

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS DE GRADO  
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

**TÍTULO:**

“ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL  
PROBLEMA DE SEDIMENTACIÓN Y FALLAS EN EL ESPIGÓN  
DEL PUERTO PESQUERO ARTESANAL DE SAN MATEO”

**AUTOR:**

BASURTO BRAVO ROBERTH DANIEL

**DIRECTOR DE TESIS:**

ING. GERMÁN ANDRADE VÉLEZ

**2015**

MANTA – ECUADOR

## **CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS**

Ing. German Andrade catedrático de la Facultad de Ingeniería – Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí en calidad de Director de Tesis.

CERTIFICO: Que el egresado de la Carrera de Ingeniería Civil BASURTO BRAVO ROBERTH DANIEL, ha cumplido con el desarrollo de su Tesis Titulada: *“Análisis de los factores que influyen en el problema de sedimentación y fallas en el espigón del Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo”*.

La misma que ha sido desarrollada y concluida en su totalidad bajo mi dirección, habiendo cumplido con todos los requisitos y reglamentos para este efecto se requiere.

---

ING. GERMÁN ANDRADE VÉLEZ

## **DECLARACIÓN DE AUDITORIA**

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis correspondes exclusivamente al autor.

---

Basurto Bravo Roberth Daniel

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este logro a lo mejor que me ha pasado en la vida que son mis dos hijas, que fueron la razón primordial para no rendirme y poder llevar a cabo este logro y se sientan orgullosos de su padre.

A mi esposa Bárbara Alarcón, por estar alado mío apoyándome y darme fuerzas para no desfallecer en la difícil situación en la trayectoria del proceso formativo como profesional.

A mis padres Magaly B. y Daniel B. que bajo ciertas circunstancias diferentes de la vida supieron darme el apoyo y aconsejarme para no dejarme llevar por las malas influencias, y así poder alcanzar mi sueño de ser profesional y poder darles el orgullo de ver su obra terminada.

A toda mi familia que supo creer en mí y brindarme su apoyo incondicional en este proceso exitoso.

Y sobre todo a Dios por tener a toda mi familia, compañeros y conocidos con salud y vida, que son parte importante en mí vivir.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios por tenerme con vida y así poder cumplir con la meta que tenía trazada, evitar que me rinda y me dé por vencido en mi camino hacia la vida profesional.

A toda mi familia que día a día me apoyaba y me aconsejaba, estuvo en mis buenos y malos momentos, siempre creyeron en mí y nunca me abandonaron en mi proceso a la grandeza.

A mi director de tesis, Ing. Germán Andrade por brindarme su valioso tiempo para poder impartir su conocimiento, apoyo incondicional con el cual puedo terminar con éxito un proceso más en mi camino como profesional.

A todos mis amigos por todo su apoyo y brindarme su amistad en este trayecto universitario, donde aprendimos a levantarnos luego de cada caída y nunca rendirnos.

Al grupo de profesores que supieron tener paciencia y brindarnos sus conocimientos para poder convertirnos en profesionales y poner en práctica sus enseñanzas en la vida profesional.

También a la prestigiosa institución como es la Universidad “Laica Eloy Alfaro” de Manabí que nos acogió y nos dio la oportunidad para superarnos y ser un profesional más en nuestra sociedad.

Muchas gracias y que Dios los bendiga.

## **RESUMEN**

Debido a que las obras portuarias están sometidos a los distintos fenómenos meteorológicos, es importante elaborar estudios de factibilidad y diseño, el cual cumpla con las normas internacionales y que el proyecto sea viable al desarrollo de la zona en que se encuentra. Existen factores meteorológicos que son de suma importancia al momento de la construcción de un muelle, y la falta de especificaciones técnicas en nuestro país, nos conlleva a optar el uso de normas internacionales, que en su mayoría son interpretadas de manera distintas, con las cuales se cometen errores al momento de diseñar y construir, que a futuro terminan por encarecer el proyecto por mitigar errores o más grave aún quedan como obras defectuosas.

## **ABSTRACT**

Due to the fact that the port works are submitted to the different meteorological phenomena, it is important to elaborate studies of feasibility and design, which expires with the international procedure and that the project is viable to the development of the zone in which she is. There exist meteorological factors that perform supreme importance to the moment of the construction of a wharf, and the lack of technical specifications in our country, he carries us to choosing the use of international procedure, which in the main are interpreted of way different, with which mistakes are committed to the moment to design and construct, that to future end for putting up the price of the project for mitigating mistakes or more seriously still to stay as defective works.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	8
<b>1. OBRAS PORTUARIAS Y SU RELACIÓN CON LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS</b> .....	8
1.1. Espigón.....	8
1.1.1. Espigones de escollera en muelles. ....	8
1.2. Factores meteorológicos y oceanográficos presentes en una obra portuaria. ....	8
1.2.2. Viento. ....	9
1.2.2.1. Vientos Temporales. ....	10
1.2.2.2. Vientos Extremos. ....	10
1.2.3. Corrientes Oceánicas. ....	10
1.2.3.1. Corrientes Superficiales. ....	11
1.2.3.2. Corrientes Subsuperficiales. ....	11
1.2.4. Mareas. ....	11
1.2.5. Olas.....	12
1.3. Área de Investigación.....	12
1.4. Geología. ....	13
1.4.1. Morfología de la Costa. ....	13
1.5. Oceanografía y procesos costeros. ....	14
1.5.1. Meteorología. ....	14
1.5.1.1. Temperatura del aire.....	14
1.5.1.2. Temperatura Superficial del mar.....	15
1.5.1.3. Vientos.....	16
1.5.1.4. Olas.....	16
1.5.1.5. Mareas.....	17
1.5.1.6. Transporte Litoral.....	18



1.5.2.	Características de la costa y transporte litoral en San Mateo.....	19
1.5.2.1.	Transporte de Arena. ....	19
1.6.	Métodos de Medición y cálculo para los factores Meteorológicos. ....	21
1.6.1.	Vientos Temporales y Extremos.....	21
1.6.1.1.	Distribución de Gumbel.....	22
1.6.2.	Oleajes. ....	22
1.6.3.	Corrientes.....	23
1.7.	Protección del Espigón. ....	23
1.7.1.	Enrocado de protección.....	23
1.7.2.	Espigón de Escollera en San Mateo.....	24
1.7.2.1.	Material Usado y Características. ....	24
1.7.2.2.	Diseño de Rompeolas.....	24
CAPITULO 2	.....	26
2.	OBTENCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS Y FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FALLA DEL PUERTO PESQUERO SAN MATEO.....	26
2.1.	Calculo y medición de los factores meteorológicos presentes en el Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo. ....	26
2.1.1.	Vientos Temporales y Extremos.....	26
2.1.1.1.	Vientos Temporales. ....	26
2.1.1.2.	Vientos Extremos. ....	29
2.1.2.	Oleajes. ....	31
2.1.2.1.	Altura de Olas. ....	32
2.1.2.2.	Periodo de Ola. ....	33
2.1.2.3.	Dirección de Oleajes. ....	34
2.1.2.4.	Olas Extremas.....	34
2.1.2.5.	Ola de Diseño San Mateo. ....	35
2.1.3.	Corrientes.....	36

2.1.3.1.	Corrientes Superficiales y Subsuperficiales. ....	36
2.1.4.	Transporte Litoral. ....	38
2.2.	Coraza de Protección.....	41
2.2.1.	Calculo de Diámetro de Piedra.....	41
2.2.1.1.	Formula general de Iribarren.....	41
2.2.1.2.	Formula Hudson modificada. ....	42
2.2.1.3.	Formula Del US. Army Corps of Engineers.....	42
2.2.2.	Medición de Campo de la Coraza de Protección del Brazo Largo.	43
	43	
CAPÍTULO 3	.....	45
3.	ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS Y FACTORES QUE OCASIONAN LA SEDIMENTACIÓN Y FALLAS EN EL ESPIGÓN. ....	45
3.1.	Comparación de Variables Oceanográficas.....	45
3.1.1.	Altura de Olas y Vientos. ....	45
3.1.2.	Corrientes Superficiales y Vientos.....	45
3.1.3.	Dinámicas Litorales y Vientos.....	45
3.1.4.	Oleajes y Transporte Litoral. ....	45
3.2.	Factores que Inciden en la Sedimentación Acelerada del Puerto Artesanal de San Mateo. ....	46
3.2.1.	Transporte Litoral. ....	46
3.2.2.	Erosión Eólica.....	48
3.2.3.	Oleajes. ....	49
3.3.	Fallas en el Espigón.....	50
3.3.1.	Coraza de Protección del Espigón. ....	50
3.3.1.1.	Diseño de la Sección Unitaria de la Piedra de Defensa.....	50
3.3.1.2.	Método Constructivo para la ubicación de la Piedra de Coraza.	51
CONCLUSIONES	.....	53
RECOMENDACIONES	.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estadística mensual de vientos (m/s) .....	26
<b>Tabla 2.</b> Periodos de retorno-velocidad del viento.....	31
<b>Tabla 3.</b> Ubicación geográfica de las estaciones de San Mateo.....	31
<b>Tabla 4.</b> Ángulos de arribo y alineación de las olas a la playa.....	34
<b>Tabla 5.</b> Altura de ola máxima en aguas abiertas san mateo .....	35
<b>Tabla 6.</b> Condiciones extremas de rompiente de las olas en San Mateo .....	35
<b>Tabla 7.</b> Parámetro de altura de ola San Mateo .....	36
<b>Tabla 8.</b> Velocidades de corrientes superficiales u subsuperficiales .....	37
<b>Tabla 9.</b> Volumen transportado por corriente litoral .....	40
<b>Tabla 10.</b> Calculo peso de la piedra de diseño .....	43
<b>Tabla 11.</b> Medición de campo de la piedra coraza-brazo largo .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso de la deriva litoral .....	9
<b>Figura 2.</b> Diferentes tipos de corrientes oceánicas.....	11
<b>Figura 3.</b> Área de investigación .....	13
<b>Figura 4.</b> Temperatura anual del aire .....	15
<b>Figura 5.</b> Temperatura anual superficial del mar .....	15
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de ocurrencia de altura de ola .....	16
<b>Figura 7.</b> Porcentaje de ocurrencia del periodo de ola .....	17
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de ocurrencia de dirección de ola .....	17
<b>Figura 9.</b> Comparación de mareas media-máxima.....	18
<b>Figura 10.</b> Detalle del diseño estructural del espigón.....	25
<b>Figura 11.</b> Dirección de vientos por temporada.....	28
<b>Figura 12.</b> Dirección de vientos predominantes .....	29
<b>Figura 13.</b> Relación de vientos y duración .....	30
<b>Figura 14.</b> Detalle de la ubicación de estaciones .....	32
<b>Figura 15.</b> Porcentaje de ocurrencia de altura de ola san mateo .....	33
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de ocurrencia de periodo de ola san mateo .....	33
<b>Figura 17.</b> Veletas a la deriva, bahía San Mateo.....	37
<b>Figura 18.</b> Dirección corriente litoral.....	38
<b>Figura 19.</b> Muelle en la actualidad.....	47
<b>Figura 20.</b> Trayecto del transporte litoral.....	48
<b>Figura 21.</b> Sedimentación en el morro del espigón del brazo largo.....	48
<b>Figura 22.</b> Refracción de olas en el morro del brazo largo .....	49
<b>Figura 23.</b> Transporte de arena por corriente litoral y oleaje .....	50
<b>Figura 24.</b> Medición de campo geometría de la piedra coraza.....	51
<b>Figura 25.</b> Forma aplanada de la piedra coraza .....	52
<b>Figura 26.</b> Proceso constructivo utilizado .....	52
<b>Figura 27.</b> Panorámica de la sedimentación lateral.....	Anexo
<b>Figura 28.</b> Sedimentación interna morro brazo largo .....	Anexo
<b>Figura 29.</b> Sedimentación interna esquina plataforma .....	Anexo
<b>Figura 30.</b> Sedimentación interna acceso al muelle .....	Anexo
<b>Figura 31.</b> Modelo de coraza actual .....	Anexo

## INTRODUCCIÓN

La construcción de rompeolas en el país tiene una gran importancia en el ámbito económico y de desarrollo, ya que se cuenta con amplio territorio costanero en el cual existen áreas aptas para la construcción de muelles pesqueros o turísticos, con suficiente calado para tener obras de primer nivel. Por ser obras de altos volúmenes de materiales, tienden a ser costosas ya que las costas se ven afectadas por fuertes oleajes, por ello se necesitan materiales que sean capaces de soportar los distintos fenómenos de la naturaleza y el continuo paso del tiempo.

A nivel mundial muchos países carecen de material pétreo apto para la construcción de una obra portuaria, por la cual se ven en la necesidad de adquirir grandes bloques de hormigón como protección en un puerto marítimo, elevando los costos del proyecto de manera significativa, en el país existe la facilidad de contar con diferentes canteras que proveen material para la construcción de obras portuarias, como es el caso de la piedra sedimentaria o piedra escollera (nombre común usado en el medio), el cual facilita en tiempo y en dinero la construcción de una obra portuaria.

El objetivo de la construcción de un rompeolas es crear una zona de mar en tranquilidad en la que las lanchas se puedan sujetar con seguridad durante períodos meteorológicos hostiles. Es por lo tanto, importante para la comunidad local que el rompeolas sea capaz de soportar el impacto de las olas normalmente propias de la zona.

Es muy importante saber la altura de la ola, ya que el valor fundamental para el diseño de la coraza es la altura de la ola promedio de los agujajes, que ayudara a conocer el peso de la piedra o elemento artificial que servirá de coraza de protección que soportara el continuo golpe de las olas, sin olvidar el debido proceso de colocación entre piedra.

