

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
DESDE LA DESCARGA DEL SISTEMA DE DRAGADO  
AL NORTE DEL MOLO N° 3 DE SALAVERRY**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**WALDO MARTÍN SALCEDO ALMERCÓ**

**Lima - Perú**

**2011**

**Este presente trabajo se lo dedico a mis queridos padres Ignacio y Rosa Luz, por todos sus esfuerzos que me permiten seguir creciendo; y a mis hermanos por su apoyo; y a quienes siempre me valoran y apoyan.**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	4
<b>LISTA DE TABLAS</b>	5
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	6
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	7
<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>CAPITULO I: ANTECEDENTES</b>	10
1.1 MARCO DE REFERENCIA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	10
1.1.1 Marco de Referencia.	10
1.1.2 Diagnóstico de la Situación Actual	12
1.2 GENERALIDADES DEL PROYECTO A NIVEL DE PERFIL.	14
1.2.1 Nombre del Proyecto	14
1.2.2 Ubicación del Proyecto	14
1.2.3 Definición del Problema y sus Causas.	15
1.2.4 Objetivo del Proyecto	16
1.3 ESTUDIOS PRELIMINARES DEL PERFIL	17
1.3.1 Proyectos Alternativos	17
1.3.2 Beneficios de los Proyectos Alternativos.	18
1.3.3 Selección de Alternativas	19
1.4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PERFIL	19
1.4.1 Sistema de Conexión de Descarga.	19
1.4.2 Calculo del nivel batimétrico de descarga del material dragado	20
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	24
2.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .	24
2.1.1 Importancia del Transporte de Sedimentos	24
2.1.2 Factores que regulan la variación de la morfología de playas	25

2.1.3	Escalas de los procesos costeros	26
2.1.4	Mecanismos de Transporte de Sedimentos	28
2.2	FORMAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.	29
2.2.1	Transporte de sedimentos normal a la costa debido a olas	29
2.2.2	Transporte de sedimentos a lo largo de la costa debido a olas	30
2.3	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE COSTERO Y MARINO RELEVANTES AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	32
2.3.1	Morfología	32
2.3.2	Atmósfera	32
2.3.3	Oleaje .	33
2.3.4	Mareas.	38
2.3.5	Corrientes.	38
2.3.6	Sedimentos del Fondo Marino	40
2.4	HERRAMIENTAS DEL CÁLCULO .	40
2.4.1	Altura del Oleaje en un Punto de la Costa	40
2.4.2	Coefficiente se Bajos (shoaling)	41
2.4.3	Velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje según Bijker.	41
2.4.4	Transporte de Sedimentos de Fondo según el método de Bijker	42
2.4.5	Transporte de Sedimentos de Suspensión según el método de Bijker	43
2.4.6	Transporte de Sedimentos Total según el método de Bijker	44
	<b>CAPITULO III: EVALUACIÓN Y CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</b>	<b>46</b>
3.1	VARIABLES Y PARÁMETROS DE LA EVALUACIÓN	46
3.1.1	Estudio de la Refracción del Oleaje	46
3.1.2	Estudio de la Corrientes de Mareas .	46
3.1.3	Muestras de Fondo Marino	46
3.2	METODOLOGÍA Y ZONA DE LA EVALUACIÓN.	47
3.2.1	Metodología	47

3.2.2	Zona de la Evaluación	48
3.3	MODELO DE EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	48
3.4	CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	50
3.4.1	Cálculo de los coeficientes de refracción ( $K_r$ )	50
3.4.2	Cálculos de la altura y profundidad en la rompiente	50
3.4.3	Cálculo del coeficiente de bajos ( $K_s$ ).	53
3.4.4	Cálculo de la velocidad inducida por el oleaje ( $V$ )	54
3.4.5	Cálculo del transporte de sedimentos de fondo ( $S_b$ ).	54
3.4.6	Cálculo del transporte de sedimentos de suspensión ( $S_s$ )	55
3.4.7	Cálculo del transporte de sedimentos total ( $S_{Total}$ )	57
	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS</b>	<b>59</b>
4.1	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN.	59
4.2	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	60
4.3	MEDIDAS COMPLEMENTARIAS A ADOPTAR.	63
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>65</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>70</b>

## RESUMEN

Debido a que en la costa norte del país no existen zonas de abrigo natural para la construcción de obras portuarias, estas han requerido de obras de protección (rompeolas, molos, etc.), como es el caso del Terminal Portuario de Salaverry, lo cual ha generado un impacto negativo al romper el equilibrio del transporte natural de sedimentos. Por tal razón, sin los aportes de sedimentos ubicados en la zona sur del molo retenedor de arena, hacia el norte se ha originado en el transcurso de los últimos 50 años una pérdida progresiva de playas al norte del Puerto de Salaverry.

A pesar de que las playas varían ampliamente en apariencia y composición, los principios que gobiernan sus comportamientos son los mismos. El mecanismo básico del proceso de cambio es el levantamiento de millones de granos de arena del fondo debido a la fricción (tensiones de corte) generada principalmente por el flujo oscilatorio asociado al oleaje, la fricción de las corrientes y/o por la turbulencia generada al paso y rotura de la ola. Ya que mientras el sedimento se encuentra en suspensión y/o arrastre de fondo, es susceptible de ser transportado a lo largo de la costa por las corrientes inducidas por el oleaje.

Las características del medio ambiente costero y marino relevantes al transporte de sedimentos que influyen sobre el movimiento de sedimentos son la morfología que describe la batimetría, la atmosfera que determina el grado de las condiciones de viento y de presión atmosférica, el oleaje que constituye la sollicitación fundamental a la que está sometida la costa norte del molo N° 3 del Puerto de Salaverry, las mareas, las corrientes y finalmente los sedimentos del fondo marino.

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.01 Cuadro de altura ( $H_b$ ), profundidad ( $d_b$ ) y longitud de ola ( $L$ ).	21
Tabla N° 1.02 Capacidad de Transporte de Sedimentos Anual.	21
Tabla N° 2.01 Clasificación de las escalas de los procesos costeros.	26
Tabla N° 2.02 Clasificación jerárquica de sistemas morfodinámicos en la Costa.	26
Tabla N° 2.03 Clasificación de las olas, según el periodo ( $T$ ).	34
Tabla N° 2.04 Distribución de olas Swell en aguas profundas para Salaverry.	35
Tabla N° 3.01 Altura de olas significantes en aguas profundas en Salaverry	51
Tabla N° 3.02 Cálculo de la altura de olas ( $H_b$ ) en la zona de rompiente.	52
Tabla N° 3.03 Cálculo de la profundidad de olas ( $d_b$ ) en la zona de Rompiente.	53
Tabla N° 3.04 Cálculo del coeficiente de bajos ( $K_S$ ) en la zona de Rompiente.	53
Tabla N° 3.05 Cálculo de los parámetros ( $\Upsilon$ ), ( $f_w$ ) y ( $C$ ).	54
Tabla N° 3.06 Cálculo de la velocidad inducida por el oleaje ( $V$ ).	54
Tabla N° 3.07 Cálculo de los parámetros ( $C$ ), ( $\mu$ ) y ( $\xi$ ).	55
Tabla N° 3.08 Cálculo del transporte de sedimentos de fondo ( $S_b$ ).	55
Tabla N° 3.09 Cálculo de los parámetros independientes $Z$ . y $A$ .	56
Tabla N° 3.10 Cálculo del transporte de sedimentos en suspensión ( $S_s$ ).	56
Tabla N° 3.11 Cálculo del transporte de sedimentos total ( $S_{Total}$ ).	57
Tabla N° 3.12 Cálculo del transporte parcial anual de sedimentos.	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01 Planteamiento del Sistema de Bypass de arena.	11
Figura N° 1.02 Evolución de la sedimentación al sur del puerto de Salaverry	12
Figura N° 1.03 Balneario de Buenos Aires en el 2003.	13
Figura N° 1.04 Balneario de Buenos aires en el 2010.	13
Figura N° 1.05 Mapa geográfico de la provincia de Trujillo.	14
Figura N° 1.06 Balneario de Las Delicias en el año 1942.	15
Figura N° 1.07 Balneario de Las Delicias en el año 2000.	16
Figura N° 1.08 Proceso morfológico en Salaverry.	16
Figura N° 1.09 Acoplamiento del B/D con el Sistema de Descarga.	20
Figura N° 1.10 Estimación del Transporte de Sedimentos en la rompiente.	22
Figura N° 1.11 Sistema de descarga del material dragado.	23
Figura N° 1.12 Perfil Longitudinal del Sistema de Descarga.	23
Figura N° 2.01 Factores que intervienen en la morfodinámica.	27
Figura N° 2.02 Evolución de un perfil de playa genérico.	30
Figura N° 2.03 Esquema del efecto de una estructura sobre la configuración de la línea costera.	31
Figura N° 2.04 Elementos básicos de una ola.	33
Figura N° 2.05 Macro Distribución del Oleaje en Salaverry.	36
Figura N° 2.06 Gráfico de mareas en Salaverry, de la Tabla de Mareas.	38
Figura N° 2.07 Corriente Peruana o Corriente de Humboldt.	39
Figura N° 2.08 Movimientos opuestos a ambos lados de la línea de rotura.	40
Figura N° 2.09 Gráfico para obtener los parámetros de sedimento en Suspensión.	45
Figura N° 3.01 Zona de la evaluación del transporte de sedimentos.	48
Figura N° 3.02 Gráfico de CERC: Altura de Ola Rompiente.	51
Figura N° 3.03 Gráfico de CERC: Profundidad de Ola Rompiente.	52
Figura N° 3.04 Transporte de sedimentos en la rompiente.	53
Figura N° 4.01 Sistema de descarga del material dragado al norte del Molo N° 3.	61
Figura N° 4.02 Configuración de la línea de costa luego de 3 meses.	63
Figura N° 4.03 Configuración de la línea de costa luego de 1 año.	64
Figura N° 4.04 Configuración de la línea de costa luego de 5 años.	64

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

<b>Símbolo o Sigla</b>	<b>Descripción</b>
A	: Parámetro del transporte de sedimentos en suspensión. : Máxima amplitud orbital en el fondo.
B	: Parámetro adimensional determinado en 1977, con un valor de 5
B/D	: Buque Draga.
C	: Coeficiente de Chezy.
CERC	: Coastal Engineering Research Center.
$c_0$	: Celeridad de la ola en aguas profundas, en m/seg.
d	: Profundidad de ola, en m.
$d_0$	: Profundidad de ola en aguas profundas, en m.
$d_b$ ó $d_r$	: Profundidad de ola en la zona de rompiente, en m.
D	: Diámetro medio de la partícula de sedimento
$D_{50}$	: Diámetro representativo del sedimento del 50% que pasa.
$D_{90}$	: Diámetro representativo del sedimento del 90% que pasa.
$f_w$	: Parámetro adimensional de fricción.
g	: Gravedad, en $m/seg^2$ .
$H_0$	: Altura de la ola en aguas profundas, en m.
H	: Altura del oleaje en un punto de la costa, en m.
$H_b$ ó $H_r$	: Altura de la ola en la zona de rompiente, en m.
$H_s$	: Altura significativa de ola, en m.
$K_D$	: Coeficiente de difracción.
$K_f$	: Coeficiente de decaimiento por fricción.
$K_r$	: Coeficiente de refracción.
$K_R$	: Coeficiente de reflexión.
$K_{r1}$	: Coeficiente de refracción en aguas profundas.
$K_{r2}$	: Coeficiente de refracción en aguas intermedias.
$K_{r3}$	: Coeficiente de refracción en aguas poco profundas.
$K_s$	: Coeficiente de bajos (shoaling).
$k'$	: Constante adimensional de Von Karman $\approx 0.40$
k	: Número de ola.
m ó S	: Pendiente de la playa.
L	: Longitud de la ola, en m.
$L_0$	: Longitud de la ola en aguas profundas, en m.

