proyecto.

El paso de la ola a través de una estructura produce una serie de acciones sobre esta, materializándose como fuerza solicitantes. A su vez, la estructura reacciona mediante movimientos, oscilaciones y producción de olas secundarias

Para el cálculo de cargas generadas por olas, las casas clasificadoras recomiendan utilizar la ecuación de Morrison, haciendo la salvedad de que se usen los coeficientes apropiados, por su dependencia con los números Kenlegan – Carpenter y Reynolds.

Según tablas descritas anteriormente se obtienen las alturas de ola para una velocidad de viento de 60 kn. Según escala Beaufort.

Altura de ola frontal Nor Este = **4.07 m.**

Altura de ola lateral Weste = **2.67 m.**

El paso de la ola a través de una estructura produce una serie de acciones sobre esta, materializándose como fuerza solicitantes. A su vez, la estructura reacciona mediante movimientos, oscilaciones y producción de olas secundarias

Para el cálculo de cargas generadas por olas, las casas clasificadoras recomiendan utilizar la ecuación de Morrison, haciendo la salvedad de que se usen los coeficientes apropiados, por su dependencia con los números Kenlegan – Carpenter y Reynolds.

Las cargas producidas por las olas, se presentan de la siguiente manera:

$$F_w = F_D + F_I$$

Donde:

F_w = Fuerza producida por el paso de la ola por la estructura.

F_D = Fuerza de Arrastre.

F_I = Fuerza de Inercia.

3.6.2 FUERZAS DE ARRASTRE:

Es la fuerza producida por los efectos viscosos en el fluido, olvidando los efectos que la viscosidad tiene en la producción de remolinos.

$$F_D = 0.5 C_D \rho A V |V|$$

Donde:

F_D =Fuerza de Arrastre en kg.

C_D =Coeficiente de Arrastre. (1.16, Superficies planas).

ρ =Densidad del Agua en $\text{kg. s}^2/\text{m}^4$

A =Área Proyectada en m^2

V =Velocidad relativa normal al eje del elemento en m/s.

$|V|$ =Modulo de la velocidad en m/s.

Por lo tanto se tiene:

$$\begin{aligned} F_D &= 0.5 * 1.16 * 104.58 * A_{Exp.} * V_{ola}^2 \\ F_{D_{Frontal}} &= 14295.10 \text{ kg.} \\ F_{D_{Lateral}} &= 19348.15 \text{ kg.} \end{aligned}$$

3.6.3 FUERZAS DE INERCIA:

Las fuerzas de inercia son proporcionales a la aceleración y es independiente de la velocidad, posee dos componentes: la masa añadida, que es la cantidad de agua que arrastra el elemento, y que produce el efecto de aumentar la masa aparente, por lo que puede considerarse, como una fuerza que se opone al movimiento del elemento; y la fuerza de Fraude Krylov que se produce al rodear el elemento por el flujo, por el que se produce una distorsión de las líneas de este.

$$F_I = C_m \rho V \mu$$

Donde:

F_I = Fuerza de Inercia en kg.

C_m = Coeficiente de Inercia. (1.8).-

ρ = Densidad del Agua en kg. s²/m⁴

V = Volumen del elemento en m³.

μ = Aceleración de la partícula de agua, normal al eje en m/s².

Considerando todo lo anterior se determinan las fuerzas de Ola tanto para Cabecera y Lateral:

$$\begin{aligned} F_I &= 1.8 * 104.58 * 118.44 * \mu \\ F_{I_{Frontal}} &= 33058.52 \text{ kg.} \\ F_{I_{Lateral}} &= 42632.81 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Entonces se tiene:

$$F_w = F_D + F_I$$

$$F_{w[Frontal]} = 47353.61 \text{ kg}$$

$$F_{w[Lateral]} = 61980.96 \text{ kg}$$

3.7 FUERZAS GENERADAS POR CORRIENTES

La fuerza por corriente es en importancia por su magnitud y dirección, la y resulta ser una variable difícil de establecer debido a la combinación de fenómenos producidos por olas y viento. Su influencia está dada por la velocidad, porque a mayor velocidad, mayor será la fuerza de corriente que se obtenga en el cálculo. Además, vale decir que tanto corriente como olas, que están en cierta forma relacionados, pueden tener distintas direcciones, por lo que la fuerza por corriente marina puede verse mermada, o genere una corriente de mayor intensidad. Resultará impredecible el comportamiento en la medida de que ambos parámetros tomen una conducta diferente. La razón de lo anterior está en que las olas cambian constantemente, cuando se encuentran con una corriente.