La erosión eólica es provocada por el viento que remueve el suelo o desgasta las rocas, este puede mover grandes cantidades de polvo y ya que la arena se encuentra distribuida por todas las superficies terrestres, es el causante principal de la sedimentación superficial. Las intensas corrientes marinas son capaces de mover sedimentos gruesos como la arena que son depositados en las costas, a esta acción se la conoce como sedimentación sub superficial.

Por ello es importante realizar un estudio de los sedimentos superficiales y sub superficiales del fondo marino y de aquellos que se encuentran suspendido en la columna de agua, en el área donde se tiene planificado realizar una obra portuaria. Otro aspecto importante es saber las características y forma del fondo marino, ya que la sedimentación es inevitable se deberá realizar una exhaustiva batimetría que además de utilizarse para sacar los volúmenes de material en la construcción de un muelle y tipo de embarcaciones que podrán arribar en ella, será un dato fundamental para conocer la sedimentación admisible que puede soportar el muelle sin perder el calado efectivo.

### **PROBLEMA CIENTÍFICO**

- ¿Cuáles son los factores meteorológicos y constructivos, que provocan problemas de sedimentación y fallas en el espigón del puerto pesquero artesanal de San Mateo?

### **OBJETO**

- Factores meteorológicos y constructivos que influyen en una obra portuaria.

### **CAMPO DE INVESTIGACIÓN**

- Ingeniería portuaria.

### **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

La elección de una correcta ubicación de una obra portuaria, demanda una exhaustiva investigación sobre los factores meteorológicos que predominan en la zona y se ve afectada en los diferentes periodos estacionales.

En época invernal las fuertes lluvias alteran el flujo de los ríos, grandes cantidades de sedimentos son transportados por las fuertes corrientes de agua que circulan en el rio hasta llegar a una desembocadura. Por ello en muchos países se comete el error de construir muelles cerca de las desembocaduras de los ríos, la cual es un grave error debido a la cantidad de sedimentos que expulsan, que son capaces de inhabilitar un muelle en poco tiempo.

También es común en época de verano los fuertes vientos erosionen los suelos desplazando grandes cantidades de polvo, por lo general esto sucede con material suelto que se encuentra cerca del proyecto.

Otro factor a considerar son los distintos tipos de aguajes, ya que la posición del rompeolas o muro de protección debe soportar la intensa fuerza de la naturaleza, que es variable por temporadas y la orientación de las olas

golpearan el muelle en distintas direcciones dependiendo de la sensibilidad de recibir los aguajes.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Analizar los factores que influyen en el problema de sedimentación y fallas en el espigón del puerto pesquero artesanal de San Mateo

### **Objetivos Específicos**

- Establecer los factores meteorológicos que influyen en el problema de sedimentación.
- Identificar los procesos de diseños y construcción que presentan fallas en el espigón.

## **HIPÓTESIS**

El estudio de los factores meteorológicos y análisis de los procesos constructivos, permitirá establecer las principales causas de la sedimentación y fallas en el espigón.

## **VARIABLES**

### **Variable Independiente**

- Factores meteorológicos, ubicación y diseño del rompeolas del Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo.

### **Variable Dependiente**

- Sedimentación y fallas en el espigón.

## **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Investigación explicativa: En este tipo de investigación se busca el porqué de la rápida sedimentación y falla del espigón, estableciendo relaciones causas-efectos.

## **MÉTODOS**

- **Método Descriptivo:** Este comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos.

Se describirá los diferentes efectos que producen los factores meteorológicos en el muelle, con su respectivo registro de periodo

estacional. Se analizará todas las variables que vienen provocando todos estos factores y el daño pueden provocar.

- **Método Histórico:** que es aplicable a cualquier disciplina científica, su objetivo primordial es una búsqueda crítica de la realidad y la verdad, en la que sustentan los acontecimientos del pretérito.

### **TÉCNICAS**

- Se observarán los diferentes cambios climatológicos que van alterando la geografía de la zona, dichas alteraciones serán registradas y analizadas para tener un mejor concepto de lo que está sucediendo.
- Se entrevistara a la consultora que estuvo encarga de los estudio y diseño del Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo SINECUANON, para recopilar información sobre factores que pondrían en riesgo la funcionalidad del muelle.

### **PROCEDIMIENTOS**

#### **Estudio de Olas.**

El estudio de olas tendrá los siguientes objetivos:

- Determinar el clima de oleaje operacional en el sitio de interés del proyecto.
- Determinar el oleaje de diseño en el sitio de interés del proyecto.
- Identificar y caracterizar la presencia de olas de largo período, cuando lo requieran las características del proyecto (maniobrabilidad de buques, diseños de puertos, agitación de dársenas, entre otros).

El estudio de olas deberá ser consistente para establecer los valores de diseño y operación de obras portuarias y costeras, como asimismo, para aspectos de operación de naves, seguridad, navegación y en lo relativo a su incidencia en los procesos de sedimentación y erosión. En el caso de realizar una modelación numérica de oleaje, deberá incluir todos los fenómenos que determinan las condiciones del proyecto, según corresponda, como por ejemplo: difracción, reflexión y reducción de fondo para el oleaje, niveles de marea y la influencia de vientos.

El informe deberá contener una descripción del área de estudio, origen del estudio y sus objetivos, fuentes de datos e información, y cualquier otro



antecedente que permita establecer el marco conceptual en el cual se desarrolló el trabajo.

Asimismo, se deberá indicar una descripción de los equipos utilizados durante el trabajo de terreno y sus rangos de operación y exactitud, metodologías empleadas, descripción del modelo, posicionamiento del instrumental, niveles de confianza y grados de libertad en el análisis espectral, y otros antecedentes que permitan reproducir el trabajo de terreno y el procesamiento en oficina.

### **Estudio de Marea**

El estudio de marea tendrá como objetivo la determinación de los valores característicos de dicho fenómeno, a ser utilizado en el diseño de ingeniería costera.

Para estos efectos, se realizarán observaciones continuas del nivel del mar en el área de emplazamiento de la obra proyectada.

En el caso que las observaciones de nivel del mar se requieran para relacionar con otras mediciones oceanográficas (como por ejemplo con corrientes), las mediciones deberán ser simultáneas, imposibilitando por lo tanto, el uso de datos colectados en otras fechas.

El estudio de marea tendrá como objetivo la determinación de los valores característicos de dicho fenómeno, a ser utilizado en el diseño de ingeniería costera.

### **Estudios de Corriente**

El estudio de corrientes tendrá como objetivo realizar una caracterización de éstas, y determinar el patrón de circulación en el área de interés.

Para el caso de la medición de corrientes para proyectos portuarios es necesario conocer las corrientes que afectan a la obra viva de las naves de diseño. Se medirán y procesarán las corrientes en una profundidad de al menos la mitad del calado a plena carga de la mayor nave de diseño del proyecto.

### **Estudios de Vientos**

El estudio de vientos tendrá los siguientes objetivos:

- Determinar el clima de viento operacional en el sitio de interés del proyecto.
- Determinar el viento de diseño en el sitio de interés del proyecto.

El estudio de vientos deberá ser suficiente para establecer los valores para el diseño de ingeniería y para la operación segura de naves.

Para hacer el estudio de vientos se deberá recurrir a bases de datos que son propiedad del Servicio Meteorológico Inocar. El informe del estudio de vientos debe contener al menos la siguiente información:

- Una tabla con al menos 8 columnas de direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de viento, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación, para el resumen de todo el largo de la base de datos.
- Una tabla de al menos 8 columnas de direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de viento, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación, para el promedio de cada uno de los meses del año de la base de datos, de tal manera de identificar la estacionalidad anual.
- Una tabla de al menos 8 columnas de direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de viento, para 6 horas discretas del día, separadas cada 4 horas, conteniendo la frecuencia de ocurrencia de cada combinación en cada una de estas horas, para el resumen de todo el largo de la base de datos, de tal manera de identificar la estacionalidad diaria.
- Para todo el largo de la base de datos, la identificación de la máxima velocidad de viento registrada para cada dirección.
- Análisis estadístico de los valores extremos que resulte en una estimación de las máximas velocidades de viento con períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, debe incluirse el error asociado al cálculo

En el capítulo 1, se presenta un análisis de los principios necesarios para la interpretación y dirección general de esta tesis, definiendo conceptos y fenómenos atmosféricos presentes del área de estudio.

Capítulo 2, se presenta la metodología de obtención de datos de los fenómenos y sus características, cálculo de los principales elementos de protecciones y su respectiva comparación con lo realizado en obra. Es en este capítulo donde se presenta toda la información obtenida.

El capítulo 3, comprende el análisis de resultado de las técnicas de investigación (observación, entrevista y comparación), detalla los fenómenos y su interacción al momento de actuar conjuntamente entre sí. Luego detallamos la conclusión y recomendaciones para proyectos a futuro.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. OBRAS PORTUARIAS Y SU RELACIÓN CON LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS.**

#### **1.1. Espigón.**

Un espigón u obra fluvial deflectora es una estructura construida con grandes cantidades de rocas de considerable tamaño o elementos artificiales creados por el hombre, que se asemejan a las rocas.

Su función va desde ampliar el flujo en varias direcciones determinadas, como es en ríos o disipar la energía de las olas en las costas marítimas.

##### **1.1.1. Espigones de escollera en muelles.**

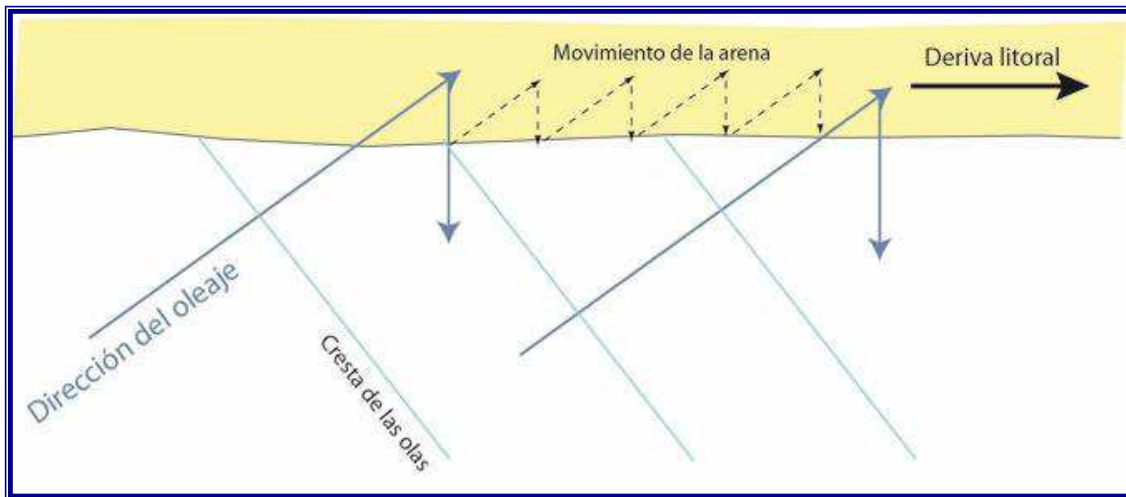
Los espigones de escollera en muelle por lo general se los construye para salvaguardar las inversiones realizadas, su función va desde protección de los distintos fenómenos atmosféricos que inciden en las costas tales como agujajes, huracanes y más, hasta intermediario de carga y descarga para la exportación, así como también la importación.

Estas estructuras por defecto siempre van a estar en constante afectación por el medio climático, por la cual conllevan a una serie de problemáticas que afectan las obras portuarias.

#### **1.2. Factores meteorológicos y oceanográficos presentes en una obra portuaria.**

##### **1.2.1. Dinámica Litoral.**

Deriva litoral es un proceso de transporte de material a lo largo de toda la costa. Esto produce que los sedimentos transportados tengan una dirección angular oblicuo, en relación a la orilla del mar, la cual depende significativamente de la dirección del viento.



**Figura 1.** Proceso de la deriva litoral

**Fuente:** Itinerarios Geológicos Virtuales

La deriva litoral distribuye los sedimentos a lo largo de la costa. Si el aporte sedimentario permanece inmutable, habrá un equilibrio a lo largo del perfil costanero, pero si el aporte sedimentario decrece, puede producir erosión al perfil costanero, así mismo si cualquier impedimento que interfiera al movimiento de sedimentos tales como un puerto, producirá sedimentación en la parte trasera (respecto a la dirección de la deriva litoral) y una erosión acentuada en la parte delantera de la misma.

Cuando hay una dirección de oleaje dominante el sistema costero no devuelve el material de sedimento a su posición original, sino que los desplaza en un sentido determinado. La velocidad de la deriva es mínima fuera de la zona de rompiente, lo que demuestra claramente que es inducida por el oleaje y no puede ser atribuida a corrientes oceánicas o corrientes de marea.

### **1.2.2. Viento.**

Es la dinámica de concentración de aire en la atmósfera en tendencia horizontal.

En la Tierra, las variaciones en la distribución de presión y temperatura se deben, en gran medida, a la distribución desigual del calentamiento solar, junto a las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas. Cuando las temperaturas de regiones adyacentes difieren, el aire más caliente tiende a ascender y a soplar sobre el aire más frío y, por tanto, más pesado.

Los vientos generados de esta forma suelen quedar muy perturbados por la rotación de la Tierra. (Enriqueta Elizondo Hernández, 2011)

Los tipos de vientos a considerar son:

#### **1.2.2.1. Vientos Temporales.**

Los vientos regionales son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales

Los vientos regionales imprimen atributos específicos a las condiciones climáticas de una zona, convirtiéndose, en ocasiones, en el elemento climático más significativo de las mismas.