$L_r$	: Longitud de la ola en la zona de rompiente, en m.
$r$	: Rugosidad del fondo a lo largo de la playa.
$Q$	: Parámetro de Transporte litoral.
$S_b$	: Transporte de sedimentos de fondo, en $m^3/año$ .
$S_s$	: Transporte de sedimentos en suspensión, en $m^3/año$ .
$S_{Total}$	: Transporte de sedimentos total, en $m^3/año$ .
$T$	: Periodo de las olas, en seg.
THSD	: Trailing Suction Hopper Dredgers.
TPS	: Terminal Portuario de Salaverry.
$u_b$	: Máxima velocidad orbital en el fondo, en m/seg.
$\tilde{u}_b$	: Máxima velocidad orbital horizontal en el fondo, en m/seg.
$\mu$	: Factor de rizos.
$\mu'$	: viscosidad dinámica del agua
$V$	: Velocidad de la corriente inducida por el oleaje, en m/seg.
VAN	: Valor Actual Neto.
$W$	: Velocidad de caída de la partícula de diámetro $D$ del sedimento.
$Z$	: Parámetro del transporte de sedimentos en suspensión.
$\emptyset$	: Ángulo formado por la cresta de la ola y la batimétrica.
$\emptyset_0$	: Ángulo formado por la cresta de la ola y la batimétrica en aguas profundas.
$\Upsilon$	: Índice de rompiente.
$\Delta$	: Densidad relativa.
$\rho_s$	: Densidad del sedimento.
$\rho$	: Densidad del agua.
$\tau_c$	: Cortante de fondo.

## INTRODUCCIÓN

El cálculo del volumen de sedimentos transportado dentro de la zona de rompientes se realiza para la evaluación de impacto sobre el perfil de la línea de costa debido a la presencia de la obra de paso elevado que interrumpirá dicho transporte.

Desde la perspectiva de la ingeniería, los fenómenos costeros sedimentarios están estrechamente relacionados con varios problemas importantes, tales como la sedimentación de las dársenas de los puertos o la erosión de playas.

Los procesos de erosión - acumulación por efectos de la implantación de estructuras requieren del conocimiento de los materiales que conforman las playas, el clima de oleaje cercano, la naturaleza de la obra a construir, entre otros.

El presente Informe de Suficiencia, consta de cuatro capítulos:

- Capítulo I: Antecedentes; donde se destaca los objetivos del proyecto, la ubicación de la zona de estudio, y se desarrolla un resumen breve y conciso del Estudio de Pre Inversión a Nivel de Perfil, desarrollado con anterioridad al presente Informe de Suficiencia.
- Capítulo II: Marco teórico; donde se desarrolla los conceptos básicos de la Hidráulica Marítima y de la Ingeniería de Costas, los cuales servirán para la elaboración del informe de la evaluación del transporte de sedimentos.
- Capítulo III: Evaluación y cálculo del transporte de sedimentos; donde se estudiarán las variables y parámetros de la zona de la evaluación, siguiendo una metodología para obtener cuantitativamente el transporte de sedimentos a través de un modelo de sedimentación/erosión inicial.
- Capítulo IV: Resultados; donde se evaluará e interpretarán los resultados obtenidos en el capítulo III, así mismo se complementarán medidas a seguir en paralelo para alcanzar los objetivos planteados en plazos menores.

En la sección de anexos se proporciona la información complementaria de datos necesarios para la elaboración del presente informe.

## CAPITULO I: ANTECEDENTES

### 1.1 MARCO DE REFERENCIA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

#### 1.1.1 Marco de Referencia

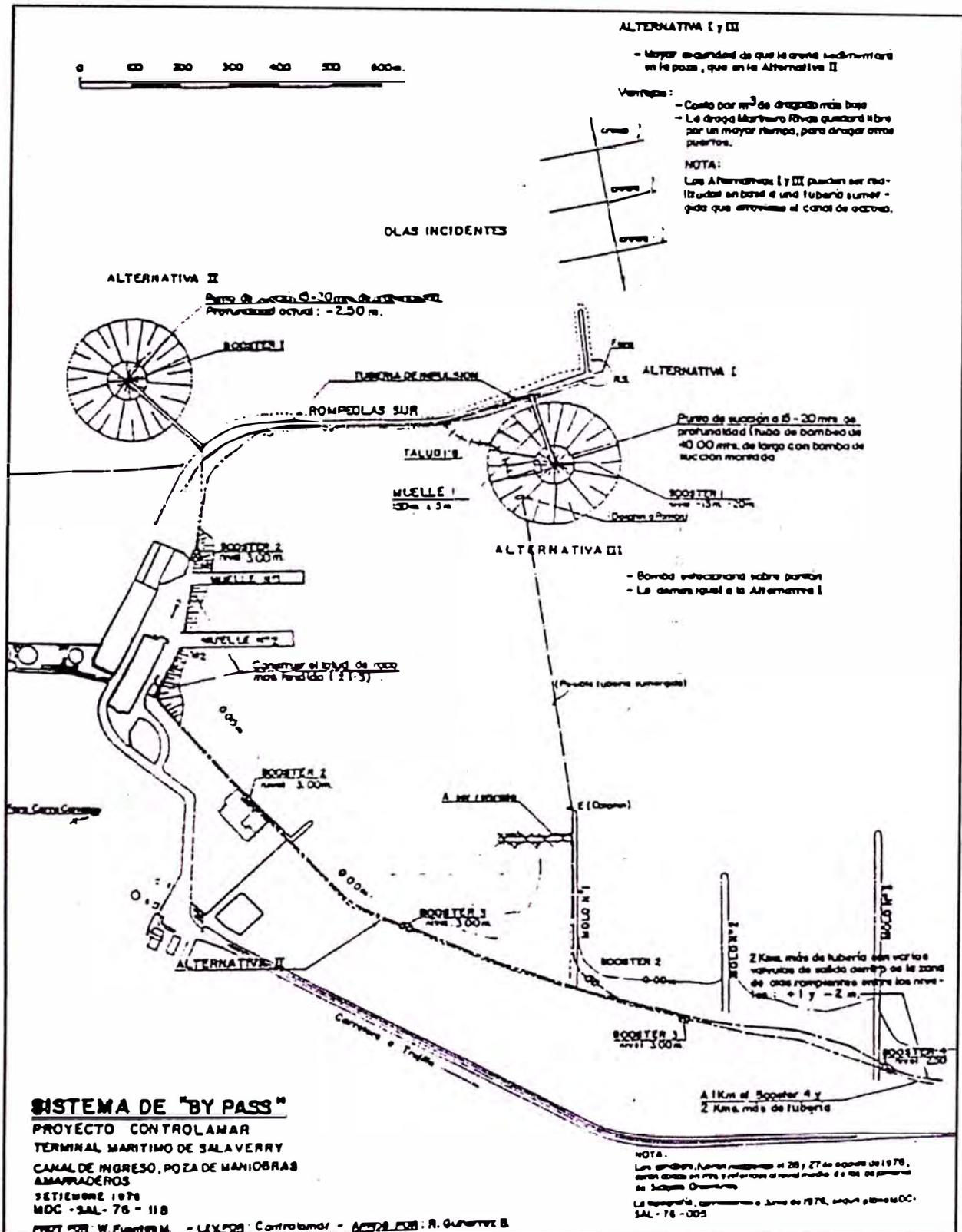
La costa norte del país no presenta zonas de abrigo natural para el emplazamiento de obras portuarias. Por el contrario la costa norte es una zona abierta lo que hace que el fenómeno de transporte de sedimentos sea un punto importante cuanto se trate de construir estructuras sobre el litoral.

Por lo tanto, con el inicio de la construcción del rompeolas principal del Puerto de Salaverry en 1956 se comenzó a obstruir el transporte de sedimentos causando arenamiento al sur y erosión al norte del Puerto. Una vez colmatada la capacidad de almacenaje de arena al sur del rompeolas, la arena comenzó a sobrepasar delante de él, depositándose en el extremo interior del mismo. Este ingreso aumentaba paulatinamente hasta alcanzar la magnitud del transporte de los sedimentos existentes antes de la construcción del puerto. [1]

Posteriormente la Empresa Nacional de Puertos concluyó como consecuencia de las mediciones efectuadas hasta 1977, que para restablecer el régimen de transporte de la arena a lo largo del litoral, como existía antes de la construcción del rompeolas principal, lo indicado sería la instalación de un sistema de Bypass de arena entre la zona donde éste se acumula hasta la zona donde ésta hace falta o sea en la zona erosionada. [1] Por lo que se recomendó aquel entonces la ejecución de un estudio definitivo del estudio para el diseño de un sistema de Bypass de arena que a mediano plazo daría solución al problema, sin embargo esto no pudo ser realidad debido al alto costo de inversión inicial que demandaría la implementación de este sistema; en la Figura N° 1.01 se ilustra el planteamiento del sistema de Bypass de arena con tres alternativas diferentes.