El origen de las corrientes oceánicas se atribuye tres causa principales:

- Variaciones de la densidad en los senos de las olas.
- Vientos sobre la superficie de los mares.
- Desplazamientos de masas producto de mareas y ondas internas.

En el cálculo de esfuerzo por corriente se estima un “Factor de Reducción”, que es la relación entre la velocidad de la corriente tanto en la entrada como a la salida de un paño de red (Efecto Sombra).

$$F_C = 0.5 \rho A C_D V^2$$

Donde:

F_C =Fuerza de Arrastre en kg.

ρ =Densidad del agua en kg. s²/m⁴

A =Área normal al flujo en m².

C_D =Coeficiente de Arrastre (1.73 – 1.89). Sauters-Roe (1965).

V =Velocidad del fluido m²/s.

Entonces se tiene:

$$A_{Red} = 4 m n a d$$

Donde:

m= Numero de mallas verticales

n= Numero de mallas horizontales

a= Longitud del hilo en m.

d=Diámetro del hilo en m.

Si no se cuenta con la información del tipo de red que se utilizará, existe otra forma de estimar la superficie efectiva, consiste en calcular la superficie total del paño de la red expuesta y luego multiplicar por un factor de transparencia de 0.3.

Coeficiente de Drag o arrastre, ecuación empírica de Sauters-Roe (1965).-

$$C_d = 1 + 3.77 \left[\frac{d}{a} \right] + 9.37 \left[\frac{d}{a} \right]^2$$

Para este proyecto, se consideraron solo estimación, tanto para el Área expuesta y el Coeficiente de Drag o Arrastre (1.89).

De acuerdo a la corretometría Doppler desarrollada se obtienen los valores máximos de velocidades en cada capa, las cuales son utilizadas en el cálculo, estimándose un máximo de corriente.

3.7.1 OBTENCION CORRIENTE DE DISEÑO.

Existen distintas formas de calcular la velocidad que se utilizará en los cálculos de un sistema de fondeo, depende netamente de quien proyecte y bajo que normas y recomendaciones se rija. En Chile hoy en día no existe ningún ente regulador o normativo por el cual un Ingeniero o Dpto. de Ingeniería se deba registrar para efecto de cálculo de un sistema de fondeo de algún artefacto Naval.

En este caso en particular las consideraciones tomadas fueron las siguientes:

- A través de estudio de corrientes realizado se obtuvieron de los gráficos de dispersión las velocidades en sus peak máximos de acuerdo a la orientación del modulo en proyecto.

- Según Norma Noruega NS 9415.E y de la cual se hace referencia en cuanto a los factores de estimación a un periodo en años, se tiene lo siguiente:

Factor de Estimación de Corrientes a un período determinado.

Período de Estimación (Años)	1	10	50	100
Factor de Estimación	1.4	1.65	1.85	2.0

- Según lo anterior, se presenta cuadro resumen de obtención de corriente de diseño, tanto para el frontal como el lateral del set en proyecto.

		Frontal	Lateral
Capas	Profundidad	Velocidad S/direccion	Velocidad S/direccion
	mts.	cm/seg.	cm/seg.
Sup.			
1 a 11	1 a 23 m.		
Promedio		86.00	48.60
Factor Seguridad		1.65	1.65
Corriente Diseño		141.9	80.19

Se consideró como factor 1.65 como es lo recomendado para estimación de 10 años de retorno.(NS 9415.E).

Recordemos que dentro de este cálculo se considera 16 m. de profundidad de las redes, involucrando todo el volumen sumergido y superficies expuestas a la corriente.