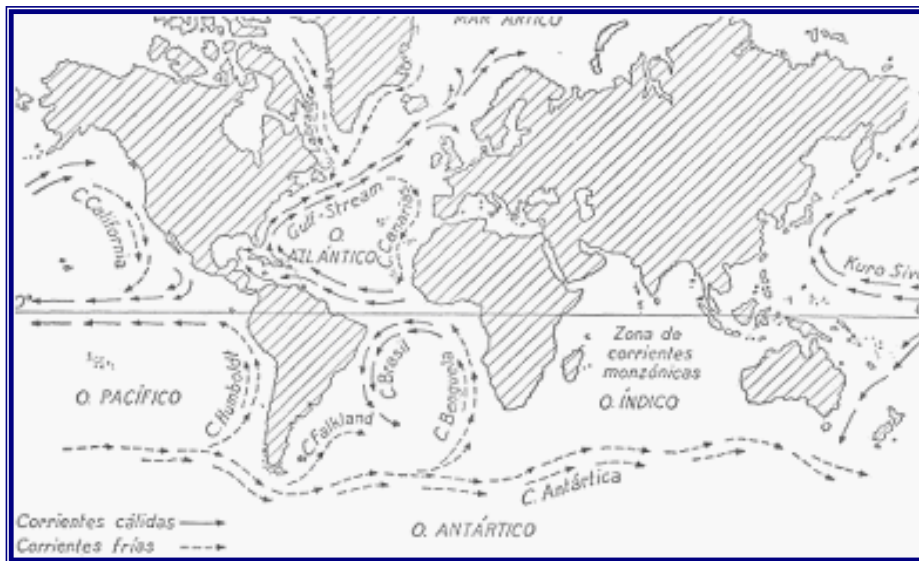
#### **1.2.2.2. Vientos Extremos.**

Se originan en zonas con ejes transitorios de presión y son siempre variables. Se logra mencionar a los ciclones que generalmente se desarrollan sobre océanos tropicales debido al movimiento de rotación, formando una espiral ascendente que origina nubes que producen lluvias.

#### **1.2.3. Corrientes Oceánicas.**

Las corrientes marinas son masas de agua con dinámicas propias dentro de los océanos con calados diversos y con determinadas trayectorias, producidos por factores diversos, como la acción del viento, de las mareas y de las diferencias de densidad de 2 masas de agua.

El movimiento del océano es originado por la fricción del viento, gravedad, gradiente de presión, rotación de la tierra e interferencia de los continentes; e indirectamente por la intervención de la radiación solar. En la Tierra, las variaciones en la distribución de presión y temperatura se deben, en gran medida, a la distribución desigual del calentamiento solar. (Camilo Werlinger, 2004)



**Figura 2.** Diferentes tipos de corrientes oceánicas

**Fuente:** GEOGRAFIA FISICA - Océanos y mares

#### **1.2.3.1. Corrientes Superficiales.**

Son las corrientes que se ven afectadas por los vientos predominantes. Estas corrientes intervienen de manera significativa en el clima, graduando la temperatura de las zonas por donde transitan.

#### **1.2.3.2. Corrientes Subsuperficiales.**

Estas corrientes son las que transitan bajo las corrientes superficiales, los mecanismos de forzamiento varían para estos tipos de corrientes que son:

- Densidad
- Salinidad
- Temperatura
- Turbiedad
- Ekman Espiral
- Hundimiento

#### **1.2.4. Mareas.**

Es la dinámica del agua originada por la gravedad que la luna realiza sobre nuestros mares y produce una fuerte atracción del océano hacia el astro. Esto produce variaciones del nivel del mar.

Otros factores que pueden contribuir a cambios mayores del nivel del mar son: Tormentas, efecto de la corriente del niño y la elevación global del nivel del mar.

### **1.2.5. Olas**

Las olas son ondas que desplazan por la superficie del nivel del mar y su formación influyen diferentes factores, tales como:

- Variación de presión atmosférica
- La configuración y profundidad del fondo marino
- La salinidad
- Temperatura
- La fuerza generatriz del viento

Exceptuando el movimiento de placas tectónicas, erupciones volcánicas, deslizamientos de grandes cantidades de tierras hacia el mar, que son factores ajenos a los que se producen en el océano.

### **1.3. Área de Investigación.**

El sitio de investigación es el muelle artesanal de San Mateo; y se encuentra ubicado en dirección W-SW de la ciudad de Manta. Las coordenadas métricas (UTM) del muelle, bajo el sistema geográfico mundial WGS 84: (Sentido Horario).

Ubicación Geográfica del muelle de San Mateo

Coordenadas UTM

Este	Norte
520.933	9'894.272





**Figura 3.** Área de investigación

**Fuente:** Google Earth

#### **1.4. Geología.**

La unidad geológica es parte de la placa continental que desciende mar adentro formando la plataforma oceánica; debido a la proximidad con la zona de subducción submarina con la placa de Nazca convierten toda el área en una zona de alto riesgo sísmico. Geológicamente, la zona que abarca todo el lugar de estudio, es parte de la Formación Tablazo y de la formación San Mateo, cuya Litología corresponde a Terrazas Marinas bioclásticas; correspondientes al Periodo Cuaternario (QT).

##### **1.4.1. Morfología de la Costa.**

En el sitio donde está implantado el muelle pesquero existen acantilados medianos a baja altura y playas arenosas bajas. La plataforma en la Bahía de San Mateo es rocosa, que con marea baja se descubre. En la Bahía de San Mateo existe el aporte de sedimentos de un río que sólo se forma en época invernal.

## **1.5. Oceanografía y procesos costeros.**

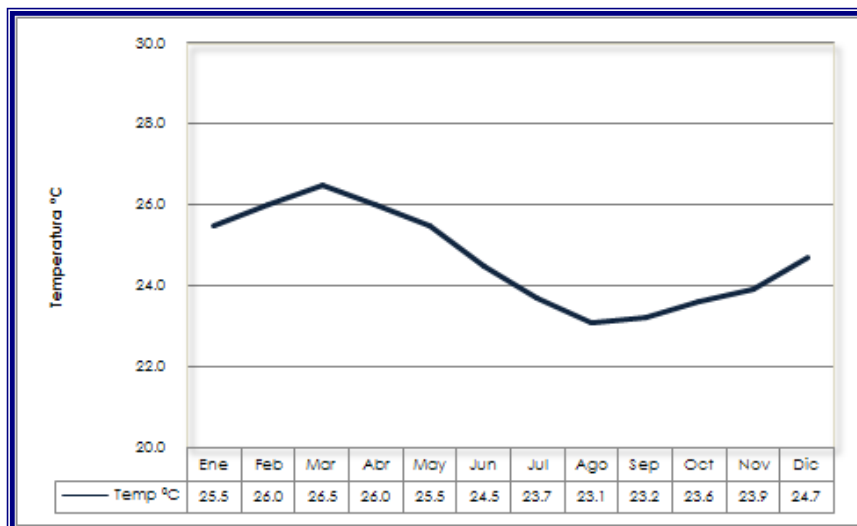
### **1.5.1. Meteorología.**

El estudio del régimen normal de la presión atmosférica que actúa sobre el Océano Pacífico, con énfasis en el área Noreste del Pacífico Sur, es primordial por su relevancia en la generación de vientos que perturban nuestras playas. En etapa normal, la circulación atmosférica en el Océano Pacífico está gobernada por centros de alta presión del hemisferio Norte y Sur, ubicadas alrededor del 35°N-140°W y 30°S-50°W, respectivamente. Estos centros anticiclónicos cambian de posición durante el año; siendo el más variable en posición el centro de presión del Pacífico Norte y son los que inciden particularmente en el área de estudio, aproximadamente entre los meses de diciembre a mayo.

A nivel local, la mayoría de los vientos en el área de estudio (brisas marinas) se producen por el cambio de temperatura del aire que se encuentra en la superficie del mar como también del que se encuentra en la costa; proceso en el cual el aire caliente tiende a ascender y su lugar es reemplazado por corrientes de aire frío, en el día la brisa viene del mar hacia la costa y en la noche el proceso es a la inversa.

#### **1.5.1.1. Temperatura del aire.**

Respecto a la temperatura del aire en la zona que comprende el área de estudio, en forma general, las mayores temperaturas ocurren entre los meses de febrero a abril, oscilando entre 26 y 26.5 ° C, siendo estos meses los más cálidos. Las menores temperaturas se registraron entre junio y diciembre con el valor mínimo de 23.1°C en el mes de agosto.

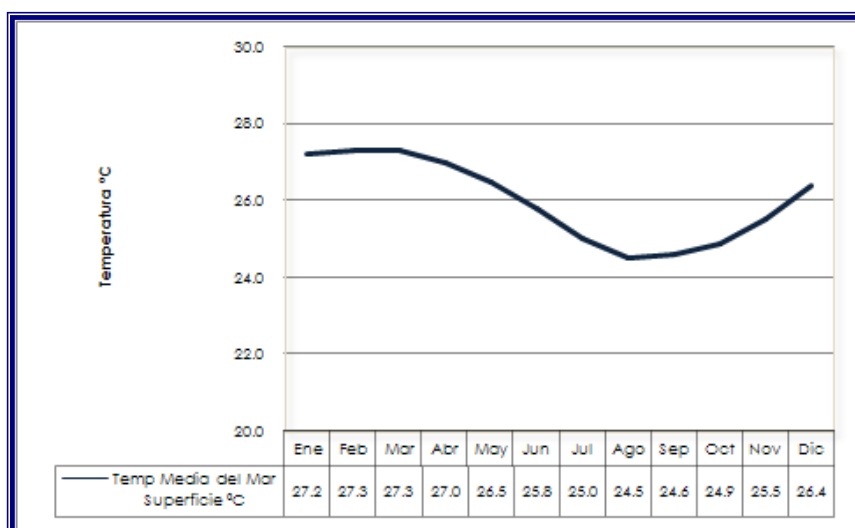


**Figura 4.** Temperatura anual del aire

**Fuente:** Inocar

#### 1.5.1.2. Temperatura Superficial del mar.

Los registros de temperatura superficial del mar indican una tendencia estacional. Los meses más cálidos corresponden a febrero y marzo, con promedios de 27.3°C; y los meses de menor temperatura a la época seca, con agosto como el más frío, con una temperatura de 24.5°C. Los años más cálidos corresponden al evento El Niño 1997 y 1998, en los cuales la temperatura promedio anual fue de 27.1 y 27.0°C, respectivamente. En la figura que se muestra a continuación se observa la temperatura superficial promedio del mar para un año normal.



**Figura 5.** Temperatura anual superficial del mar

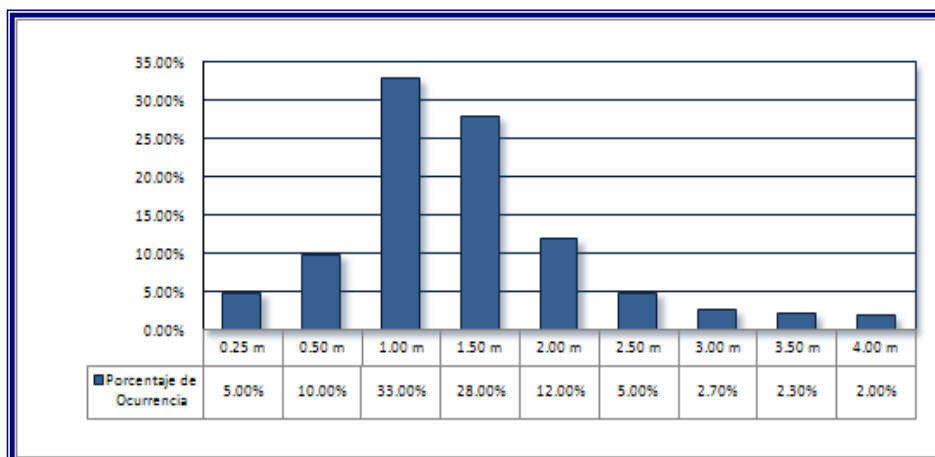
**Fuente:** Inocar

### 1.5.1.3. Vientos.

Por encima de los 1000 metros de altura, los vientos se comportan de acuerdo a un balance geostrófico entre las fuerzas de gradientes locales y las de Coriolis, por debajo de esa altura, los efectos de fricción debido a la presencia del océano distorsionan el campo de vientos; así la velocidad y su dirección son una función de la elevación sobre la superficie media, rugosidad de la superficie, diferencias de temperatura entre aire-mar y los gradientes horizontales de temperatura. El oleaje crece como resultado del flujo de energía del aire existente sobre él. Para el caso de predicción del oleaje se obtiene de observaciones directa a lo largo del Fetch (centros de alta presión atmosférica), o a lo largo del mismo en función del tiempo. Para el análisis de vientos en las áreas de implantación de los muelles, se referirá a los Vientos Temporales y a los Vientos Extremos.

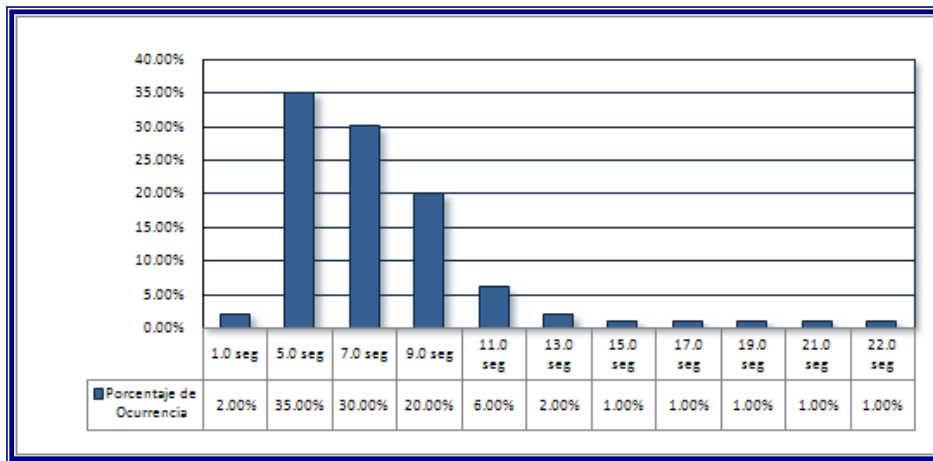
### 1.5.1.4. Olas.