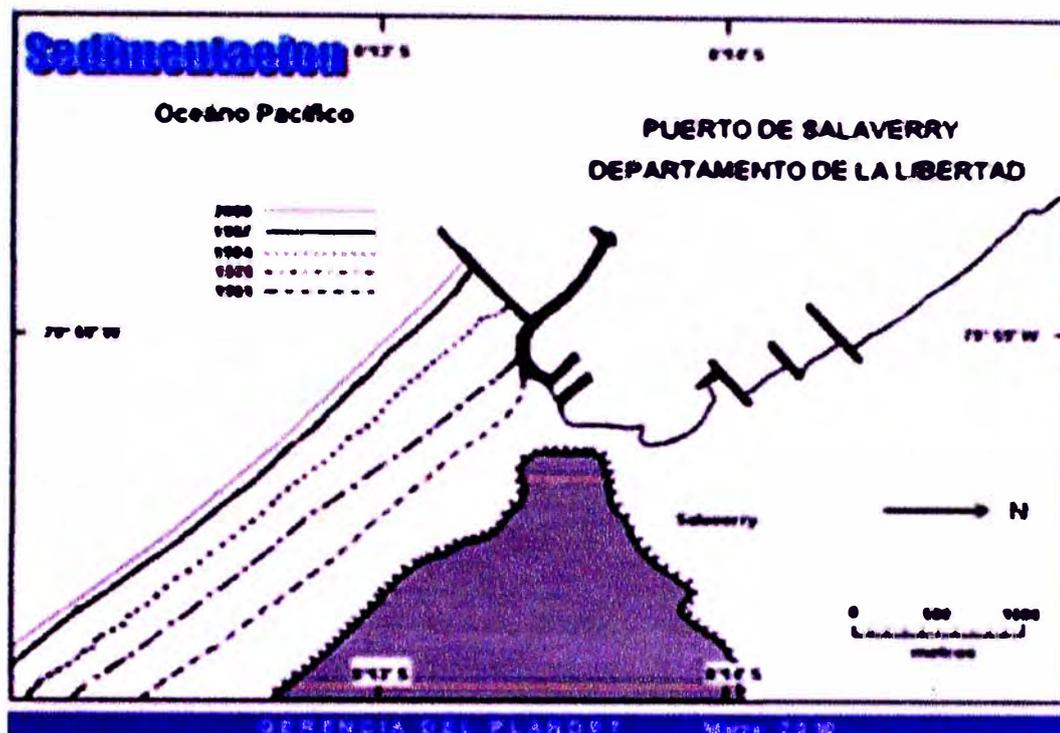
La evolución de la sedimentación al sur del Puerto de Salaverry es ilustrado a manera cronológica en la Figura N° 1.02, en donde se muestra el crecimiento de la sedimentación al sur desde el inicio de la construcción del rompeolas principal en 1956 y luego con la construcción del molo retenedor de arena de 300 metros de largo, perpendicular al rompeolas en la zona del cabezo, en 1973. [7] Este último ampliado por primera vez a 535 metros en 1982 y por segunda vez hasta una longitud actual de 1035 metros en el 2003.

Figura N° 1.01: Planteamiento del Sistema de Bypass de arena.



Fuente: ALAD - II Congreso Latinoamericano de Dragado.

Figura N° 1.02: Evolución de la sedimentación al sur del puerto de Salaverry.



Fuente: Petrolina Ibáñez Lagorio, Seminario de Ingeniería de Costas y Puertos 1977. [6]

### 1.1.2 Diagnóstico de la Situación Actual

Actualmente la población y las autoridades locales de Trujillo son conscientes del problema de erosión de los balnearios de Las Delicias, Buenos Aires y en menor grado en Huanchaco, por causa de la construcción del molo retenedor de arena del puerto de Salaverry, construido para frenar el pase de arena hacia el puerto en mención con fin de permitir un calado necesario para la operatividad del puerto, lo cual trajo como consecuencia la disminución de la arena en los balnearios ya mencionados, por lo que plantean que si no se toman las medidas pertinentes, el casco urbano será cada vez afectado, como es el caso de Buenos Aires, donde prácticamente la playa ha desaparecido, por lo que solicitan al gobierno Regional y Central se adopten soluciones integrales y no paliativas del problema.

Una muestra de esta problemática lo evidenciamos en la Figura N° 1.03 donde se muestra la playa de Buenos Aires en el 2003 con un gran espacio de playa suficiente para los veraneantes, un gran trecho entre la orilla y el muro que limita con las veredas, actualmente Buenos Aires luce como la Figura N° 1.04 sin playa

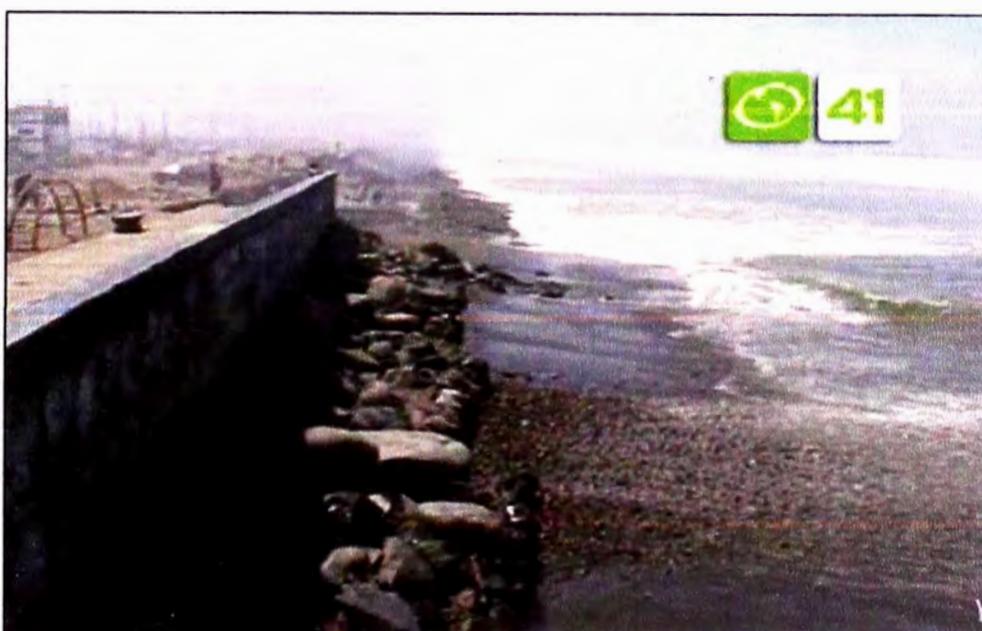
sin arena y amenazante, no hubo recuperación de arena, no hubo reacción a tiempo. [11]

Figura N° 1.03: Balneario de Buenos Aires en el 2003.



Fuente: OZONO TV Canal 41 – Ozono Television's Channel.

Figura N° 1.04: Balneario de Buenos Aires en el 2010.



Fuente: OZONO TV Canal 41 – Ozono Television's Channel.

Pero en que beneficia tener un litoral con más espacio de playa, la respuesta es tan sencilla como necesaria, la protección de nuestras costas ante cualquier fenómeno natural, mantener las zonas urbanas lo más alejadas del mar y proteger el hábitat de seres vivos.

## 1.2 GENERALIDADES DEL PROYECTO A NIVEL DE PERFIL

### 1.2.1 Nombre del Proyecto

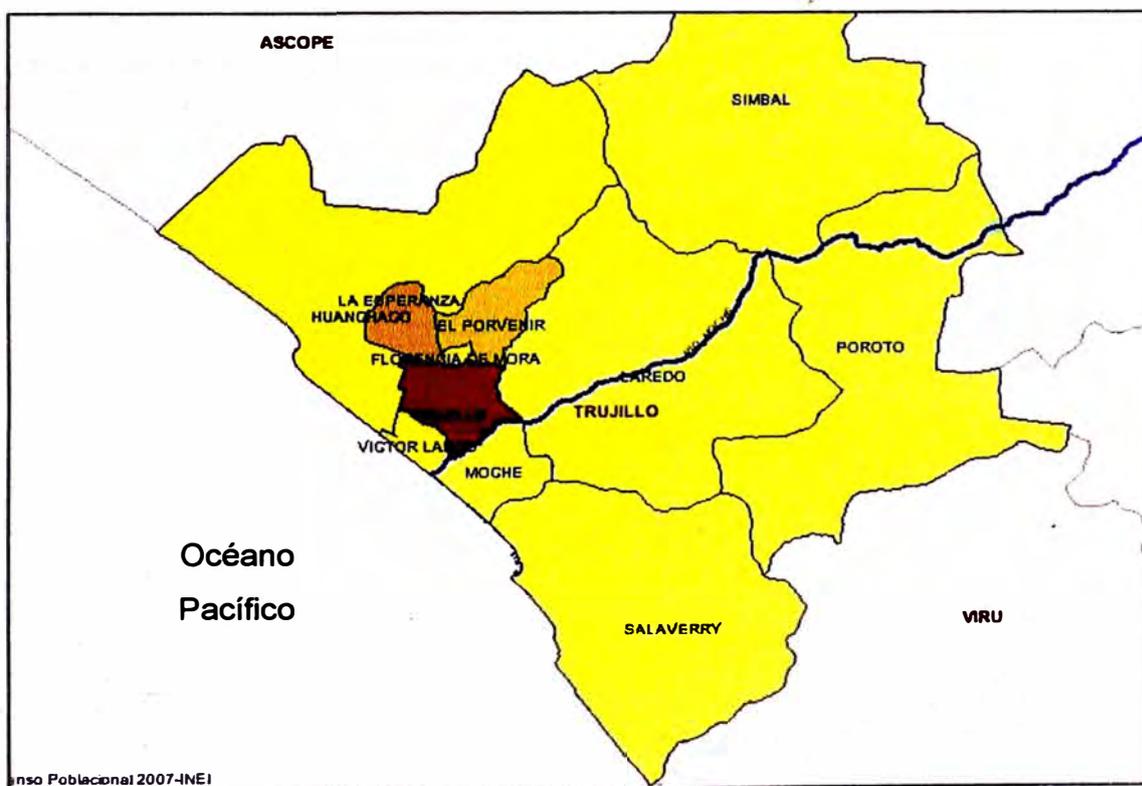
#### “PROTECCIÓN DE LA COSTA NORTE DEL PUERTO DE SALAVERRY”

- VALORIZACIÓN DE LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO EN LA COSTA NORTE DE SALAVERRY
- VALORIZACIÓN DE LOS BIENES INMUEBLES Y OTRAS ESTRUCTURAS PERDIDAS Y AFECTADAS POR EL OLEAJE

### 1.2.2 Ubicación del Proyecto

La zona en estudio comprende la costa norte del puerto de Salaverry, en los distritos de Moche, Víctor Larco y Huanchaco pertenecientes a la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. En el perfil se mencionaran dos balnearios como puntos de referencia del análisis realizado en la zona de estudio, el primero es el balneario de Buenos Aires que se encuentra ubicado en el distrito de Víctor Larco y el segundo es el balneario de Las Delicias que se encuentra ubicado en el distrito de Moche; en la Figura N° 1.05 se aprecia el mapa geográfico de la provincia de Trujillo donde se aprecian los distritos en mención.

Figura N° 1.05: Mapa geográfico de la provincia de Trujillo.