Si bien existe un peak de corriente, este no se debe considerar como la corriente de proyecto, ya que como se hace mención anteriormente esta capa esta influenciada directamente con el Viento y olas, siendo además un punto aislado que incluso pudo ser ocasionado por alguna agente externo.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se tiene que el valor de la resistencia por fricción del módulo completo es:

$$F_C = 0.5 \rho A C_D V^2$$

$$\begin{aligned} F_{C_{Frontal}} &= 0.5 * 104.58 * A_{exp.} * 1.89 * 1.42^2 \\ F_{C_{Lateral}} &= 0.5 * 104.58 * A_{exp.} * 1.89 * 0.80^2 \end{aligned}$$

Se debe tener presente que existe una reducción de la velocidad de la corriente cuando el flujo pasa un paño de red (efecto sombra), este factor varía a medida que aumenta las jaulas en el sentido de la corriente.

Para el primer paño este factor de reducción es de 20% y del segundo hasta el octavo es de un 10% progresivamente, es decir que solo se consideran 4 jaulas en sentido longitudinal del modulo. H. Rudi 1993.

$$F_{Corriente[Frontal]} = 113784.2 \text{ kg}$$

$$F_{Corriente[Lateral]} = 80042.82 \text{ kg}$$

3.8 RESISTENCIA POR VIENTO

Para un sistema de cultivos flotantes balsas – jaula, la fuerza que ejerce el viento sobre la estructura debe considerar tanto la velocidad sostenida como la velocidad por ráfagas, además de observar poca estructura sobresaliente por encima del nivel del mar, se presume que las cargas por viento son pequeñas, no obstante si existe la presencia de grandes redes antipredadores aéreos, puede incrementarse su valor.

La velocidad del viento para diseño en lo posible debe ser obtenida en base a antecedentes históricos del lugar registrado en la estación meteorológica de El Tepual, pero como por lo general no es posible contar con esta información, se debe utilizar valores máximos

Para el cálculo de la resistencia por viento se considera un área expuesta de todos los elementos que están sobre la superficie del agua. Se hará una aproximación a las velocidades, utilizando como referencia la velocidad máxima a la cual puede ser sometido el módulo.

En el cálculo de esfuerzo por corriente se estima un “Factor de Reducción”, que es la relación entre la velocidad de la corriente tanto en la entrada como a la salida de un paño de red (Efecto Sombra).

Cabe señalar que la velocidad de viento que se utiliza para el cálculo es la que se obtuvo según la tabla BEAUFORT, que generaría la altura de ola calculada anteriormente

$$F_v = 0.611 C_h C_s A V^2$$

Donde:

F_v = Fuerza del viento en kg.

C_h = Coeficiente de altura. (No se aplica, para alturas menores a 9 m.)

C_s = Coeficiente de forma. (1.0, superficies planas)

A = Área proyectada del elemento en m^2

V = Velocidad del viento en m/s^2

Según lo anterior, el cálculo de esta fuerza considera los siguientes factores, como:

Velocidad del viento frontal. = 60.00 kn.

Velocidad del viento lateral. = 60.00 kn.

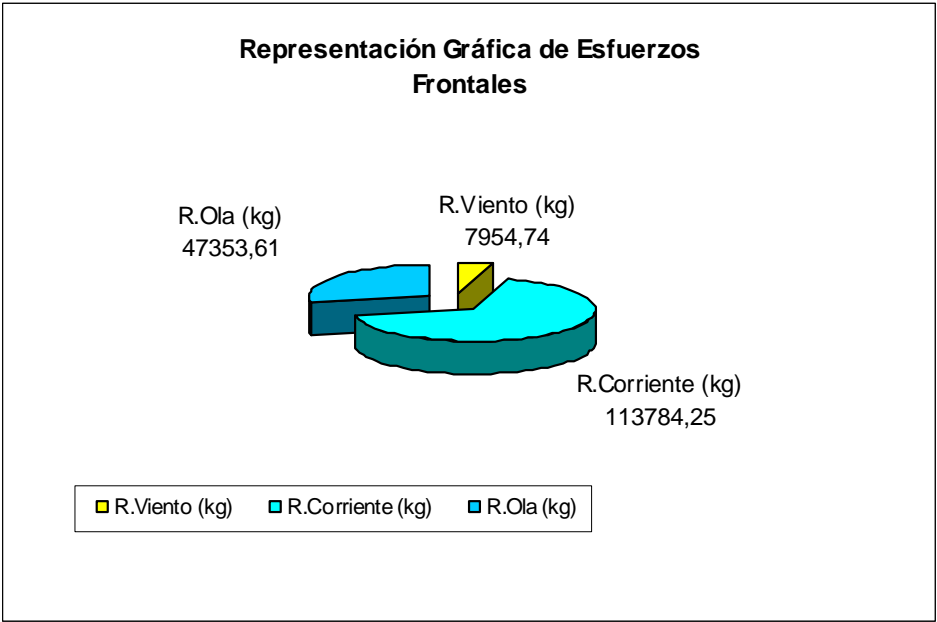
La fuerza por viento total será igual a:

$$F_{Viento[Frontal]} = 7954.74 \text{ kg}$$

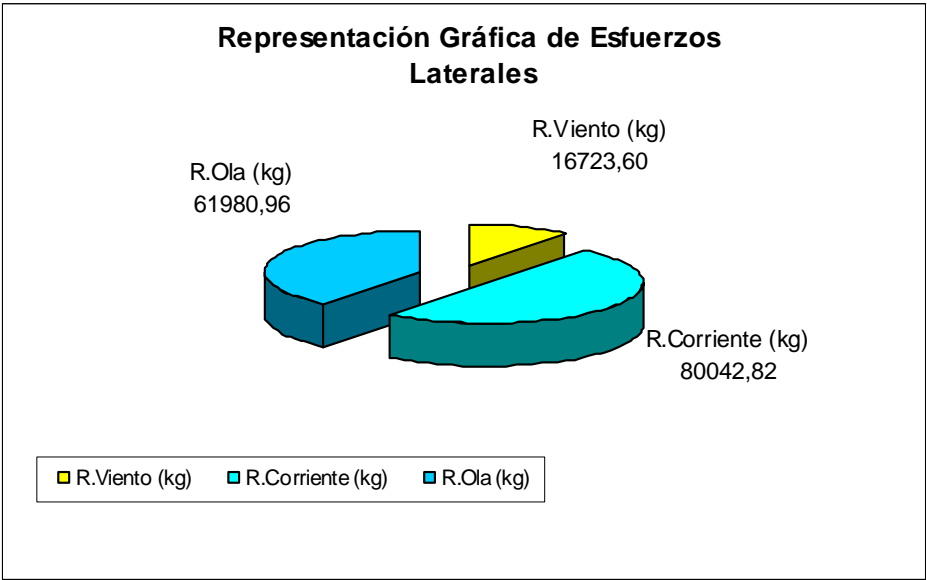
$$F_{Viento[Lateral]} = 16723.60 \text{ kg}$$

3.9 RESISTENCIA TOTAL EJERCIDA SOBRE EL MODULO

La resistencia total ejercida sobre el módulo es la suma de todas las resistencias obtenidas anteriormente.



Resistencia frontal del estudio: 169092.60 kg.



Resistencia lateral del estudio: 158747.38 kg.

3.9.1 CATEGORIA DEL SECTOR EN ESTUDIO SEGÚN NORMA NS 9415.E

Para asignar una categoría de lo expuesto del sector, se utiliza los cuadros de entrada que nos entregan la categoría del sitio, para luego aplicar un factor de seguridad global al cálculo de fuerzas.

Con la velocidad de corriente y altura de ola logramos una Clase del sector.

Altura de Ola Ho (m)	Velocidad de Corriente (m/s)				
	a 0.3	b 0.5	c 1.0	d 1.5	e >1,5
A 0,5	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae
B 1,0	Ba	Bb	Bc	Bd	Be
C 2,0	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce
D 3,0	Da	Db	Dc	Dd	De
E > 3,0	Ea	Eb	Ec	Ed	Ee

Categoría	Clase				
1	Aa	Ab			
	Ba				
2			Ac	Ad	Ae
		Bb	Bc	Bd	
	Ca				
3					Be
		Cb	Cc	Cd	Ce
	Da				
4		Db	Dc	Dd	De
	Ea	Eb	Ec	Ed	Ee

Categoría del Sitio	1	2	3	4
Factor de Carga	1	1.1	1.2	1.4

Cabe señalar que para otorgar un coeficiente de seguridad este se hace de forma independiente para la cabecera y el lateral.