Las costas ecuatorianas están delineadas por los meridianos 80° - 100° oeste y los paralelos 0°-10° sur. Las alturas predominantes de olas en aguas profundas en las costas ecuatorianas son de 1.0 -2.5 m con periodos de 8 segundos, con frentes más recurrentes de 255° y 315 ° (W-SW). En las figuras a continuación se muestran porcentajes de ocurrencia para alturas periodos y direcciones en aguas profundas de la costa ecuatoriana.



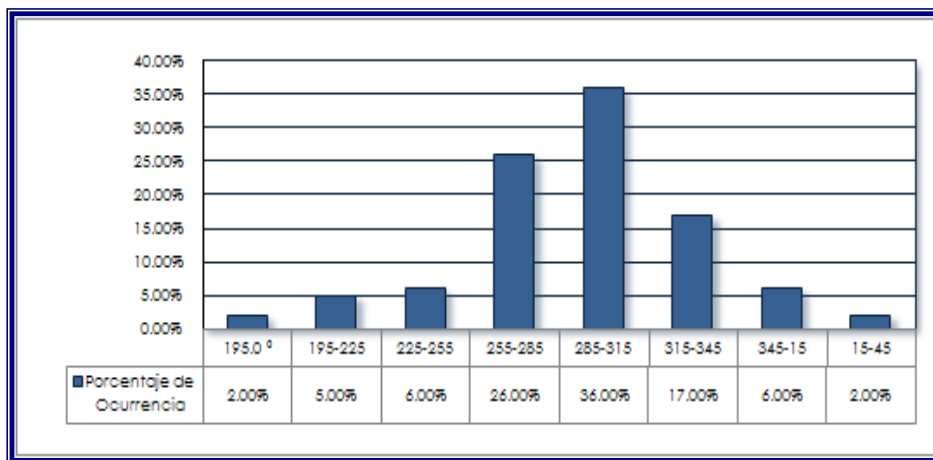
**Figura 6.** Porcentaje de ocurrencia de altura de ola

**Fuente:** Inocar



**Figura 7.** Porcentaje de ocurrencia del periodo de ola

**Fuente:** Inocar



**Figura 8.** Porcentaje de ocurrencia de dirección de ola

**Fuente:** Inocar

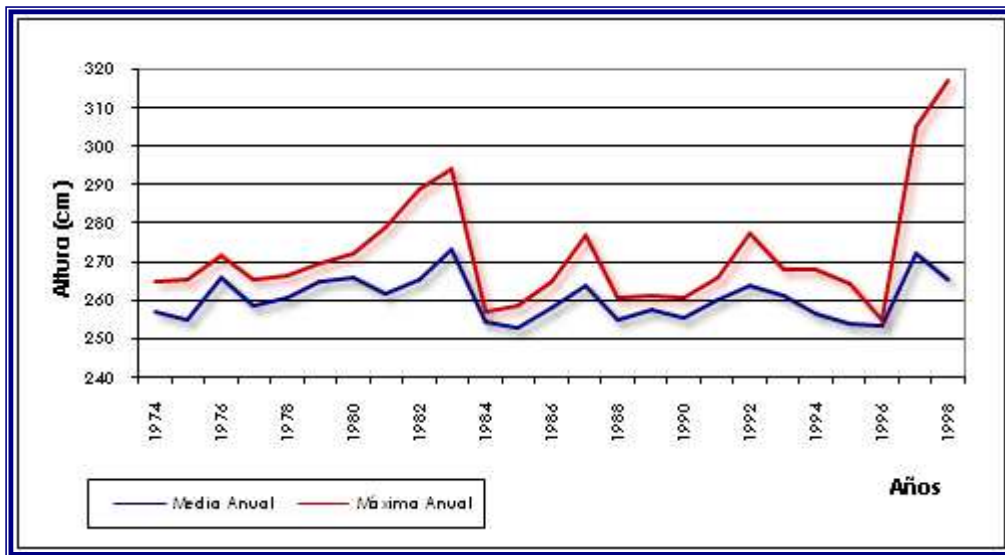
#### 1.5.1.5. Mareas.

Las mareas a lo largo de las costas del Ecuador son de tipo semi-diurna, lo cual indica que en aproximadamente unas 24,5 horas, se presentan dos pleamares y dos bajamares con pequeñas desigualdades diurnas. Un ciclo completo de la marea dura aproximadamente unas 12 horas, y el periodo entre una pleamar y bajamar consecutiva es de 6 horas.

De acuerdo a las tablas de mareas, publicadas por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), las amplitudes de las mareas pueden variar entre unos 2,9 y 1,9 metros en sicigia y cuadratura respectivamente. Las mareas de sicigia se producen cada 15 días con una duración de unos 3 días, donde se presentan las mayores amplitudes; mientras que las mareas de cuadratura son

de menor amplitud y se presentan también cada 15 días alternándose con las de sicigia.

A lo largo de la costa ecuatoriana el nivel medio de mar normalmente varía entre  $- 10$  y  $+ 10$  cm. desde su valor promedio, sin embargo durante el evento 1982-1983, el nivel del mar se incrementó en más de 30 cm y durante el último evento 1997-1998, que ha sido catalogado como el peor del siglo, el nivel medio del mar se incrementó en el mes de Noviembre/97, hasta alcanzar un pico máximo de 44 cm. aproximadamente.



**Figura 9.** Comparación de mareas media-máxima

**Fuente:** Inocar

#### 1.5.1.6. Transporte Litoral.

Se ha clasificado en dos formas: transporte perpendicular y transporte paralelo a la línea de costa. En la zona de rompientes gran cantidad del sedimento, sea de fondo o en suspensión, es transportado por la acción de olas y de corrientes litorales, sin embargo, el mecanismo del transporte neto del sedimento no se conoce absolutamente.

La acción de las olas sobre la zona litoral es la principal causante de la mayoría de los cambios físicos. Las características del oleaje en un área determinada, dependen, de las condiciones del viento del lugar donde han sido generadas y de las condiciones batimétricas del área en estudio, pues se conoce que las olas pueden ser generadas por vientos lejanos o locales. La acción del oleaje, sobre las playas, provoca en mayor o menor medida el movimiento de los

sedimentos de un lugar a otro. Las olas que provocan el transporte de sedimentos se las conoce como olas rompientes, las cuales poseen características totalmente diferentes a su estado antes de la ruptura.

La distribución del sedimento se relaciona con los procesos de erosión y depositación, la dirección predominante del transporte también se puede deducir a partir de la distribución del tamaño de los sedimentos a lo largo de la línea de costa, la dirección de la velocidad de la corriente litoral suele ser desde lugares donde el tamaño de los sedimentos es mayor hacia aquellos donde es menor.

### **1.5.2. Características de la costa y transporte litoral en San Mateo**

La playa de San Mateo se encuentra entre el Cabo San Mateo y la Punta de Piedras Largas, la misma que posee material fino que forma las dunas mientras que el sustrato es rocoso. La pendiente de la playa es muy suave y cuando baja la marea, el estrato rocoso se descubre.

Posee también un río que lleva el mismo nombre y que atraviesa a la parroquia, el mismo que solo se activa en épocas de lluvias y que deposita material en el mar. Las olas tipo volteo, levantan menos sedimento que las tipo derrame, por lo tanto playas con menor pendiente moverán más sedimento, al formar olas de derrame.

Es importante mencionar que la cantidad de sedimentos que aporta el río, puede haberse incrementado en parte por la deforestación de las quebradas que conducen al río hacia el océano.

Por medio de las mediciones de corrientes litoral de San Mateo se puede observar que el transporte Longshore se da en dirección oeste a este, el mismo que se deposita al encontrar un bajo rocoso, provocando que la playa crezca. Es importante indicar que este proceso puede acelerarse por el aporte de río y este a su vez por las lluvias.

#### **1.5.2.1. Transporte de Arena.**

El movimiento de arena es un proceso dinámico que puede variar con las condiciones en un instante cedido. El progreso de una costa dependerá del equilibrio entre la arena que se trasladan hacia adentro de la zona en cuestión y la arena que se desplaza hacia fuera en el lapso del tiempo. Si es más la

arena removida en una playa que la recibida, la playa decrecerá. Estos cambios pueden ocurrir en las escalas de tiempo de días, estaciones o años.

Existen tres tipos de modos de transporte de arena en la playa hacia dentro o hacia fuera de una determinada sección de la playa y son los siguientes:

- **Transporte Longshore:** En el cual las olas suelen aproximarse diagonalmente a la costa movilizándolo y transportando la arena paralelo a la costa con la corriente costera.
- **Transporte Cross-shore:** En el cual la arena se mueve en tierra o en el mar en réplica al período local de las olas.
- **Transporte Eólico:** Describe a la dinámica de la arena por acción del viento.

Estos elementos pueden considerarse fuentes para una explícita sección de la playa, en el proceso de que haya una dinámica de sedimentos a la playa, si ellos remueven sedimentos de la playa. De estos elementos, el transporte Longshore es el mecanismo absoluto de transporte de arena en la playa y su calidad de estudio se debe al impacto que se origina cuando se produce una perturbación del mecanismo debido a la presencia del puerto.

El transporte Longshore ocurre cuando la arena es movilizada por la acción de la dinámica de olas en una dirección de costa paralelo con las corrientes generadas en la zona de litoral. Estas corrientes litorales son generadas por las olas que se aproximan oblicuamente a la línea de costa y transportan arena a lo largo de la costa.

La dimensión y la dirección del transporte varían con la energía y la dirección del campo de ola. Aproximaciones de olas con alta energía con sus crestas con un ángulo grande con la línea de costa moverán la arena de playa en una mayor relación que las olas pequeñas con sus crestas paralelas a la línea de costa.

Las corrientes litorales pueden también ser generadas por la presencia de estructuras o de headlands artificiales. La difracción de la ola en torno a la estructura puede dar lugar a un diferencial en romper alturas de onda a lo largo del litoral, con olas más pequeñas cerca de la estructura y la altura de olas se incrementa a lo largo de orilla lejos de la estructura. Esta diferencia en romper alturas de ola da lugar a un diferencial en la altura asociada de la configuración



de ola a lo largo del litoral. El gradiente de este diferencial en la elevación del agua en las corrientes de litoral puede conducir corrientes (y el transporte Longshore asociado) hacia la estructura.

## **1.6. Métodos de Medición y cálculo para los factores Meteorológicos.**

### **1.6.1. Vientos Temporales y Extremos.**

Se usan equipos como el anemómetro y la veleta para medir las características del viento, el anemómetro es el que mide la velocidad y la veleta la dirección de donde sopla el viento. El anemómetro más utilizado es el de cazoletas, que es una cruz móvil alrededor de un eje vertical; cada extremidad de la cruz lleva en su extremo una cazoleta o semiesfera hueca, estando todos los orificios regidos en el mismo sentido. Dichas circunstancias de viento se encuentra siempre una cazoleta por su cara cóncava y la opuesta por la convexa; como la primera opone mucha mayor resistencia que la segunda, el aparato se pone a girar; además, cualquiera que sea la dirección del viento, el sentido de la rotación es siempre el mismo. Las cazoletas deben estar graduadas de manera que un giro completo sea un metro de recorrido del viento y con un sensor articulado que cuente las vueltas por segundo, conseguiremos el valor de la velocidad.

En la actualidad se utilizan anemómetros de tres brazos y las cazoletas tienen forma cónica en vez de esférica.

En el caso de la veleta existen muchos tipos, desde la que tiene forma de gallo hasta la utilizada en los observatorios, pasando por las mangas de los aeródromos. Todas están construidas de igual forma; constan de un pivote vertical, donde puede girar libremente una pieza de forma variada, normalmente por uno de sus extremos termina en punta de flecha y por el otro lleva dos paletas que forman un ángulo bastante cerrado. Cuando sopla el viento, el aparato tiende a colocarse en la posición de mínima resistencia, y como el lado de las paletas ofrece la máxima, es la punta de flecha la que nos indica la dirección de procedencia del viento. Normalmente sobre el mismo eje de la veleta y por debajo de ella va montada una cruz con los cuatro puntos cardinales para facilitar la observación. (Baylina)

#### **1.6.1.1. Distribución de Gumbel.**

Fue descubierta por Emil Julius Gumbel, matemático judío nacido en Alemania a finales del siglo XIX. Es un caso particular de la distribución de valores extremos generalizada, y también es conocida como la distribución log-Weibull, o como la distribución exponencial doble. Según Reiss y Thomas (1997), la distribución de Gumbel tiene la misma importancia que la distribución Normal en otras aplicaciones. (Rosales, 2011)

El método de Gumbel se aplica usualmente a un grupo de velocidades máximas anuales, esto es que cada valor es la máxima velocidad del viento que produce en un período de 1 año.

#### **1.6.2. Oleajes.**

La acción del oleaje sobre estructuras costeras es el factor de mayor importancia a determinar para la concepción de las mismas. Al no existir en muchos de los lugares de la costa ecuatoriana equipos de medición continua, la caracterización del oleaje en los sitios de implantaciones de los muelles se determina visualmente y se hace referencia a diferentes estudios similares en las áreas de ubicación del proyecto.

El tipo de rompiente fue determinado visualmente clasificándolas de acuerdo con las normas internacionales para rompientes. El ángulo de aproximación del oleaje fue determinado con el uso de un compás de bote.