Fuente: Municipalidad Provincial de Trujillo - Censo Poblacional 2007 – INEI. [2]

### 1.2.3 Definición del Problema y sus Causas

Debido a que en la costa norte del país no existen zonas de abrigo natural para la construcción de obras portuarias, estos han requerido de obras de protección como es el caso del Terminal Portuario de Salaverry; el cual ha generado un impacto negativo al romper el equilibrio del transporte natural de sedimentos; por tal razón sin los aportes de sedimentos ubicados en la zona sur del molo retenedor de arena, a las playas hacia el norte se ha originado en el transcurso de los últimos 50 años una pérdida progresiva de playa en los balnearios de Las Delicias y Buenos Aires; por lo que se plantea que si no se toman las medidas preventivas pertinentes, el casco urbano periférico al litoral se verá seriamente afectado, como es el caso del balneario de Buenos Aires, donde prácticamente la playa ha desaparecido, con una pérdida en promedio de costa desde el año 1978 al 2008 de 221.43 metros, siendo esta la erosión de playa más grande conocida en el litoral peruano. [8]

Situación similar se aprecia en el balneario de Las Delicias, donde el lapso de 58 años se ha perdido 160 metros lineales de playa, en la Figura N° 1.06 observamos a Las Delicias de 1942, la distancia entre el centro y el mar era 160 metros, en la Figura N° 1.07 observamos a Las Delicias en el 2000, donde dicha distancia se había reducido a 35 metros, y se estima en el presente año se llegó a alcanzar los 160 metros lineales de playa perdidos por el oleaje del mar. [11]

Figura N° 1.06: Balneario de Las Delicias en el año 1942.



Fuente: OZONO TV Canal 41 – Ozono Television's Channel.

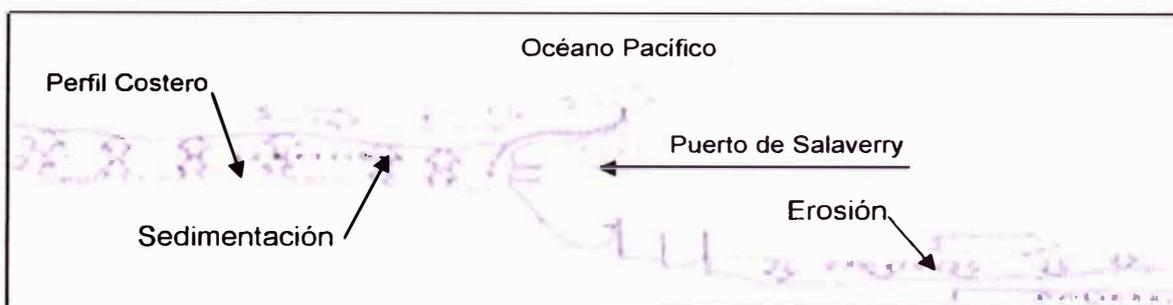
Figura N° 1.07: Balneario de Las Delicias en el año 2000.



Fuente: OZONO TV Canal 41 – Ozono Television's Channel.

A continuación se ilustra en la Figura N° 1.08 el proceso morfológico en Salaverry, donde se produce al sur un crecimiento de playa producto de la sedimentación generada por la obstrucción de las obras de abrigo, mientras que en el norte se genera una erosión del perfil costero producto de este desequilibrio del transporte natural de los sedimentos.

Figura N° 1.08: Proceso morfológico en Salaverry.



Fuente: Elaboración propia.

#### 1.2.4 Objetivo del Proyecto

El perfil "Protección de la costa norte de Salaverry" tiene por objetivo principal mitigar y/o recuperar la costa norte de Salaverry de la erosión permanentemente causada por la construcción del rompeolas principal y del molo retenedor de arena del puerto de Salaverry, tal como se muestra en el esquema siguiente.



- Habilitación de una boya con conexión de descarga para la deposición del material dragado en el puerto.
- Tendido de una línea de tuberías flotantes desde la boya hasta una distancia recomendable, de aguas con una batimétrica apropiada fuera de la zona de rompiente.
- Tendido de una línea de tuberías submarina en la zona de rompiente localizando un punto de descarga en la zona de mayor transporte de sedimentos ubicada al norte del molo N°3.

### 1.3.2 Beneficios de los Proyectos Alternativos

#### ***Proyecto alternativo 1:***

##### ***Alquiler Anual de Buque Draga THSD para dragado del TPS***

Los beneficios generados por esta alternativa son pocos, pues solo mantiene las condiciones iniciales en condiciones adecuadas:

- Mantiene la profundidad de calado del TPS, y en caso que por crecimiento económico comercial del puerto se incremente la profundidad de calado, se aumentarían los sobrecostos a la tarifa de movimiento de carga ocasionando que el puerto sea menos atractivo para el comercio.
- Mitigar la erosión del Perfil Costero de la zona norte del puerto, a través del sistema de conexión de descarga. Esta descarga se realizaría solo durante el tiempo de alquiler del B/D.

#### ***Proyecto alternativo 2:***

##### ***Compra de Buque Draga THSD para dragado del TPS y Otros Puertos***

Los beneficios generados por esta alternativa son diversos, pues al ser propietario del B/D una vez realizado los trabajos de dragado en el TPS, se puede alquilar a otros puertos que tengan necesidad de dragar material.

- Mantiene la profundidad de calado del TPS, y con el crecimiento económico y comercial del puerto se puede incrementar la profundidad de dragado para que se atiendan buques de mayor capacidad.
- Mitigar la erosión del Perfil Costero de la zona norte del puerto, a través del sistema de conexión de descarga de material dragado. La descarga se puede programar adecuadamente para optimizar la mitigación y/o regeneración del Perfil Costero de la zona norte del TPS.
- Ingresos económicos por el alquiler del B/D para el dragado de material de los puertos del Callao, Chimbote, Paita y Melchorita, si estos lo requieren.

### 1.3.3 Selección de Alternativas

Dado que el VAN (Alt.1)  $\ll$  VAN (Alt.2), inicialmente se puede elegir la Alternativa 2. Ver Flujo de Caja de ambas alternativas en el Anexo I.

En la Alternativa 1 por el análisis de sensibilidad se observa que el proyecto solo es rentable con un sobre costo adicional, como se observa en el Flujo de Caja los Sobrecostos Totales a la tarifa de transporte de carga oscilan inicialmente entre los S/. 10.35 y al incrementar estos sobrecostos adicionales generaría mayores costos de transporte de carga al usuario, lo que se traduce en menores cargas de importación y/o exportación en el TPS.

En la Alternativa 2 se tiene que ya es rentable por tener el VAN  $> 0$ , además se tiene que este VAN se produjo con una tarifa de dragado menor a la del mercado actual (S/.12.71  $<$  S/.14.00), con lo cual se puede competir en el mercado actual, pues los puertos con una demanda de dragado constante verán con más atractivo la menor tarifa de dragado y los menores costos de transporte del B/D.

De los Flujos de Caja de ambas alternativas se observa que existe un mayor aumento en el VAN para la Alternativa 2 con el incremento del sobre costo adicional.

Por lo expuesto se ratifica la elección inicial de la **Alternativa 2** para que el proyecto sea viable.

## 1.4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PERFIL

La variación fundamental entre las alternativas propuestas radica en el alquiler o compra del buque draga, donde la elección del equipo de dragado tiene una gran importancia debido a la problemática de las tareas de dragado [4], a continuación se realizará la descripción técnica del perfil en función del sistema de descarga y de la ubicación del tendido de la línea de tubería hacia la zona de rompiente con mayor capacidad de transporte de sedimentos.

### 1.4.1 Sistema de Conexión de Descarga

Cuando el objeto del dragado es realizar rellenos de terrenos o de playas la descarga de la draga se efectúa mediante tuberías. Para ello se acopla el B/D mediante una tubería flexible, flotante al dispositivo de proa preparado para ello, se vincula esta tubería flotante a otro tramo de tubería rígida, normalmente sumergida y apoyada en el fondo y se bombea el material, como se ilustra en la Figura N° 1.09.

Figura N° 1.09: Acoplamiento del B/D con el Sistema de Descarga.



Fuente: Elaboración propia.

Para mayor facilidad de bombeo el material se mezcla con agua mediante chorros en la cántara para hacerlo una mezcla fluida. La operación de anclar la draga, conectar la tubería y realizar el bombeo del material lleva más tiempo que el de descarga de fondo.

El sistema de descarga por tubería será en parte flotante, hasta una zona fuera de la rompiente, y submarina en la zona de rompiente para evitar la rotura del oleaje. La longitud de la tubería y la ubicación de los extremos se obtienen en función de los cálculos de los parámetros de hidráulica marítima. (Ver Anexo II).

#### 1.4.2 Cálculo del nivel batimétrico de descarga del material dragado

Para el perfil en mención se han obtenido parámetros de la tesis de maestría FIA-UNI, del Ing. Hugo Rodolfo Maldonado Contreras: "Determinación del Impacto Erosivo en el litoral por la construcción del Puerto de Salaverry y el Molo Retenedor de Arena, desarrollando un estudio de erosión". [8]

Tenemos los datos generales:

- $T = 14.0$  seg.
- $L_0 = 305.76$  m
- $d_0 = 152.88$  m

Luego en base a la información de la altura de olas significativas en aguas profundas con sus respectivos porcentajes de ocurrencia, obtenida de ENAPUJ

para el TPS, usamos las tablas de Goda para calcular altura y profundidad de las olas en zona de rompiente que se muestran en la Tabla N° 1.01.

Tabla N° 1.01: Cuadro de altura ( $H_b$ ), profundidad ( $d_b$ ) y longitud de ola ( $L$ ).

Ocurrencia (%)	$H_o$ (m)	$H_b$ (m)	$d_b$ (m)	$L$ (m)
1.60	0.75	1.22	1.54	54.129
18.40	1.05	1.60	2.01	61.739
47.00	1.40	2.00	2.53	69.143
28.00	1.91	2.58	3.25	78.170
4.40	2.55	3.25	4.10	87.541
0.54	3.20	3.89	4.92	95.624
0.06	3.75	4.42	5.59	106.937

Fuente: Elaboración propia.

Luego se tiene como datos los coeficientes de refracción para aguas profundas, intermedias y someras. [8]

**Dirección Sur:**

$K_{r1} = 0.9367$  : Coeficiente de refracción en aguas profundas.

$K_{r2} = 0.9048$  : Coeficiente de refracción en aguas intermedias.

$K_{r3} = 0.9974$  : Coeficiente de refracción en aguas poco profundas.

**Dirección Sur - Oeste:**

$K_{r1} = 0.9581$  : Coeficiente de refracción en aguas profundas.

$K_{r2} = 1.0423$  : Coeficiente de refracción en aguas intermedias.

$K_{r3} = 0.9897$  : Coeficiente de refracción en aguas poco profundas.

Con estos datos y aplicando la fórmula de Bijker se obtiene la Tabla N° 1.02.