3.9.2 TENSIÓN EN LAS LÍNEAS DE FONDEO

Para el módulo en cuestión, para neutralizar los esfuerzos que se presentan en el lado frontal y lateral de este, se dispuso de una configuración de 10 líneas frontales y 12 líneas laterales.

Cuadro Resumen de Fuerzas

	Fuerzas por Olas	Fuerzas por Corrientes	Fuerzas por Viento	Fuerza Total	Tensión por Línea en kg.
Frontal	47353.61	113784.25	7954.74	169092.60	22986.44
Lateral	61980.96	80042.82	16723.60	158747.38	18301.34

Determinación de Muertos.

De a cuerdo a la cantidad de líneas, pesos muertos y sus tonelajes respectivos, se realiza el cálculo de capacidad de carga del módulo para ambos lados en estudio, y comparado con la sumatoria de las cargas ambientales que afectan al módulo.

- El coeficiente de roce o eficiencia del peso muerto, que teóricamente por diferencias de densidades del material del peso muerto y el agua salada(peso sumergido), se obtiene el porcentaje que pesa el muerto sumergido en este medio, siendo 0.6 veces su propio peso aproximadamente.
- Se considerará efectuada la prueba de tracción para el frontal arrojando una eficiencia en este sentido de 0.75 veces su propio peso y en el lateral se tomará sin realización de dicho ensayo, es decir con 0.6 veces su propio peso.(Referencia: Pruebas realizadas por Walbusch S.A.)

De acuerdo a lo anterior y considerando un factor de 1.2 a todo el cálculo por fouling se tiene lo siguiente.

Tonelaje Muerto Solicitado Frontal Nor Este: 36778.31 kg.
Tonelaje Muerto solicitado Lateral Nor Weste: 36602.69 kg.

Por lo tanto se requiere por línea tanto en frontal como en lateral un tonelaje en peso muerto de 40.0 Ton., los cuales serán distribuidos en 2 pesos muertos por línea.

4.1.- MATERIALES A UTILIZAR

La cubicación de materiales tiene un rol primordial en la seguridad de los centros de cultivos, debido a la importancia al momento de decidir que tipo de material utilizar y en la buena calidad de todos los elementos que constituyen el sistema de fondeo.

Actualmente en el mercado existe una gama variada de proveedores de materiales de fondeo de distinta procedencia por lo cual se deben priorizar aquellos que estén debidamente certificados solicitando la mayor cantidad de información posible referentes a las propiedades mecánicas de cada elemento a utilizar y trabajar con los factores de seguridad recomendados.

RESUMEN LISTADO DE MATERIALES

Centro de Cultivos Punta Espinosa

Descripción	Cant.
Boyas 2000 lts	44
Boyas 1500 lts	20
Cabo 2 1/4"	30
Cabo 1 1/2"	1
Cable de Acero	
Estrobo 1 1/4" x 120 mts	8
Estrobo 1 1/4" x 100 mts	12
Estrobo 1 1/4" x 90 mts	12
Estrobo 1 1/4" x 70 mts	12
Cadena 32 mm	
Cadenas 32 mm x 6.8 mt	20
Cadenas 32 mm x 13,75 mt	44
Cadenas 32 mm x 27.5 mts	44
Herrajes	
Anillo GK 640 x 64	104
Grilletes 2"	88
Grilletes 1 1/2"	216
Grilletes 1 1/4"	84
G Cabo 1 1/2"	40
G Cabo 2 1/4"	88
Muerto 20 ton	44

A continuación se presenta un cuadro de los materiales utilizados en la configuración de las líneas de fondeo con sus respectivas cargas de ruptura promedio según diferentes fabricantes versus la tensión solicitada por cada línea.

			FRONTAL	LATERAL
	Diametro	Resistencia	Tensión por línea en kg.	Tensión por línea en kg.
Cabo	2.5"	64000 Kgs. a Ruptura.	22986.44	18301.34
Cable 6 x 17 AF	1 1/4"	61500 Kgs. a Ruptura	22986.44	18301.34
Cadena con Mallete	32 mm.	59400 Kgs. a Ruptura	22986.44	18301.34
Grillete Lira Grado 8	1 1/2"	102000 Kgs. a Ruptura	22986.44	18301.34
Grillete Lira Grado 8	2"	210000 Kgs. a Ruptura	22986.44	18301.34
Anillo Gk Roos	640 x 64 mm.	92350 Kgs. a Ruptura	22986.44	18301.34