La determinación horaria del ancho de la zona de rompiente fue realizada de manera visual en cada una de las observaciones por hora, para lo que se estimó la distancia a la cual se encontraba la rompiente en el momento de la medición y la longitud sobre la cual rompían las olas.

Cuando la ola se aproxima a la costa y empieza a sentir el fondo, tanto su velocidad como longitud de onda comienza a disminuir y comienza a ganar altura, este frente de ondas empieza alinearse con la línea de costa, por lo que en este caso las rompientes están función de la profundidad. Es así como la ola se hace inestable cuando su pendiente  $H/L$  es igual o mayor que  $1/7$ . En ese caso la velocidad de las partículas en la parte alta de la ola excede a la propia velocidad de la ola provocando un desbordamiento por la parte delantera de la ola.

Las olas rompientes constituyen un factor principal en la determinación de la geometría y composición de las playas y son de influencia significativa en la planificación y diseño de obras realizadas en la zona litoral. Al aproximarse una ola hacia la costa, su dirección puede cambiar por el efecto de refracción, disipando gran cantidad de energía y formándose olas muy empujadas, por lo que el agua comienza a moverse a la misma velocidad de las olas, lo que se manifiesta en la turbulencia del agua, y provoca que los materiales de fondo sean removidos, mantenidos en suspensión y finalmente transportados.

### **1.6.3. Corrientes.**

Se considerara el método de deriva a las "boyas de flotabilidad neutra", dispositivo de aluminio que, con una gravedad específica determinada, se arroja por el costado del barco y se hunde hasta que encuentra agua de su misma densidad, con lo que la boya se desplaza y sus movimientos se siguen por medio de GPS periódicamente.

## **1.7. Protección del Espigón.**

### **1.7.1. Enrocado de protección.**

El enrocado de protección o coraza como común mente se la conoce, es el factor más importante en la construcción de un espigón que protege una obra portuaria, debido a que estará constantemente sometido a la acción de las olas.

Los parámetros que inciden en su funcionamiento van desde el método constructivo, hasta las propiedades mecánicas y físicas del material a usar, ya que un error en este elemento que conforma un espigón podría ocasionar el fallo del mismo, como la socavación del material del núcleo o material de transición (si la estructura lo requiera), y por ende pondría en riesgo las embarcaciones o estructuras que el espigón protege.

Los materiales a usar como coraza van desde grandes bloques de hormigón hasta piedra sedimentarias como la roca coquina.

## **1.7.2. Espigón de Escollera en San Mateo.**

### **1.7.2.1. Material Usado y Características.**

La coquina es una roca sedimentaria de origen bioquímico perteneciente a las rocas calizas, compuesta de agregados no consolidados, pobremente cementados, de conchas, corales y pedazos de estos, que han sido fracturados mecánicamente por elementos naturales tales como la energía de las olas.

- La resistencia al desgaste para este tipo de roca, oscilando entre 17 y 26.9%.
- La resistencia a la compresión sin confinar, estimada desde las pruebas con esclerómetro, supera los 360 Kg/cm<sup>2</sup>, comparable con un hormigón de alta resistencia.
- La resistencia de los agregados de Coquina a la acción del Sulfato de Sodio, es alta para este tipo de roca, variando entre 7.65 y 15.06%
- La densidad seca de la roca aunque oscila entre 2.02 y 2.33 Ton/m<sup>3</sup>, el promedio se acerca bastante al límite superior de 2.3 Ton/m<sup>3</sup>, que es bastante alto para una roca como la coquina generalmente muy porosa.

Estos datos fueron obtenidos de la cantera VIPA quien suministro el material para coraza.

### **1.7.2.2. Diseño de Rompeolas.**

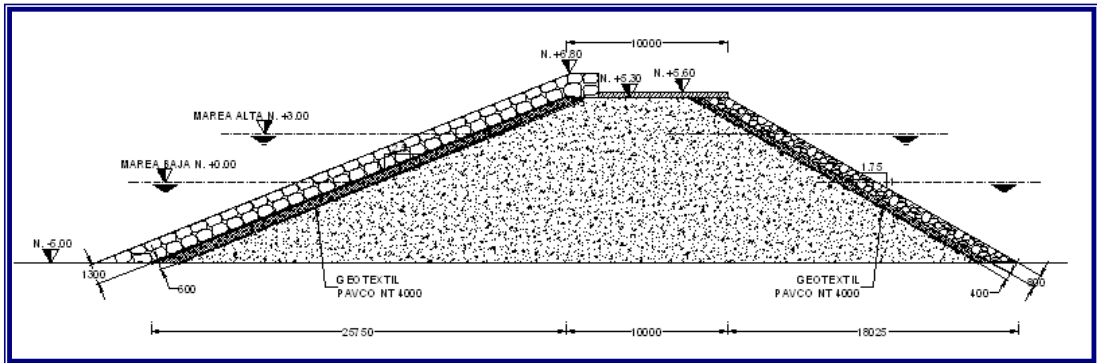
Los parámetros de diseño serán:

- Altura de ola (Probabilidad de 50 años).
- Período de olas.
- Niveles del mar.
- Profundidad del agua.
- Tipo de s0uelo del fondo del mar.

Las normas de diseño, se optaron de otro país debido a la falta de las mismas en nuestro medio:

- U.S Army Corps of Engineers.
- Ecuaciones empíricas de Iribarren.
- Ecuaciones empíricas de Hudson modificada.

El talud exterior es 2.00: 1.00.



**Figura 10.** Detalle del diseño estructural del espigón

**Fuente:** SINECUANON

## CAPITULO 2

### 2. OBTENCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS Y FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FALLA DEL PUERTO PESQUERO SAN MATEO.

#### 2.1. Cálculo y medición de los factores meteorológicos presentes en el Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo.

##### 2.1.1. Vientos Temporales y Extremos.

###### 2.1.1.1. Vientos Temporales.

El procesamiento de los datos incluyó el cálculo de velocidades de viento máxima y promedio, para cada mes durante los 34 años de registro, más la generación de tablas de frecuencia como una función de velocidad y dirección. Estos valores son consistentes con los estudios previos, en los cuales la media de velocidades de viento fue superior durante la temporada de sequía de julio a diciembre. Las velocidades promedio del viento entran en un rango de 2.4 m/s en febrero, y 3.8 m/s de septiembre a noviembre, con una velocidad máxima de 30.4 m/s.

La Tabla que se muestra a continuación, muestra el viento promedio y máximo mensual del registro por un periodo de 34 años.

**Tabla 1.** Estadística mensual de vientos (m/s)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot
Viento Prom.	3.0	2.4	2.5	2.7	3.1	3.4	3.6	3.6	3.8	3.7	3.8	3.7	3.3
Viento Max	17.6	24.5	24.5	16.1	9.8	23.5	30.4	24.5	14.7	16.7	19.6	17.6	30.4

**Fuente:** Aeropuerto Eloy Alfaro, Manta, Ecuador

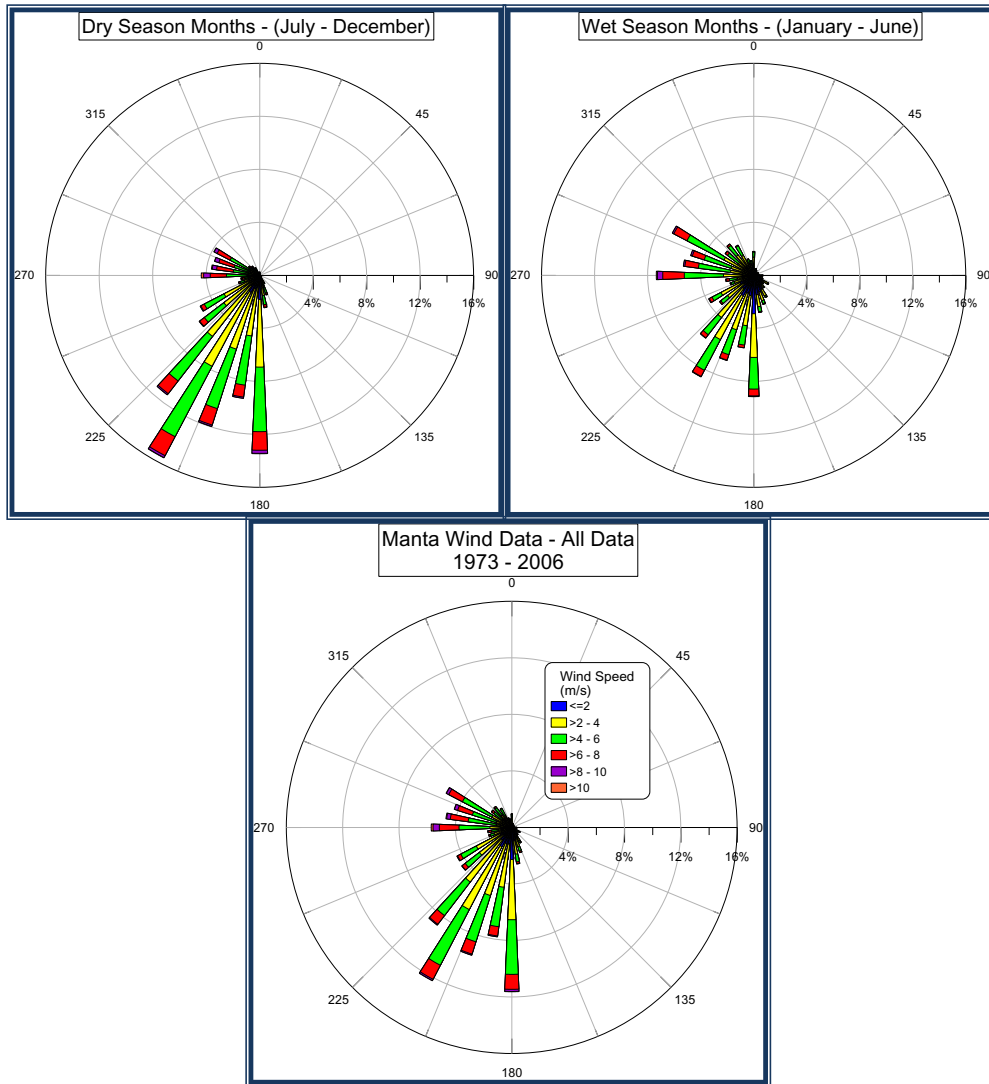
Basado en registros de datos entre los años de 1973 a 2006 en el Aeropuerto Eloy Alfaro de la ciudad de Manta, las velocidades del viento representan promedios de 10 minutos recolectados a una elevación de 14 m y corregidos a una elevación de 10 m.

Los vientos dominantes son S-SW (sur-suroeste) y son más notorios en la temporada seca. Durante la época invernal se observan vientos W-NW (oeste-noroeste), con mayor frecuencia y una mayor magnitud, pero la dirección predominante sigue siendo el tramo S-SW.

En general, durante todo el año, el 82.13% de los vientos provienen del tercer cuadrante, esto es con una dirección predominante del S – SW; los vientos del

SW representan alrededor del 41%, y los del oeste el 33%. Los periodos de calma son más prolongados en el primer semestre del año. Las Velocidades máximas están en el orden de los 5,18 m/s, y se presentan en las tardes entre las 12h00 y 16h00 horas, asociadas a los meses que corresponden al cambio de estación.

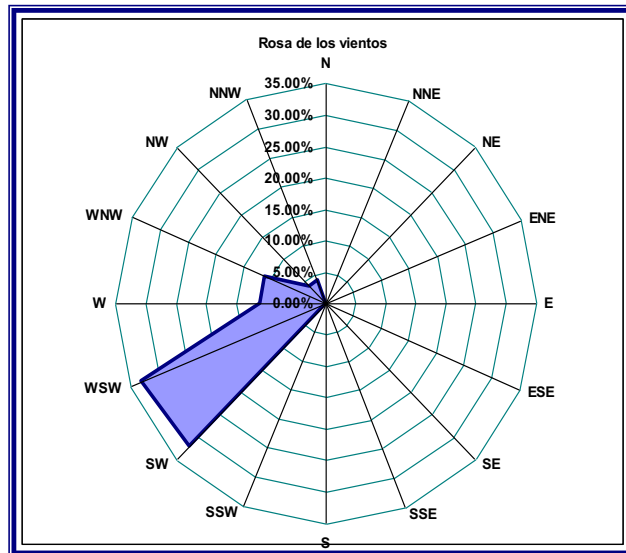
La Figura a continuación muestra rosetas de vientos generadas según datos por hora. Incluye el conjunto completo de datos, y también generadas para temporadas húmedas y secas. En este análisis, la temporada húmeda se definió de enero a junio, mientras que la temporada de sequía de julio a diciembre, consistente con la convención utilizada para los reportes de ESPOL y Moffat & Nichol. Estas tablas muestran vientos ocurriendo en dirección S-NW, con vientos más frecuentes en dirección S-SW y un agrupamiento secundario notable de vientos con dirección W-NW.



**Figura 11.** Dirección de vientos por temporada

**Fuente:** Aeropuerto Eloy Alfaro, Manta, Ecuador





**Figura 12.** Dirección de vientos predominantes  
**Fuente:** Aeropuerto Eloy Alfaro, Manta, Ecuador

### 2.1.1.2. Vientos Extremos.

Los valores de periodo de retorno fueron calculados asumiendo una distribución Gumbel:

$$V_R = u - \frac{\ln\{-\ln[1 - P(X \geq x)]\}}{\alpha}$$

Dónde:  $V_R$  = velocidad de viento asociada a un periodo de retorno dado, R (periodo de retorno =  $1/[P(X \geq x)]$  )

$$u = \bar{x} - \frac{0.577}{\sigma}$$

$\bar{x}$  = Valor del promedio de velocidades de viento.