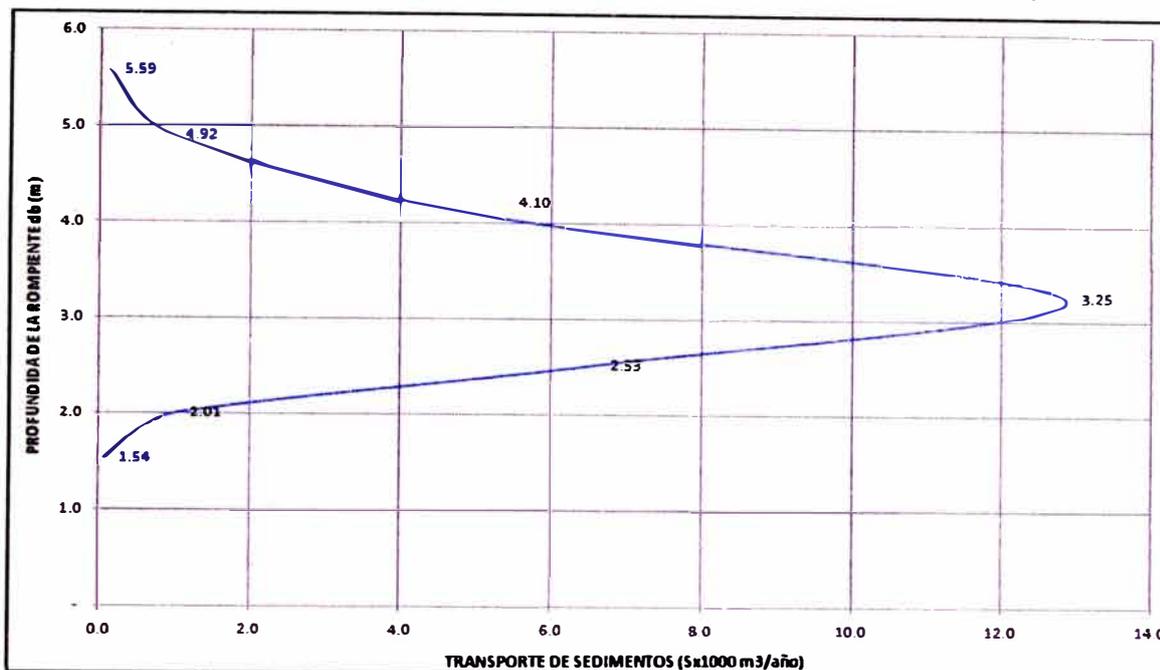
Tabla N° 1.02: Capacidad de Transporte de Sedimentos Anual.

$d_b$ (m)	$H_b$ (m)	$K_s$	$V$ (m/s)	$S_s/S_b$	$Q$	$S_{total}$ $m^3/s/m$	$S'_{TOTAL}$ $m^3/s$	Ocurrencia (%)	$S_{TOTAL}$ $m^3/s$
1.54	1.22	1.6901977	0.342	3.00	1.64	0.00005449	0.00381437	1.60	0.00006103
2.01	1.60	1.5851446	0.528	7.00	3.83	0.00018486	0.00554573	18.40	0.00102041
2.53	2.00	1.5005676	0.762	15.00	8.20	0.00056175	0.01404383	47.00	0.00660060
3.25	2.58	1.4147428	1.131	18.00	9.84	0.00102163	0.04597340	28.00	0.01287255
4.10	3.25	1.3407969	1.629	35.00	19.13	0.00282814	0.11312541	4.40	0.00497752
4.92	3.89	1.2885191	2.167	38.00	20.77	0.00408941	0.17379995	0.54	0.00093852
5.59	4.42	1.2777161	2.667	40.00	21.88	0.00531672	0.17279341	0.06	0.00010368
<b>TOTAL</b>									<b>0.02657431 <math>m^3/s</math></b>
									<b>826,567.34 <math>m^3/año</math></b>

Fuente: Elaboración propia.

De los datos de la tabla anterior se realiza la Figura N° 1.10.

Figura N° 1.10: Estimación del Transporte de Sedimentos en la rompiente.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de la Figura N° 1.10, se puede concluir dos aspectos importantes:

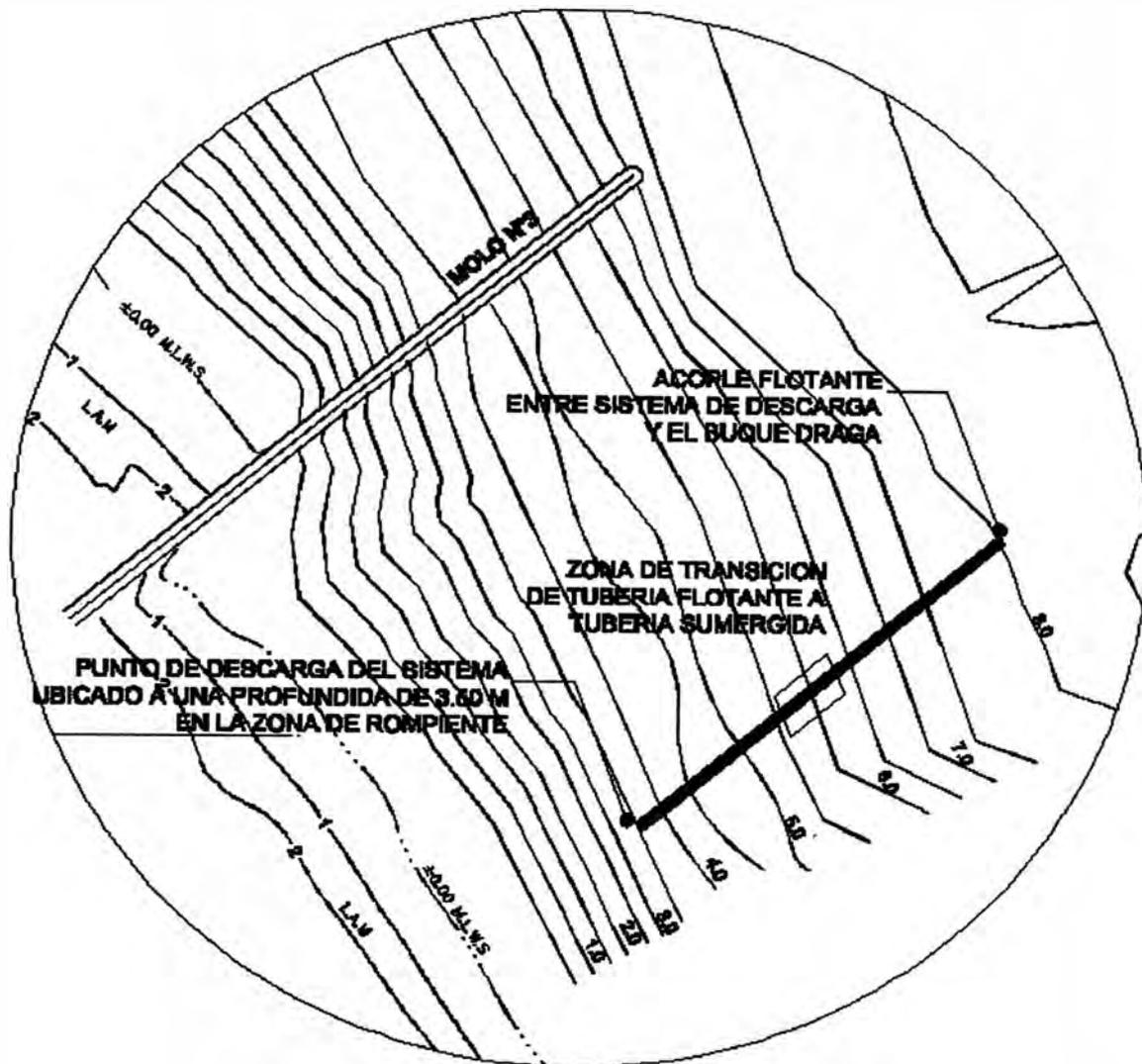
- La zona de rompiente se extiende hasta la cota = 6.00 m
- La profundidad a la cual se da el mayor transporte de sedimentos es en la cota = -3.25 m.

Por tanto la zona donde descargará el material será en la cota -3.25 m, y a esta altura se colocara la tubería submarina como se muestra en la Figura N° 1.11. Luego en base al perfil longitudinal del Sistema de Descarga ilustrado en la Figura N° 1.12 se tiene que esta profundidad está a 170.0 m de la línea costera aproximadamente. Como la profundidad a la cual se desarrolla la zona de rompiente es aproximadamente 6.00 m, y está ubicada a 285.0 m de la línea costera, se tiene que la tubería submarina deberá tener 115.0 m de longitud aproximadamente.

Se tiene por dato del B/D TSHD, que esta tiene un calado de aproximadamente 5.50 m, y por seguridad siempre debe existir 2.50 m de diferencia entre la parte inferior del B/D y el fondo marino. Por tanto se deberá ubicar el acoplamiento a una profundidad de  $5.50 + 2.50 = 8.00$  m; y esta se ubica a 480.0 m de la línea costera aproximadamente. Por lo tanto la tubería flotante tendrá una longitud de 195.0 m aproximadamente, y se unirá al punto de acoplamiento en la boya y a la transición a tubería submarina, como se ilustra en la Figura N° 1.12.

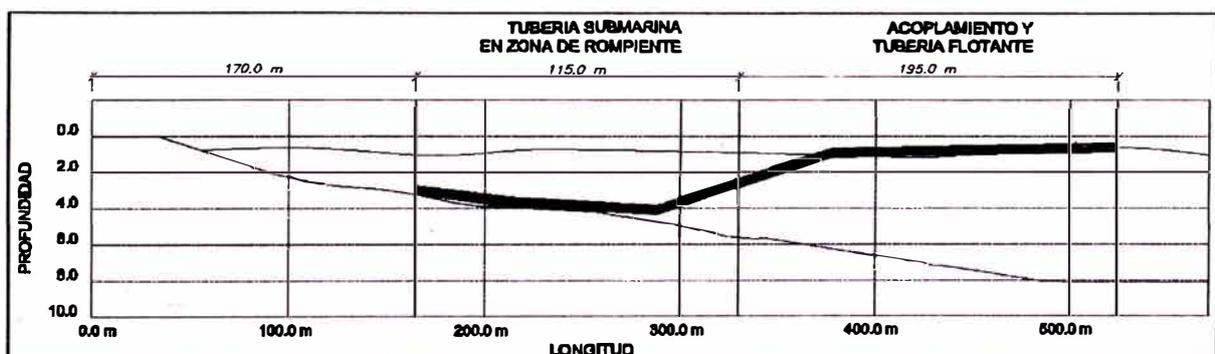
Ver Plano A-1 del sistema de descarga del material dragado, en el Anexo II.

Figura N° 1.11: Sistema de descarga del material dragado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 1.12: Perfil Longitudinal del Sistema de Descarga.



Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

#### 2.1.1 Importancia del Transporte de Sedimentos

Las playas arenosas han sido tradicionalmente un lugar de gran interés recreativo y socio-económico para el hombre. Prueba de ello es que cerca de las dos terceras partes de la población mundial vive en o cerca de la costa. Quizás las características más importantes de las playas arenosas, desde el punto de vista físico, es la sensibilidad y capacidad de respuesta morfológica a las condiciones hidrodinámicas; la arena es transportada constantemente por la acción de las corrientes, por el viento y del oleaje en donde existe un transporte de fondo que se puede considerar constante. Sin embargo la acción del hombre sobre su entorno ha dado lugar a grandes cambios en la zona costera, por ejemplo la construcción de puertos, espigones, rompeolas y otros tipos de estructuras de estabilización (la mayoría, muy costosas y de escaso valor estético). Estos factores, junto con el hecho de que grandes cantidades de aguas residuales sean vertidas al mar, pueden provocar un impacto negativo muy importante en las poblaciones costeras.