Existen distintas recomendaciones referentes a los factores de seguridad en los distintos materiales tanto de normas como de los propios fabricantes quedando a criterios del ingeniero calculista cual utilizar en los distintos proyectos dependiendo de la cantidad de información y certificación que se tenga de cada material

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Con la información obtenida en el cálculo, podemos determinar si el sistema de fondeo cumple con las exigencias de cargas de trabajo de los elementos utilizados en cada línea; esto se traduce al comparar los materiales utilizados con la fuerza por línea de fondeo. Al evaluar las cargas de trabajo de cada elemento utilizado, se puede decir que cada línea cumple con la resistencia para la que fue proyectada, y no necesariamente está exenta de problemas, lo cual se puede controlar haciendo inspecciones a las instalaciones de forma regular.

Para realizar la iteración de datos, se utilizó las Fetch máximas obtenida de la Imagen Satelital Georeferenciada del sector donde se encuentra el centro de cultivo Punta Espinosa, tanto para el lado de las cabecera, como la del lateral, así haciendo el cálculo de espectro de ola según JONSWAP se obtuvieron los valores de alturas máxima de ola, con velocidades de viento según Escala BEAUFORT.

Para efecto del cálculo general se utilizó un factor de seguridad de 1.4, según categoría del sector. (Norma NS 9415.E), en el Frontal y Lateral.

Para corroborar los coeficientes de seguridad se recomienda realizar pruebas de tracción de acuerdo a la eficiencia de los pesos muertos utilizados en este estudio.

Cabe destacar que el cálculo considera la presencia de las condiciones adversas del viento, corriente y olas, actuando todas a la par en la misma dirección y sentido, tanto en la parte emergente como sumergida de los módulos considerados.

Recomendaciones

Debido a que es un módulo metálico de gran envergadura, las fuerzas actuantes del medio así como el exceso de adherencia de fouling muchas veces, pueden hacer que el sistema de fondeo colapse cuando una de sus líneas se corta, produciendo un efecto en cadena inmediatamente, ya que todas las demás líneas son diseñadas e instaladas para una cierta capacidad de trabajo (tensiones).

Se recomienda realizar inspecciones y mantenciones regularmente para prevenir posibles accidentes en las líneas de fondeo.

Cabe señalar que el ángulo de incidencia de la línea de fondeo hacia el fondo, hace variar la tensión entre una y otra línea de fondeo, esto es debido a la batimetría del lugar y la profundidad en que se deposita el muerto. En consecuencia hay que prevenir posibles fallas por fatiga de material, realizando inspecciones y mantenciones de las líneas de fondeo.

Se hace necesario utilizar tonelajes de peso muertos de forma uniforme en todas las líneas que componen los lados del modulo, esto es debido a que los muertos que tienen un menor tonelaje puedan sufrir corrimientos, disminuyendo la eficiencia de los otros muertos, produciendo de esta forma una reacción en cadena, lo que finalmente se refleja en el corrimiento de casi la totalidad de los pesos muertos del lado del módulo afectado.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Norma Noruega NS. 9415 E año 2004.
- Lloyd's Register of Shipping año 1992.
- Det Norke Veritas año 1988.
- "Estado del Mar y Fuerza Beaufort" SHOA año 2008.
- Revista de Obras Publicas, España año 1982.
- Offshore Mariculture: "Mooring System Design". R. Turner.
- "Certification of Offshore Wind Farms" Germanischer Lloyd año 1995.
- World Aquaculture 2005 "Parametric System for the Calculation of the Mooring of Cages for the Fish Culture".
- Artículo Técnico "Calculo de Esfuerzos en Jaulas de Cultivo y Líneas de Fondeo". Presentado en XLV Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval en Madrid en octubre de 2006.
- "Energía de las Olas". Universidad de Cantabria.
- Seminario: "Ingeniería y Acuicultura un Desafío de Hoy con Proyección de Futuro". Realizada en la Universidad Austral de Chile, relator Dr. José Núñez Basañez Universidad Politécnica de Madrid.
- Apuntes de "Elementos de Hidrodinámica Naval (I y II)". Nelson Pérez, Universidad Austral de Chile.