$P(X \geq x)$  = Probabilidad de excedencia asociada con un periodo de retorno deseado.

$$\alpha = \frac{1.282}{\sigma}$$

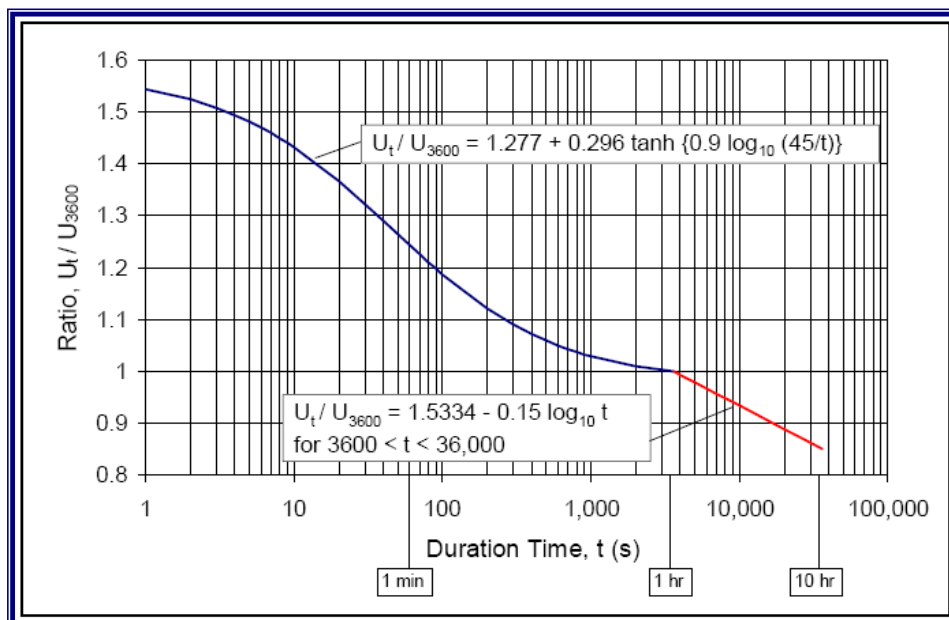
$\sigma$  = Desviación estándar para velocidades anuales pico

Los datos representan promedios para vientos de 10 minutos. Promedios de vientos de duración más corta generalmente resultan en velocidades pico más altas. Se hicieron ajustes a las velocidades promedio de viento de 10 minutos para estos intervalos más bajos basados en la relación.

Los siguientes factores para convertir velocidades de 10 minutos a 1 hora, 30 minutos y 3 segundos, fueron determinados utilizando la ecuación del gráfico de relación de viento y duración. Esta ecuación permite determinar el factor para convertir vientos promedio de 10 minutos a vientos de duración de 1 hora, y después el factor para convertir de una hora al periodo deseado. Los factores combinados resultantes son:

$$F_{10\text{-min}\rightarrow 1\text{-hr}} = 0.95 \qquad F_{10\text{-min}\rightarrow 30\text{-sec}} = 1.26$$

$$F_{10\text{-min}\rightarrow 3\text{-sec}} = 1.44$$



**Figura 13.** Relación de vientos y duración

**Fuente:** Aeropuerto Eloy Alfaro, Manta, Ecuador

La Tabla a continuación presenta los resultados de estos cálculos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años y para periodos de viento promedio de 1 hora, 10 minutos, 30 segundos y 3 segundos.

**Tabla 2.** Periodos de retorno-velocidad del viento

PERIODO DE RETORNO	Velocidad del Viento (m/s)			
	Viento 1-hora	Viento 10-minutos	Viento 30-segundos	Ráfaga 3-segundos
2-años	13.8	14.5	18.3	20.9
5-años	18.9	19.9	25.1	28.6
10-años	22.2	23.4	29.5	33.7
25-años	26.5	27.9	35.2	40.2
50-años	29.6	31.2	39.4	45.0
100-años	32.8	34.5	43.5	49.7

**Fuente:** Aeropuerto Eloy Alfaro, Manta, Ecuador

### 2.1.2. Oleajes.

La bahía de San Mateo se encuentra ubicada entre el cabo San Mateo y la punta de piedra larga, entre las cuales se concentra mayormente la energía del oleaje proveniente de los distintos frentes. Para determinar la altura periodo y dirección de los frentes de ondas en San Mateo se determinaron estaciones cubriendo a lo largo de la playa. Los frentes de ondas a los cuales está expuesta la bahía son las que provienen de los W-WN con ángulos de los 290° hasta los 360°. También puede incidir frentes de ondas provenientes de los 250° SW, pero estos son refractados disminuyendo parte de la energía con la que son trasportados en agua profundas.

Para la realización de la caracterización del oleaje y el periodo en el área de estudio, en la zona de San Mateo, se establecieron cuatro estaciones de mediciones oceanográficas.

**Tabla 3.** Ubicación geográfica de las estaciones de San Mateo

Estación Oceanográfica	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
ESM-1	520.711	9'894.574
ESM-2	520.875	9'894.505
ESM-3	521.070	9'894.471
ESM-4	521.269	9'894.490

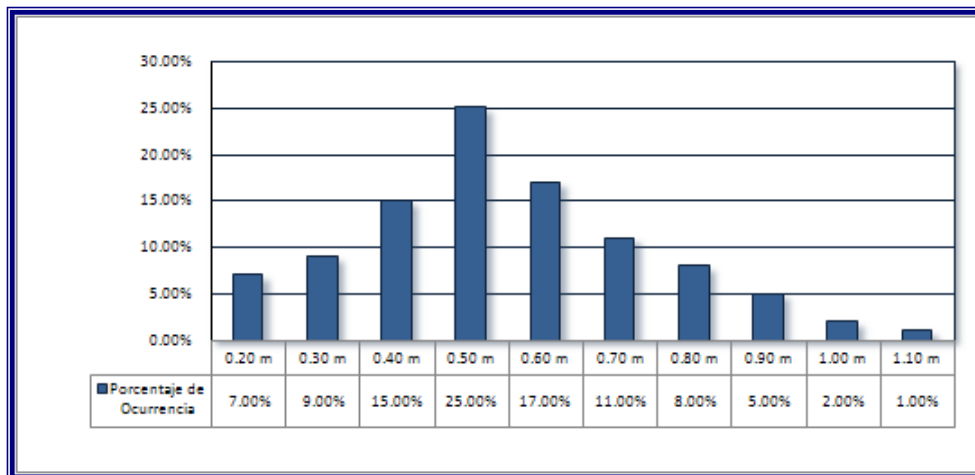
**Fuente:** SINECUANON



**Figura 14.** Detalle de la ubicación de estaciones

#### **2.1.2.1. Altura de Olas.**

El mayor porcentaje de altura de olas observadas en el área de San Mateo, correspondientes al 08/oct/2008, fue de 0.50 m con un 25% de ocurrencia; mientras que la mayoría de porcentaje de ocurrencia de alturas de olas se encuentra en el rango de 0.30-0.70 m, que representan un 75% de probabilidad de ocurrencia. En la época que se desarrolló la medición, es más probable que los frentes de ondas provengan del SW, y que por efectos de refracción lleguen alineados en sentido NW. Es importante también mencionar que de las observaciones del tipo de olas realizadas en las cuatro estaciones de muestreo, se obtuvo que las olas sean en mayoría del tipo volteo (plunging), en ocasiones, observándose también olas de derrame.

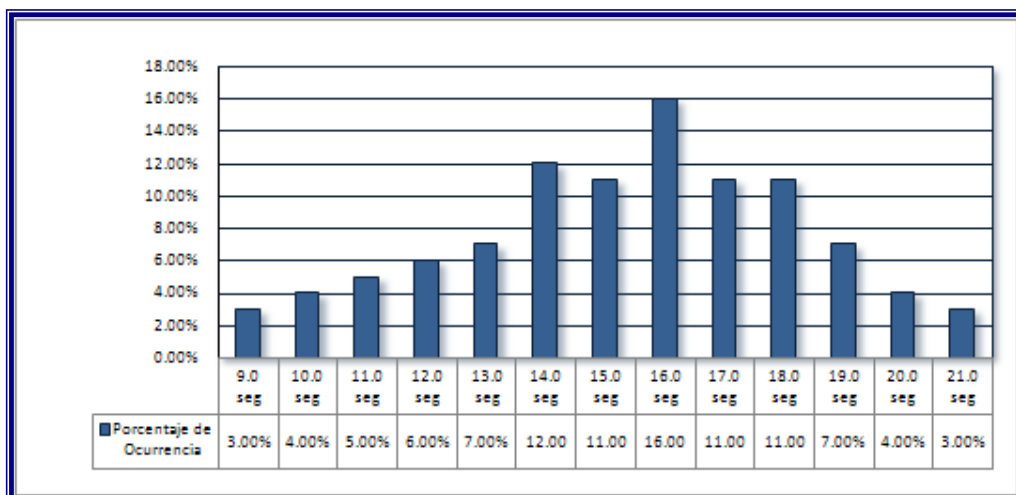


**Figura 15.** Porcentaje de ocurrencia de altura de ola san mateo

**Fuente:** Inocar

### 2.1.2.2. Periodo de Ola.

De acuerdo a la clasificación de olas por su periodo en las costas ecuatorianas, estas corresponden a olas de mar de fondo, es decir, olas generadas por vientos en otra región y llevadas hasta nuestras playas. Se registraron periodos en distintos rangos, pero los periodos más significativos se encuentran en el en el rango de 13-18 seg., con una probabilidad de ocurrencia de 68%. El periodo más significativo para la zona es de 16 seg.



**Figura 16.** Porcentaje de ocurrencia de periodo de ola san mateo

**Fuente:** Inocar

### 2.1.2.3. Dirección de Oleajes.

La dirección con que un frente de ondas llega a la costa, permite analizar la magnitud de los procesos dinámicos. Las crestas de las olas, suelen alinearse paralelas a la línea de costa por efecto de la refracción, sin embargo en ocasiones llegan con ángulo respecto a la línea de playa, lo que da lugar a las llamadas corrientes litorales. Se estableció la misma metodología de mediciones para las mediciones de olas en las cuatro estaciones. En las cuatro estaciones el tren de ondas que se aproxima a la playa viene con una dirección que oscila entre 300° y 360° (NW).

**Tabla 4.** Ángulos de arribo y alineación de las olas a la playa

Estación Oceanográfica	Ángulos de arribo Olas a la playa	Alineación de la playa Grados magnéticos	
ESM1	310°	40	
ESM2	315°	35	
ESM3	330°	30	
ESM4	340°	20	

**Fuente:** Sinecuanon

### 2.1.2.4. Olas Extremas.

Es importante considerar lo siguiente: “Un grupo de olas altas que chocan en sucesión contra una estructura pueden hacer más daño que una ola aislada muy grande y una sucesión irregular de olas pueden ocasionar más daños a una estructura que una sucesión regular”. Para una ola que no rompa, casi siempre se supone que la ola de diseño será la más grande que se espera que alcance a las estructuras en un intervalo de recurrencia específico, por ejemplo de 50 a 100 años. Para una ola que rompa, en general se supone que la ola de diseño será la más grande que romperá directamente contra las estructuras.

A partir de las mediciones en campo y de una base de datos, se realizó un análisis probabilístico que permite conocer el periodo de retorno de olas extremas empleando Drapper, para la serie de San Mateo de donde se obtiene el siguiente resultado:

**Tabla 5.** Altura de ola máxima en aguas abiertas san mateo

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	ALTURA OLA MÁXIMA ESPERADA (m)
1	1.52
5	1.83
10	2.04
50	2.60

**Fuente:** Sinecuanon

Para una ola que no rompa, casi siempre se supone que la ola de diseño será la más grande que se espera alcance a las estructuras en un intervalo de recurrencia específico, se midió para el periodo de rompiente del área.

**Tabla 6.** Condiciones extremas de rompiente de las olas en San Mateo

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	ALTURA PROMEDIO DE ROMPIENTE (m)
5	1.3
10	1.6
25	2.1
50	2.4
100	2.9

**Fuente:** Sinecuanon

#### **2.1.2.5. Ola de Diseño San Mateo.**

Para la Ola de Diseño, se usa la “Altura Significativa de Olas”, como base de diseño de las estructuras. La Altura significativa es la altura promedio del tercio de las olas más altas para el intervalo establecido, en el presente caso de medición octubre del 2008. Se ha encontrado que la ola más alta o máxima tiene una altura de una o dos veces la altura significativa, conforme lo establece: “Enginner, EM 1110-2-2904, Design of Breakwaters and Jetties”

**Tabla 7.** Parámetro de altura de ola San Mateo

PARÁMETRO DE ALTURA DE OLAS (m)	
Altura Significativa	1,3
Altura Promedio	0,7
Altura Promedio del 10% de las más altas	1,7
Altura de Olas Simples Senoidales	1,1
Altura no excedida más 20% de las veces	1,2
Altura no excedida más 10% de las veces	1,5
Altura no excedida más 5% de las veces	1,6
Altura no excedida más 3% de las veces	1,7
Altura no excedida más 1% de las veces	2,1
Altura Promedio del 1% de las más altas	<u>2,6</u>

**Fuente:** Sinecuanon

### **2.1.3. Corrientes.**

#### **2.1.3.1. Corrientes Superficiales y Subsuperficiales.**

La obtención de información de corrientes en el área de estudio se realizó utilizando el método de Lagrange, que consiste en seguir la trayectoria de un flotador en una parcela de agua, la posición es medida sobre un intervalo de tiempo.

Esta metodología fue aplicada utilizando a la deriva (veletas), los mismos que fueron empleados para conocer la trayectoria del flujo en el área de interés, obteniéndose información de corrientes superficiales y subsuperficiales (3 metros), durante las fases de sicigia (período en que se presentan los menores rangos de mareas).