Otra función directa igualmente importante de una playa, es la protección a la zona costera, ya que aquí se concentra la energía del oleaje, donde se disipa en una zona relativamente estrecha cerca de la superficie del agua. En una tormenta, si la playa tiene la cantidad suficiente de arena, puede modificar su forma, generando una serie de barras sumergidas que pueden provocar que las olas grandes rompan y disipen su energía antes de llegar a la costa. Las actuaciones antes mencionadas del hombre en la zona costera, afectan el transporte natural de sedimentos, dando lugar a una intensificación de la acción del oleaje y a una mayor erosión. Si una playa se llega a destruir, repararla o reconstruirla es difícil y el proceso es muy costoso.

El estudio de los procesos físicos en la zona costera ha sido abordado tradicionalmente por dos escuelas con puntos de vista muy diferentes. Los estudios sedimentológicos y de morfología (básicamente cualitativos, aunque no por ello menos interesantes o importantes). Por otro lado, el estudio cuantitativo de los procesos físicos hidro - morfodinámicos en la zona cercana a la costa. [10] En este capítulo se lleva a cabo una revisión de algunos estudios realizados con el presente informe de suficiencia desde el punto de vista morfodinámico.

## 2.1.2 Factores que regulan la variación de la morfología de playas

A pesar de que las playas varían ampliamente en apariencia y composición, los principios que gobiernan sus comportamientos son los mismos. El mecanismo básico del proceso de cambio es el levantamiento de millones de granos de arena del fondo debido a la fricción (tensiones de corte) generada principalmente por el flujo oscilatorio asociado al oleaje, la fricción de las corrientes y/o por la turbulencia generada al paso y rotura de la ola.

Mientras el sedimento se encuentra en suspensión, es susceptible de ser transportado a lo largo de la costa por las corrientes inducidas por el oleaje. Por eso las playas constantemente están cambiando de forma. Este transporte litoral a lo largo de la costa juega un papel importante en la evolución de su perfil transversal y es también el responsable de la mayoría de cambios de la línea de orilla.

Se dice que una playa está en equilibrio cuando el volumen total de sedimentos movido en la misma, en un determinado intervalo de tiempo no presenta pérdidas ni ganancias, siendo precisamente este equilibrio en playas lo que el hombre ha querido mantener por diferentes medios para el mejor aprovechamiento de ellas. La erosión, acreción o estabilidad de las costas depende del balance sedimentario (las tasas de aporte o remoción de sedimento de la costa). El concepto de balance sedimentario consiste básicamente en la aplicación del principio de continuidad o conservación de masa al sedimento litoral de un área conocida, y solo puede ser aplicado a aquellas situaciones donde están involucrados el material sedimentario y la transferencia de energía del oleaje a distintos fenómenos hidrodinámicos. Este es un fenómeno genérico para las playas de todo el mundo, que pueden ser considerados como zonas de alta energía y de migración activa de material sedimentario mucho más intensa que en la mayoría de los lugares en tierra o a mayor profundidad en el mar.

Los principales factores involucrados en la morfodinámica son, el régimen hidrodinámico al que está sometida la zona costera, las condiciones morfológicas y batimétricas, y las características del material sedimentario del que se compone la playa. Como se han mencionado antes, las características del oleaje son básicamente las que determinan el régimen hidrodinámico que se retroalimentará con las variaciones morfodinámicas. Por ello es comúnmente aceptado que hay perfiles característicos para cada época del año (Ver Figura N° 2.02), asociados a las variaciones estacionales de la energía del oleaje,

debido a que hay un balance sutil y delicado entre las fuerzas que tienden a traer arena del mar y aquellas que se lo devuelven. [10]

### 2.1.3 Escalas de los procesos costeros

Los procesos costeros, hidrodinámicos y sedimentarios, son extremadamente complejos e incluyen fenómenos a escalas de espacio y tiempo completamente diferentes. En forma práctica en la Tabla N° 2.01 se clasifican estos fenómenos costeros según Horikama (1970) en tres categorías: macroescala, mesoescala y microescala. [10]

Tabla N° 2.01: Clasificación de las escalas de los procesos costeros.

<b>Escala</b>	<b>Macroescala</b>	<b>Mesoescala</b>	<b>Microescala</b>
<b>Tiempo</b>	Año	Día / hora	Segundo
<b>Espacio</b>	Kilómetro	Metro	Milímetro

Fuente: Tesis Doctoral - Octavio Mösso - Universidad Politécnica de Cataluña

Los sistemas morfodinámicos costeros que componen una playa también se pueden clasificar jerárquicamente (Kroon, 1994), como se ilustra en la Tabla N° 2.02, cada uno con su propia escala espacial y temporal. [10]

Tabla N° 2.02: Clasificación jerárquica de sistemas morfodinámicos en la costa.

<b>Sistema Jerárquico</b>	<b>Celda Costera (unitaria)</b>	<b>Celda Costera (múltiples)</b>	<b>Tramo Costero</b>	<b>Línea de Costa</b>
<b>Escala</b>	Pequeña Escala	Meso - Escala	Gran Escala	Meta - Escala

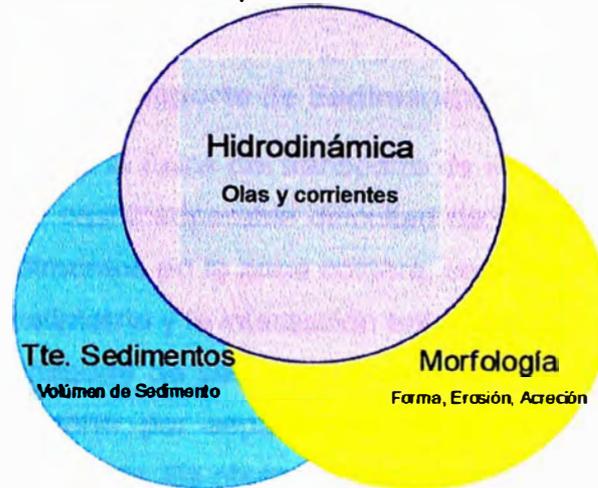
Fuente: Tesis Doctoral - Octavio Mösso - Universidad Politécnica de Cataluña

Cada uno de estos sistemas se comporta como una unidad, particular y compleja, donde intervienen la hidrodinámica (los mecanismos impulsores), los procesos de transporte de sedimentos y los cambios morfológicos. Las adaptaciones mutuas entre estos factores (hidrodinámica, procesos de transporte de sedimentos, cambios morfológicos y las condiciones ambientales) es lo que se conoce como morfodinámica.

En un sistema morfodinámico costero, la hidrodinámica puede inducir un transporte de sedimentos, lo que, a lo largo del tiempo, dará lugar a un cambio morfológico en la costa. Este cambio tendrá una fuerte interacción e influencia sobre la hidrodinámica, lo que dará como resultado otra respuesta de los

procesos de transporte de sedimentos, y una nueva adaptación morfológica a las nuevas condiciones hidrodinámicas (Ver Figura Nº 2.01).

Figura Nº 2.01: Factores que intervienen en la morfodinámica.



Fuente: Tesis Doctoral - Octavio Mösso - Universidad Politécnica de Cataluña

Las reacciones entre la hidrodinámica, el transporte de sedimentos y la morfología son no – lineales. Por ejemplo, el transporte de sedimentos se lleva a cabo siempre que se supere un valor umbral de alguna de las variables hidrodinámicas y además, el cambio morfológico no es inmediato, es decir, hay un desfase temporal entre las condiciones hidrodinámicas y la respuesta morfológica. De esto se deduce que la morfodinámica está regida por mecanismos de acoplamiento y retroalimentación de la hidrodinámica y los cambios morfológicos. Los mecanismos de retroalimentación son determinantes en la evolución de los sistemas costeros, pudiendo ser positivos o negativos.

Los procesos morfodinámicos son específicos de cada lugar (es decir, no hay una relación única entre los mecanismos y sus escalas espaciales y temporales involucradas) por lo que las características físicas de cada lugar son específicas. Las escalas longitudinales a la costa generalmente serán mucho mayores que las escalas transversales, del orden de uno a varias decenas de kilómetros en el primer caso, mientras que las transversales serán de tan solo unos cuantos centenares de metros, generalmente desde la profundidad activa hasta la línea de dunas. Cabe señalar que las variaciones transversales en la zona cercana a la costa suelen ser mucho más rápidas que las variaciones longitudinales.

Para poder superar el problema de la complejidad de los mecanismos de transporte de sedimentos en aplicaciones prácticas, se han propuesto numerosas fórmulas de transporte longitudinal, basadas en gran medida en

resultados empíricos. Combinando una de estas fórmulas y la ecuación de continuidad (o conservación de sedimento) obtenida bajo condiciones simplificadas, puede efectuarse una predicción de los cambios en la posición de la línea de costa. [10]

#### **2.1.4 Mecanismos de Transporte de Sedimentos**

La razón principal de que la física del transporte de sedimentos no esté del todo aclarada se debe a la casi insuperable dificultad de medir la tasa y la dirección del transporte de sedimentos en la zona costera, conjuntamente con la medición de olas, corrientes, batimetría y la interacción entre ellos.

En el análisis del transporte de sedimentos en zonas costeras, por simplicidad, es muy común considerar por separado el transporte de perpendicular y el paralelo a la línea de la costa. Es obvio que ambos están muy relacionados entre sí. No obstante, el transporte transversal es quizás más importante para los procesos costeros a corto plazo, mientras que el transporte longitudinal es más importante para la variación a medio y largo plazo de la topografía costera.

En el ámbito de la Ingeniería de Costas, el problema del transporte de sedimentos y evolución costera tradicionalmente se ha abordado desde una perspectiva individual (por separado de la hidrodinámica) y en muchos casos, empírica. Sin embargo, está claro que no se debe seguir tratando ambos aspectos por separado. La hidrodinámica es el mecanismo impulsor del transporte de sedimentos.