Los flotadores fueron posesionados empleando GPS a diferentes intervalos de tiempo; el seguimiento de sus trayectorias se los realizó durante seis horas diarias aproximadamente, tratando de cubrir los dos estados de mareas: la pleamar y la bajamar.



Mediante este método de medición se tiene que para el día 14/oct/2008 durante el flujo de marea, la corriente superficial presentó como velocidad máxima 0.51 m/s siendo la mayor, mientras para las subsuperficial presentaron magnitudes de 0.50 m/s y 0.21 m/s durante el flujo respectivamente, esta variación de velocidades puede ser el reflejo de la ubicación en que fueron sembradas además de la geomorfología propia de la costa, que se ve influenciada por la presencia de una saliente, la cual le da el nombre de cabo San Mateo.



**Figura 17.** Veletas a la deriva, bahía San Mateo

**Fuente:** Sinecuanon

**Tabla 8.** Velocidades de corrientes superficiales u subsuperficiales

Fecha	Flotador	V. promedio (m/s)	V. máxima (m/s)	Dirección (grados)	Estado de marea
03-Ene-15	Superficial (amarilla)	0,13	0,51	90	Flujo
	Profunda (roja)	0,18	0.50	271	Flujo
	Profunda (naranja)	0,12	0,21	179	Flujo

**Fuente:** Sinecuanon

#### 2.1.4. Transporte Litoral.

Basado en análisis de las mediciones de corrientes, llevadas a cabo en el área de estudio, se concluye que en el área de estudio, el patrón de circulación, presenta un movimiento bien definido, hacia el este (derecha).



**Figura 18.** Dirección corriente litoral

En estudios costeros y trabajos de ingeniería efectuados, lo más práctico ha sido establecer la razón del transporte paralelo a la costa, pues la complejidad en cada uno de los procesos, se reduce, mediante consideraciones simples, al usar la teoría de pequeña amplitud de olas; la que es aplicada en el cálculo del transporte a lo largo de la línea de costa. Para el cálculo del transporte perpendicular, se necesita un tratamiento de alto orden. Al calcular el transporte litoral se usaron el método mejorado de Komar (1976), con base en ecuaciones de Bagnold y desarrolladas en su modelo energético del transporte de arena en las playas.

Las alturas y las velocidades de la corriente litoral usadas, son promedios de las mediciones en cada estación. En los cálculos no se ha considerado dirección de velocidades, por lo que los resultados, representan el valor de transporte bruto.

Densidad del agua de mar : 1025 Kg/m  
 Densidad del sedimento : 2650 Kg/m  
 Índice de rompiente : 0.8 adimensional  
 h profundidad en la rompiente : 0.50 m  
 g (aceleración de la gravedad) : 9.8 m/s  
 a' (factor de porosidad de la arena) : 0.6  
 K' = Coeficiente adimensional de Komar: 0.28

**Método de Komar:**

$$Q_s = I_s ((\rho_s - \rho) g a')$$

$$I_s = K' (EC_b v I)_{u_m \cos \alpha_b}$$

$$E_b = (1.8) \rho g H_b^2$$

$$C_b = \sqrt{g h_b} \quad u_m = \left( \frac{2 E_b}{\rho h_b} \right)^{1/2}$$

**Donde:**

Qs transporte litoral (m<sup>3</sup>/s)

I<sub>s</sub> razón de transporte del peso sumergido (N/s)

E energía del oleaje en la rompiente

C velocidad de grupo de olas en la rompiente

V velocidad promedio de corriente litoral medida en el campo

u máxima velocidad orbital en la rompiente

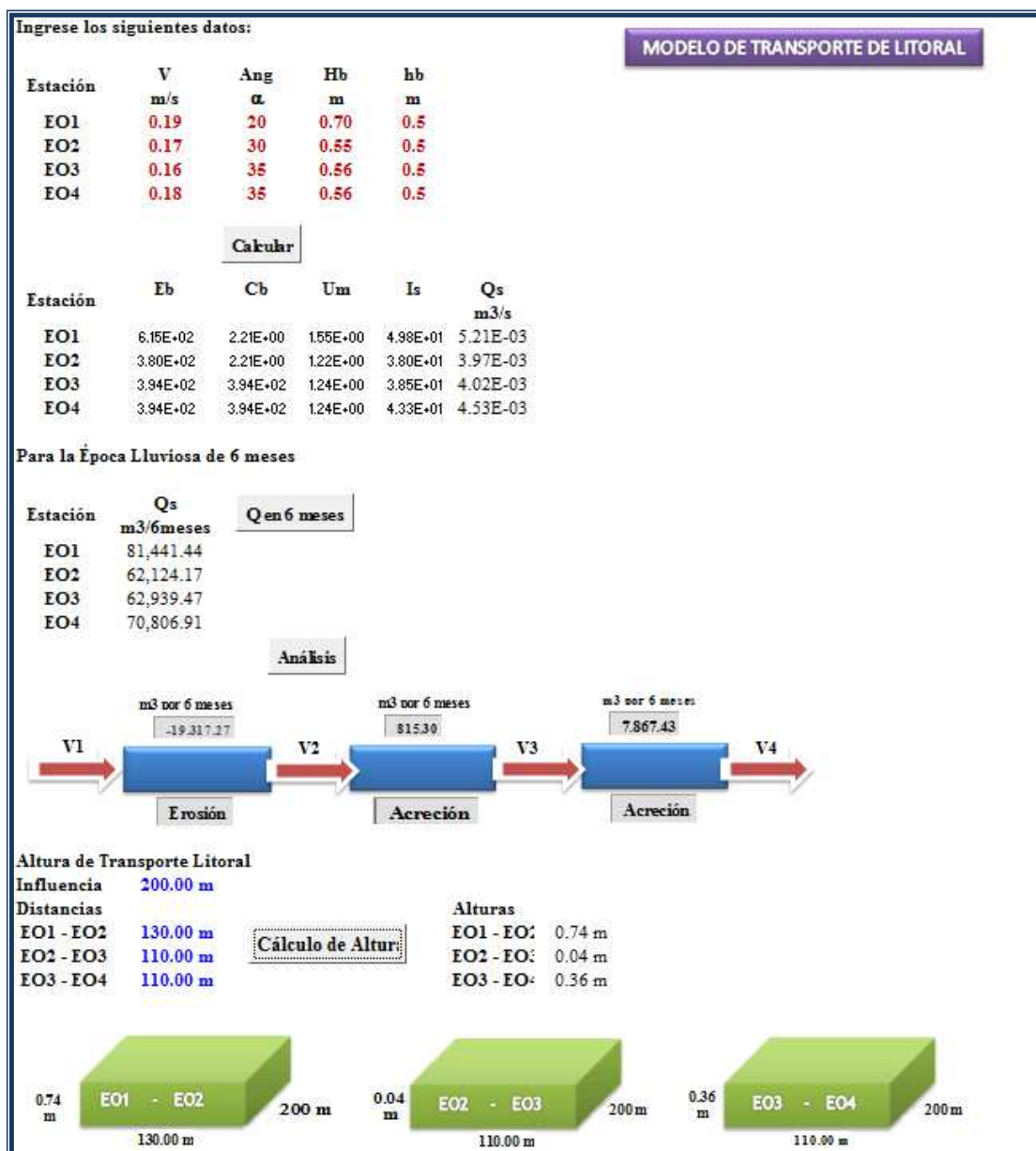
H altura de la ola rompiente.

La Tabla a continuación presenta los resultados de transporte litoral de sedimento para la playa de San Mateo, así como el H<sub>b</sub> y el  $\alpha_b$  utilizado, se considera 6 meses para tener la referencia del cálculo del transporte neto ocurrido en la estación lluviosa.

**Tabla 9.** Volumen transportado por corriente litoral

Transporte Litoral en San Mateo				
Estación	H <sub>b</sub>	v <sub>l</sub> (m/s)	Transporte Método de Komar	Transporte en la estación lluviosa (m <sup>3</sup> /6meses)
ESM1	0.70	0.19	5.21E-03	81.441
ESM2	0.55	0.17	3.97E-03	62.124
ESM3	0,56	0.16	4.02E-03	62.940
ESM4	0,56	0.18	4.53E-03	70.807

Fuente: Sinecuanon



**Figura 19.** Modelamiento del transporte litoral

Fuente: Sinecuanon

## 2.2. Coraza de Protección.

### 2.2.1. Calculo de Diámetro de Piedra.

Datos:

Tipo de piedra = Coquina

$\gamma_s = 2.2 \text{ Ton/m}^3$  (Densidad promedio para efectos de cálculo)

Ola de Diseño = 3.5m

Inclinación = 2.00: 1.00

$K_d = 3$  (Según el reporte geotécnico - depende de la forma de la roca y de su ubicación con respecto a la ola)

$K_o = 2$  (Según el reporte geotécnico - coeficiente de estabilidad)

#### 2.2.1.1. Formula general de Iribarren.

$$P = \frac{0.43 \cdot H_d^3 \cdot \gamma_s}{(2.38 \cdot \text{Cos}\alpha - \text{Sen}\alpha) \cdot \left(\frac{\gamma_s - 1}{\gamma_w}\right)^3}$$

Donde:

P = Peso de cada piedra en Toneladas

Hd = Altura de la ola de diseño

$\gamma_s$  = Peso unitario de las piedras

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua

$\alpha$  = Angulo entre la horizontal y el talud en grados

Hd = 3.50 m

$\gamma_s = 2.2 \text{ T / m}^3$

$\gamma_w = 1.02 \text{ T / m}^3$

$\alpha = \text{tang}^{-1} 1/2 = 26.56^\circ = 27^\circ$

$$P = \frac{0.43 \cdot 3.5^3 \cdot 2.2}{(2.38 \cdot \text{Cos}27^\circ - \text{Sen}27^\circ) \cdot \left(\frac{2.2 - 1}{1.02}\right)^3}$$

P = 14.95 T

### 2.2.1.2. Formula Hudson modificada.

$$P = \frac{H_d^3 \cdot \gamma_s}{Kd \cdot \left(\frac{\gamma_s - 1}{\gamma_w}\right)^3 \cdot Cot\alpha}$$

Donde:

P = Peso de cada piedra en Toneladas

Hd = Altura de la ola de diseño

Ys = Peso unitario de las piedras

Yw = Peso unitario del agua

$\alpha$  = Angulo entre la horizontal y el talud en grados

Kd = Coeficiente que depende de la roca y su ubicación

$$P = \frac{3.5^3 \cdot 2.2}{3 \cdot \left(\frac{2.2 - 1}{1.02}\right)^3 \cdot Cot27^\circ} \quad P = 9.84 \text{ T}$$

### 2.2.1.3. Formula Del US. Army Corps of Engineers.

$$P = \frac{W_r \cdot H^3}{K_o \cdot (S_r - W_w)^3 \cdot Cot\alpha}$$

Donde:

P = Peso en Newton de cada piedra

$W_r$  = Peso unitario de la piedra en Newton/m<sup>3</sup>

H = Altura de la ola de diseño

Ko = Coeficiente de estabilidad

Sr = Gravedad especifica de la piedra

Ww = Peso unitario del agua

$\alpha$  = Angulo de pendiente de la estructura en grados

$$P = \frac{21582 \cdot 3.5^3}{2 \cdot (2.2 - 1.02)^3 \cdot Cot27}$$

P = 143478.51 N

P = 14.63 T

**Tabla 10.** Calculo peso de la piedra de diseño

Ola de Diseño	Talud	Valor de Ko	Zona	Peso T	Método Utilizado
3,5 m	2:01	2	Brazo largo	14.95	Formula general de Iribarren
				9.84	Formula Hudson modificada
				14.63	Formula del US. Army Corps
<b>Promedio Enrocado</b>				13.14	

**Fuente:** Sinecuanon

Para el cálculo del diámetro del material se considera a la roca como una esfera equivalente:

$$P \text{ promedio} = 13.14 \text{ Ton}$$

$$Y_s = 2.2 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Volumen} = 13.14 / 2.2 = 5.97 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro} = 2.93 \text{ m}$$

### **2.2.2. Medición de Campo de la Coraza de Protección del Brazo Largo.**

La medición se la realizó arbitrariamente en la selección de piedras, obteniendo un promedio de volumen despreciando la irregularidad de las rocas. Los datos obtenidos fueron en la sección del brazo largo, el cual es la estructura que soporta los fuertes oleajes, principalmente los nortes que son los que chocan de manera perpendicular al espigón.

**Tabla 11.** Medición de campo de la piedra coraza-brazo largo

<b>MEDICIÓN DE CAMPO-BRAZO LARGO</b>					
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>PESO ESPC.</b>	<b>PESO T</b>
1.7	2.1	1.1	3.927	2.2	8.639
2.8	2.9	0.9	7.308	2.2	16.078
3	1.8	0.7	3.78	2.2	8.316
1.3	1.5	1.3	2.535	2.2	5.577
2.3	1.4	1.2	3.864	2.2	8.501
1.8	1.5	0.7	1.89	2.2	4.158
3.2	2.4	0.8	6.144	2.2	13.517
2.1	2.4	0.5	2.52	2.2	5.544
3	1.9	0.8	4.56	2.2	10.032
2.2	1.7	0.8	2.992	2.2	6.582
2.7	2.1	0.9	5.103	2.2	11.227
2.5	1.7	1.1	4.675	2.2	10.285
2.3	2	0.8	3.68	2.2	8.096
<b>PROMEDIO T.</b>			<b>4.075 m3</b>	<b>8.966 T</b>	



## CAPÍTULO 3

### **3. ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS Y FACTORES QUE OCASIONAN LA SEDIMENTACIÓN Y FALLAS EN EL ESPIGÓN.**

#### **3.1. Comparación de Variables Oceanográficas.**

A más de conocer la relación entre la dirección de las corrientes litorales y el ángulo de aproximación de las olas a la costa, se debe conocer el tipo de dependencia existente entre la dirección de las corrientes litorales y el estado de marea y la presencia de vientos en la zona. Los valores que favorecen especialmente a la configuración de la playa son las olas y las corrientes litorales.

##### **3.1.1. Altura de Olas y Vientos.**

Las bajas correlaciones entre vientos locales y altura de olas, corrobora la teoría de que las olas frente a nuestras costas son provocadas por tormentas lejanas y no por vientos locales, los cuales solamente contribuyen en la formación de olas de alturas pequeñas.

##### **3.1.2. Corrientes Superficiales y Vientos.**

De la misma manera, al correlacionar las series de corrientes y vientos, las correlaciones encontradas fueron altas. Estos resultados se explican por qué las corrientes tienen direcciones similares a los vientos.

##### **3.1.3. Dinámicas Litorales y Vientos.**

Los vientos predominantes en la época de observación, provienen del oeste y del norte, los mismos que inducen a la corriente hacia el sureste, desplazada 30 grados a la izquierda de la dirección del viento de acuerdo a Ekman, y como se observó anteriormente el transporte litoral ocurre en la dirección este, se confirma la relación entre las corrientes litorales y la dirección del viento.

##### **3.1.4. Oleajes y Transporte Litoral.**

La dirección de los oleajes predominante durante todo el año son los surestes, a excepción de los inviernos, en el cual ciertas corrientes del norte descienden y traen consigo oleajes con diferente dirección (norte). Sin embargo la dirección predominante de los oleajes tiene casi la misma dirección que la dinámica litoral, la cual viene del este, está en conjunto con los oleajes tienen un gran impacto en la zona del proyecto.

### **3.2. Factores que Inciden en la Sedimentación Acelerada del Puerto Artesanal de San Mateo.**

#### **3.2.1. Transporte Litoral.**

Debido a la ubicación del muelle, este se vuelve un obstáculo para la corriente litoral, con una dinámica desde el este, por ende el transporte de sedimentos se retiene en el lateral exterior del muelle. Este tiene como amplificadores al viento que llevan la misma dirección que la corriente litoral y los oleajes predominantes a lo largo del año, que aceleran el proceso de sedimentación.

La primera fase de la sedimentación como antes se mencionó fue a un costado del muelle, los volúmenes del transporte litoral calculado tiene un promedio de 69300 m<sup>3</sup> cada seis meses, que representa una cantidad significativa.



**Figura 20.** Muelle antes de la sedimentación lateral

**Fuente:** Google Earth



**Figura 19.** Muelle en la actualidad

**Fuente:** Google Earth

La segunda fase de la sedimentación y la más significativa o grave, se debe a la dirección de la corriente litoral, debido a que la primera fase de la sedimentación formó la playa con un perfil costanero casi lineal con el brazo largo del espigón, esto permite que los sedimentos se transporten hasta el morro del espigón, donde ocurre la refracción de las olas que hace que la arena entre a la dársena y se sedimente la ruta de acceso al muelle, ya que los sedimentos transportados a esta zona y al no estar en la línea de acción de la corriente litoral las partículas de sedimento de estar en estado de suspensión pasan a asentarse sobre el fondo marino, el cual genera la pérdida de calado tanto en la dársena como en la entrada al muelle.



**Figura 20.** Trayecto del transporte litoral



**Figura 21.** Sedimentación en el morro del espigón del brazo largo

### **3.2.2. Erosión Eólica.**

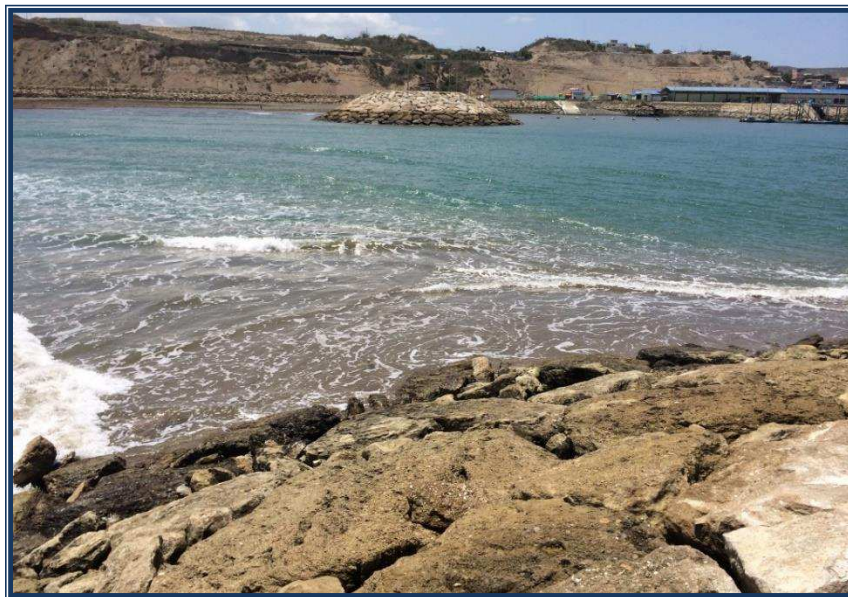
Considerando las velocidades obtenidas y la distancia del peñasco a la dársena del muelle, no es un elemento que afecte directamente, ya que no existe una energía suficiente para transportar las partículas de polvo o arena hasta la dársena.

La erosión provocada por el viento se acumula en la parte inferior del peñasco o esparcida en la nueva playa que se formó al lateral del puerto pesquero. Además la acción del viento, por tener la misma dirección casi todo el año que

la dinámica litoral o los frecuentes oleajes, favorece indirectamente a la sedimentación en el puerto.

### **3.2.3. Oleajes.**

Los oleajes más significativos que aportan a la sedimentación son los surestes, que son los que predominan a lo largo del año, por supuesto indirectamente ya que actúa con la dinámica litoral que es la principal causa de sedimentación. Todo esto debido a la dirección del transporte litoral, la cual tiene una dirección proveniente del este. Debido a que al aproximarse una ola hacia la costa, su dirección puede cambiar por el efecto de refracción, disipando gran cantidad de energía y formándose olas muy empinadas, por lo que el agua comienza a moverse a la misma velocidad de las olas, lo que se manifiesta en la turbulencia del agua, y provoca que los materiales de fondo sean removidos, mantenidos en suspensión y finalmente transportados.



**Figura 22.** Refracción de olas en el morro del brazo largo





**Figura 23.** Transporte de arena por corriente litoral y oleaje

### **3.3. Fallas en el Espigón.**

#### **3.3.1. Coraza de Protección del Espigón.**

##### **3.3.1.1. Diseño de la Sección Unitaria de la Piedra de Defensa**

Según el diseño de la protección del espigón, la coraza deberá tener 13,14 toneladas de peso o piedras con sección de 2,93 metros de diámetro, para soportar los diferentes oleajes que afectaran de manera directa al muelle. Pero las mediciones de campo nos reflejaron resultados distintos al diseño, las piedras de coraza tienen un peso promedio de 8,966 toneladas.

La diferencia entre los datos obtenidos en el diseño de coraza y la medición de campo, nos muestra una diferencia en peso de 4,174 toneladas. Debido a la diferencia de peso, la protección de coraza trabaja a un 68% de su efectividad de diseño.

Para este proyecto la coraza debía cumplir con un promedio aproximado de 13.14 toneladas, pero como se consideró olas de diseño con probabilidades mínimas, se impuso un ahorro económico debido a que piedras de dicho peso representan una inversión de alto costo al proyecto y dificultad para adquirir este material, por ello se propuso piedras de 7.5 a 10 toneladas.



**Figura 24.** Medición de campo geometría de la piedra coraza

### **3.3.1.2. Método Constructivo para la ubicación de la Piedra de Coraza.**

El método constructivo para la coraza debe cumplir estos parámetros:

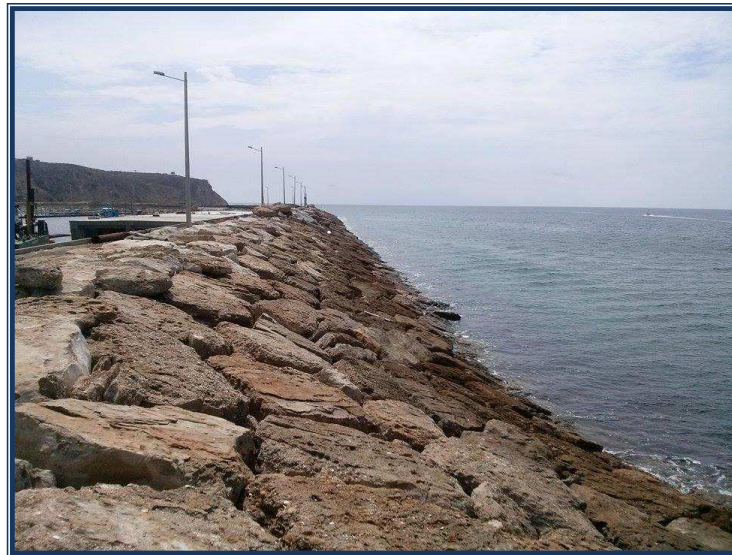
- Las piedras que conforman la estructura del enrocado deberán ser de forma tridimensional, es decir, con largo ancho y profundidad de valores similares (no planas en forma de placas con el espesor claramente inferior a las otras 2 medidas).
- Las piedras deberán quedar perfectamente ubicadas y trabadas entre sí con la superficie aristosa irregular, hacia la parte externa que da con el oleaje o superficie del mar donde debe cumplir la labor de romper la energía de las olas.

Cumpliendo estos parámetros, al usar piedras tridimensionales se logra un mejor anclaje entre ellas y se logra una mejor superficie irregular, en la cual se obtienen diferentes cambios de relieve que ayudan a disipar la energía de las olas.

Con una observación de campo se constató que las piedras que constituyen la coraza tienen una forma plana casi en un 100% de todo el espigón, y la ubicación entre piedras se las hizo en forma de rompecabezas y no se encuentran trabadas unas con otras, la cual forma una superficie plana a manera de barrera o muro, recibiendo la energía de la ola casi en su totalidad.



**Figura 25.** Forma aplanada de la piedra coraza



**Figura 26.** Proceso constructivo utilizado



## CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados de los estudios, se puede concluir que los factores que influyen en el problema de sedimentación y las fallas en el espigón del puerto pesquero artesanal de San Mateo son:

- La corriente litoral es el principal factor meteorológico que provoca la sedimentación, debido a la gran cantidad de partículas que transporta y la dirección con la que interacciona con el puerto de San Mateo.
- Por la ubicación donde está implantada la obra portuaria, ciertos factores meteorológicos se unifican para aumentar la sedimentación, como son los oleajes, que desempeñan una acción importante por la refracción de las olas y la energía con la que golpean las costas.
- El método constructivo utilizado en la coraza o piedra de protección no fue el correcto, debido a que no se respetó las normas de construcción y se consideró parámetros erróneos, como es la colocación de las piedras en forma de piezas simétricas, la cual evidencia su ineficiencia cuando los oleajes golpean el espigón de protección y este funciona como una pantalla recibiendo la energía de la ola en su totalidad, debido a que la superficie no es irregular y no se forman los espacios entre piedras para disipar la energía de la ola.
- El material utilizado como coraza en el espigón no cumplen con la geometría y peso de diseño, esto se debe a que las piedras de coraza puestas en obra representan un 68% del peso total de la piedra de diseño y tienen una forma aplanada, por lo tanto no tienen el peso óptimo y funcionalidad de estar trabadas entre sí para soportar los oleajes de gran magnitud.

## RECOMENDACIONES

- Se debe relacionar de mejor manera los diseños geométricos de un puerto con los diferentes factores meteorológicos que se producen en la zona del proyecto, para así tener una proyección exacta del funcionamiento del puerto cuando se encuentre influenciado por la acción de los diversos factores meteorológicos y su respuesta a los mismos.
- Ciertos parámetros de diseño donde se opta por economizar el proyecto, se deben a que no está en riesgo el bienestar de vidas humanas o bienes materiales, es por ello que en este tipo de obra no se debe considerar este tipo de criterios, ya que podría afectar a la población pesquera que tienen sus embarcaciones resguardadas en el muelle y podría demandar un mayor costo económico en la reparación de los elementos afectados.
- La calidad visual o estética en la coraza del espigón debe ser compatible con el requerimiento de funcionalidad de protección y no ser preferente del mismo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- INOCAR, Acta Oceanográfica
- INOCAR, Tablas de Mareas y datos astronómicos del sol y de la luna.
- KOMAR, P. Beach Processes and Sedimentation, 1978
- MACDONEL G. 2000 Ingeniería Marítima y Portuaria.
- Manual de Ingeniería Portuaria, Merrit Frederick, 1992
- SORENSEN, R. Basic Coastal Engineering, 1978
- US. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1975. Shore Protection Manual, Vol. I: Vol 2, Vol3.
- Zabala, A. (2015, 01). Viento. Diseño por viento.
- Werlinger, C (2004). Corrientes Marinas. Biología Marina y Oceanografía.
- Ibáñez, A (2011). Investigación de Análisis de Características Estructurales de Sucesos Extremos. Aplicación a la Evaluación De Riesgos en Geofísica y Medio Ambiente.

## ANEXOS



**Figura 27.** Panorámica de la sedimentación lateral



**Figura 28.** Sedimentación interna morro brazo largo



**Figura 29.** Sedimentación interna esquina plataforma



**Figura 30.** Sedimentación interna acceso al muelle



**Figura 31.** Modelo de coraza actual