En lo referente al transporte de sedimento, este se puede llevar a cabo por la acción de las corrientes costeras (de marea, viento o inducidas por la rotura del oleaje) o por la acción del oleaje, aunque lo más común es que se vea transportado por la acción conjunta de las corrientes y del oleaje. El primer mecanismo de transporte es la entrada del sedimento del fondo en la columna de agua, como resultado de la fricción entre el fondo marino y el flujo (de las corrientes y/o el oleaje) junto con la difusión turbulenta que tiene a mantener los granos de arena en suspensión. Una vez movilizados (como respuesta a la fricción con el flujo y la turbulencia), los sedimentos se pueden transportar, dependiendo de las características del flujo y de las suyas propias, por arrastre, saltación o suspensión. El transporte por arrastre es el modo de transporte dominante para flujos y/o granos de arena gruesos. En caso de que el flujo sea más rápido (oleaje alto o corrientes fuertes) el sedimento será puesto en

suspensión en la columna de agua y será susceptible de ser transportado grandes distancias. De aquí se define la tasa de transporte de sedimentos como la cantidad de sedimento (en masa o volumen) que se mueve a través de un plano vertical con una anchura unitaria que es perpendicular a la dirección del flujo. Así, la tasa de erosión / depósito de sedimento en la zona costera dependerá de la diferencia entre las tasas de transporte de sedimento que entra y que sale de una zona en particular. [10]

## **2.2 FORMAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

Los sedimentos de las playas son movilizados fundamentalmente por las olas en la rompiente y por las corrientes que las propias olas generan, tanto a lo largo de la costa como en forma perpendicular a la misma. Estas corrientes, dentro de la zona de rompientes, son las más importantes que las corrientes marinas y, consecuentemente, tienen una mayor capacidad para transportar sedimentos. Es posible identificar dos formas de transporte de sedimentos, debido a las olas, en las costas:

### **2.2.1 Transporte de sedimentos normal a la costa debido a olas**

El perfil de playa en equilibrio es producto de fuerzas "constructivas" y "destructivas" que actúan sobre los granos de arena ubicado en la zona de acción de la rompiente de olas.

Las fuerzas constructivas se ponen en evidencia si se observa que la playa es más alta cerca de los médanos que cerca del mar y por lo tanto dichas fuerzas actúan contra la gravedad. Las fuerzas destructivas manifiestan su existencia al observar una playa luego de una tormenta severa caracterizada por la elevación del nivel de mar y olas de gran tamaño. Durante estas condiciones el sedimento es sacado de la playa, transportado hacia el mar y depositado en forma de una barra característica (perfil de playa de "invierno").

En ausencia de tormentas, las olas restituyen el material erosionado haciendo desaparecer la barra y definiendo un perfil más suave o de "verano".

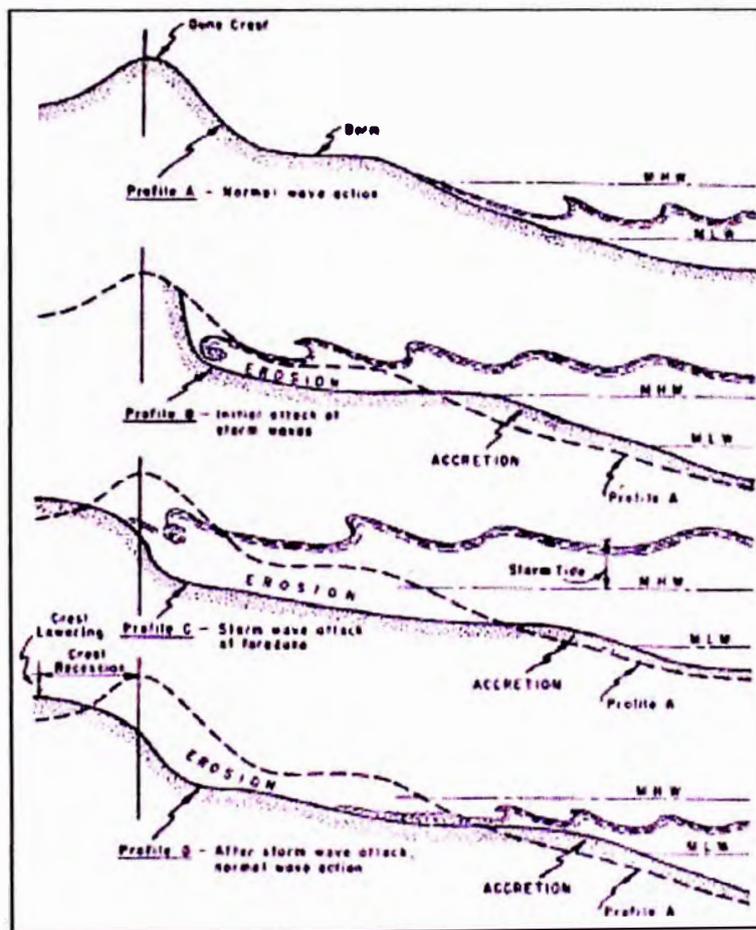
Es posible afirmar que para cierto tamaño de granos de arena, cierto nivel del mar y clima de olas existe un único perfil de playa. Cualquier cambio en los elementos antes citados desencadenaría otro perfil de playa que estaría en equilibrio con la nueva situación.

Dado que las condiciones oceanográficas que interesan las playas dependen fuertemente de la meteorología es correcto decir que "las playas cambian tanto como lo hace el tiempo".

La Figura N° 2.02 muestra un esquema de estos procesos de construcción y destrucción de la playa.

En síntesis, las olas generan corrientes en dirección hacia la costa y hacia el mar, que también transportan sedimentos en lo que se denomina como "On-Offshore Sediment Transport" o transporte de sedimentos normal a la costa. [12]

Figura N° 2.02: Evolución de un perfil de playa genérico.



Fuente: Pluspetrol - Transporte de Sedimentos dentro de la Zona de Rompientes

### 2.2.2 Transporte de sedimentos a lo largo de la costa debido a olas

La experiencia indica que las olas se acercan a la costa luego de transformarse (altura y longitud de onda) en la plataforma interior y rompen transfiriendo cantidad de movimiento a la columna de agua y disipando energía.

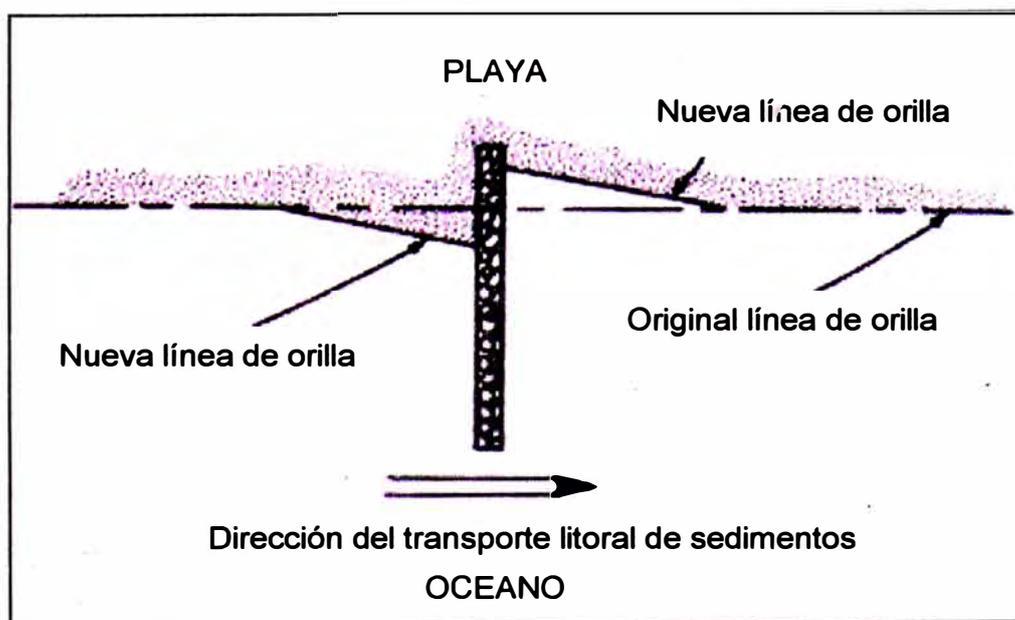
La transferencia de cantidad de movimiento produce un cambio en el nivel medio del mar dentro de la zona de rompientes. Esta sobre elevación o "wave setup" es proporcional a la altura de la ola por lo que es más intenso durante tormentas.

La disipación de energía genera corrientes paralelas a la costa en la medida que las olas rompan formando un ángulo con la línea de costa. Estas corrientes o "longshore currents" arrastran sedimentos en gran cantidad y son responsables de cambios importantes de las costas en la medida que su ciclo natural sea alterado de alguna manera.

Las rompientes ponen en movimiento los sedimentos finos pero también arena y hasta cantos rodados, debido a la turbulencia propia de las olas cuando rompen. Las corrientes asociadas a las olas, paralelas a la costa, transportan, por arrastre principalmente, los sedimentos en los que se denomina "Longshore Sediment Transport" o transporte litoral de sedimentos.

Por lo tanto, las consecuencias de la alteración del campo de olas, corrientes y/o la naturaleza del material, en forma directa o indirecta, que puebla los fondos marinos o playas, ya sea por acciones propias de las obras marítimas como muelles, rellenos, escollerados, entre otras, generará cambios en el medio ambiente costero y marino. En la Figura N° 2.03 muestra un esquema de los efectos de una estructura sobre la línea de costa. [12]

Figura N° 2.03: Esquema del efecto de una estructura sobre la configuración de la línea costera.



Fuente: Elaboración propia.

## **2.3 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE COSTERO Y MARINO RELEVANTES AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

Se resumirán a continuación, aspectos relevantes que influyen sobre el movimiento de sedimentos, dentro y fuera de la zona de rompientes, en la zona de estudio, de la costa norte del puerto de Salaverry.

### **2.3.1 Morfología**

#### **a) Batimetría**

Es usualmente la información más accesible; en ella se describe el relieve del fondo marino. Determina el campo de profundidades y características predominantes del relieve, tales como bancos de arena, canales de marea, depresiones, etc. que definen las orientaciones principales del flujo. [13]

La batimetría de la zona de estudio se obtuvo en base a la batimetría local realizada en la playa de Buenos Aires desde la desembocadura del río Moche hasta 5 km hacia el norte [8], del plano batimétrico del Terminal Portuario de Salaverry realizado por la Empresa Nacional de Puertos en el año 2006 y de interpolaciones realizadas en base a los portulanos obtenidos de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

#### **b) Formas del lecho**

Son un factor determinante en el estudio de la resistencia al flujo, afectando considerablemente el transporte de sedimentos. A pesar de lo anterior, los mapas de formas de lecho son prácticamente inexistentes. Las formas del lecho marino pueden ser determinadas a través de imágenes y perfiles del fondo; estas a su vez se obtienen por medio de equipos de Side Scan Sonar (SSS) o ecosondas, aunque a un alto costo. [13]

### **2.3.2 Atmósfera**

La hidrodinámica de una región costera depende en alto grado de las condiciones del viento y la presión atmosférica. Condiciones meteorológicas extremas implican la generación de fuerte oleaje (tanto local o en áreas remotas "swell"), corrientes superficiales inducidas por el dragado del viento, cambios del nivel del mar debidos a las variaciones espaciales en viento y presión barométrica. [13]

## ➤ Viento

Los vientos son debido al movimiento de las masas de aire en las capas más bajas de la atmósfera, en la que tratan en todo momento de buscar sus posiciones de equilibrio.

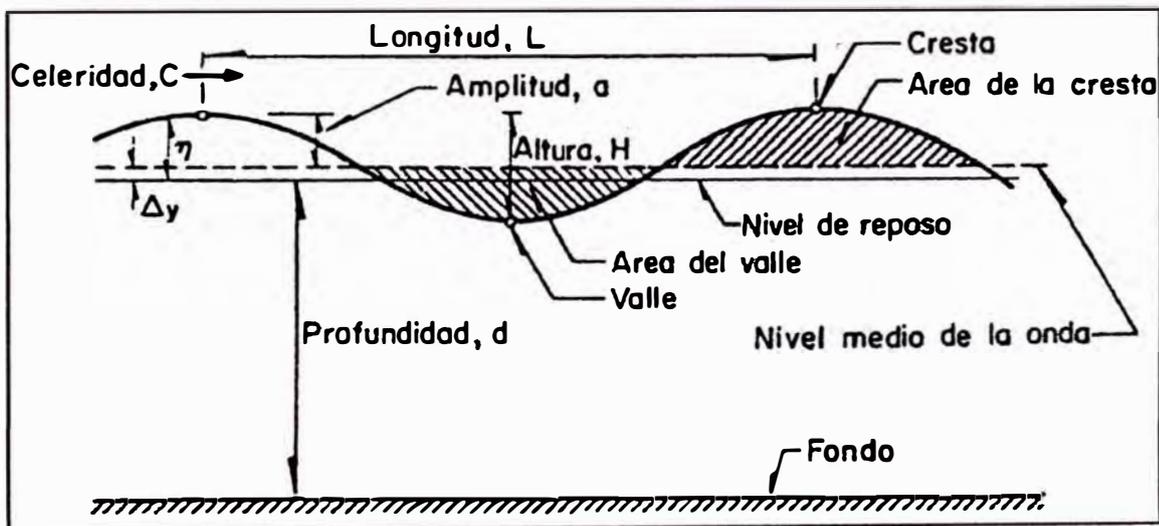
En la zona de estudio la variación de los vientos locales no ejerce mucha influencia sobre el oleaje, debido a que las tormentas críticas y que generan el oleaje local se presentan a grandes distancias (Anticiclón del Pacífico Sur).

Por esta misma razón, los vientos locales provienen predominantemente del S y SE (75% del tiempo), con velocidades menores a tres nudos, durante el 50% del tiempo y mayores de once nudos, el 1% del tiempo.

### 2.3.3 Oleaje

La determinación del oleaje es absolutamente necesaria para la Ingeniería de Costas, dado que ese constituye la sollicitación fundamental a la que se ve sometida el elemento en estudio, ya sea natural o artificial. En la Figura N° 2.04 se ilustra los elementos básicos de una ola.

Figura N° 2.04: Elementos básicos de una ola.



Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles - Hidráulica Marítima.

Los datos de partida son obtenidos, generalmente, en aguas profundas y es necesaria su transformación hasta la zona de interés considerando procesos tales como asomeramiento, refracción, difracción, disipación u otros procesos que puedan afectar a la onda en su proceso de propagación hacia la costa. [9]

➤ **Clasificación de las olas**

Existen diversos criterios para clasificar las olas. A continuación se mencionan los más importantes y se describen los tipos en que se subdivide cada una.

**a) Por su origen**

Las olas formadas por el viento se conocen como olas de viento (Sea), de tipo forzado o de tormenta. Cuando el oleaje está libre de la acción del viento a las olas se les designa como libres (Swell). En la costa del Perú el oleaje tipo Swell es más importante por su frecuencia de ocurrencia y son generadas por el anticiclón del Pacífico Sur. [5]

**b) Por la profundidad relativa**

Desde el punto de vista ingenieril estas se clasifican en:

- En aguas profundas :  $d/L \geq 0.5$
- En aguas intermedias :  $0.5 \geq d/L \geq 0.05$
- En aguas someras :  $d/L \leq 0.05$

**c) Por la altura de la ola**

Según su altura, las olas se pueden clasificar en olas de amplitud pequeña y amplitud finita. Las olas de amplitud pequeña se caracterizan porque su altura es pequeña en comparación a su longitud. [5]

**d) Por el periodo**

La Tabla N° 2.03, se muestra la clasificación de las olas según su periodo (T).

Tabla N° 2.03: Clasificación de las olas, según el periodo (T).

Nombre de la ola	Periodo	Fuerza más importante que la genera	Fuerza más importante que la amortigua
Capilar	0 - 0.1s	Viento	Tensión superficial, gravedad
De ultragravedad	0.1s - 1s	Viento	Tensión superficial, gravedad
De Gravedad	1 - 30s	Viento	Gravedad
De infragravedad	30s - 5min	Viento	Gravedad, Coriolis
De periodo largo incluidas ondas de marea	5min - 24h	Viento, tormenta, maremotos, atracción del Sol y la Luna	Gravedad, Coriolis
De transmarea	> 24h	Atracción del Sol y de la Luna	Coriolis

Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles - Hidráulica Marítima.

➤ **Oleaje en aguas profundas**

En la zona de estudio, bajo la consideración que el patrón de oleaje en aguas profundas está gobernado por fenómenos a gran distancia (anticiclón del Pacífico Sur), se ha tomado las direcciones S y SO en aguas profundas, por ser las de mayor ocurrencia como se muestra en la Tabla N° 2.04. Las olas provenientes de otras direcciones tienen baja frecuencia de ocurrencia, o por su orientación, no ingresarán a la zona de estudio.

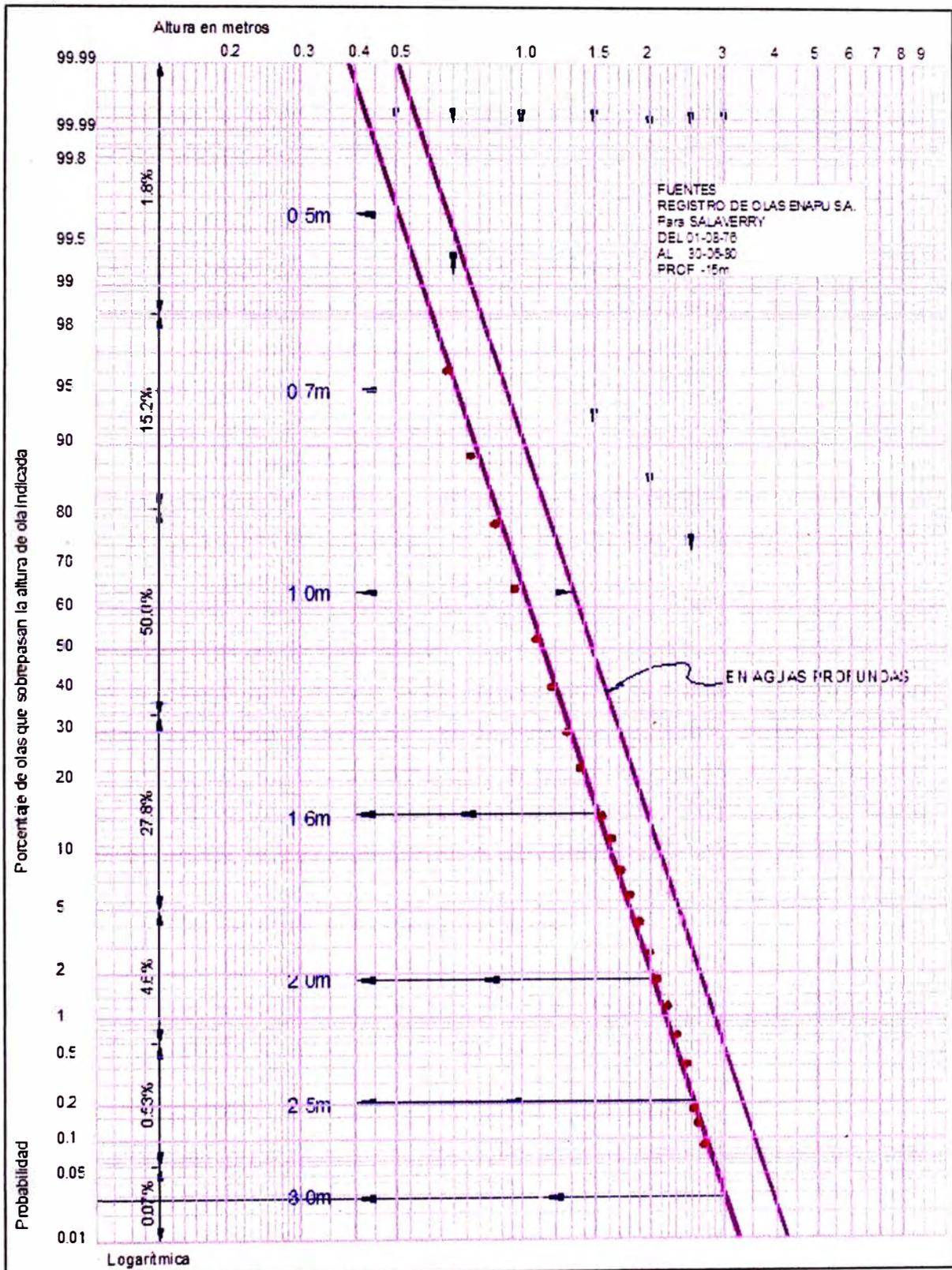
Tabla N° 2.04: Distribución de olas Swell en aguas profundas para Salaverry.

SWELL CALMA 3.0 %								
Altura en m	NO	O	SO	S	SE	E	NE	TOTAL
0.30 - 1.80	0	0.5	9.8	36.3	7.3	0.1	0.1	54.0
1.80 - 3.60	-	-	6.5	25.5	8.0	0.2	-	40.2
> 3.60	-	-	0.3	2.0	0.5	-	-	2.8
<b>Distribución</b>								
> 0.30	-	0.5	16.6	63.8	15.8	0.3	-	97.0
> 1.80	-	-	6.8	27.5	8.5	0.2	-	43.0
> 3.60	-	-	0.3	2.0	0.5	-	-	2.8
<b>Frecuencia ocurrencia</b>								

Fuente: Sailing Directions for South America.

Para la macro distribución de alturas de olas, se ha considerado la mostrada en la Figura N° 2.05, Ocurrencia de Olas Significantes ( $H_s$ ), correspondiente al registro de oleaje en el Puerto de Salaverry, en la batimetría - 15 m, desde el 01-08-76 al 30-06-80. En dicha figura, se ha trazado la distribución correspondiente a un punto cercano a la costa, teniendo en consideración los coeficientes de refracción y de bajos para tal localidad. De este modo y bajo la consideración de que las olas son mayormente de tipo swell en aguas profundas, se ha tomado la macro distribución de  $H_s$  para aguas profundas.

Figura N° 2.05: Macro Distribución del Oleaje en Salaverry.



Fuente: Registro de olas, ENAPU para Salaverry.

### ➤ **Deformación del Oleaje en la cercanía a la Costa**

Al avanzar el oleaje hacia aguas poco profundas, la presencia del fondo y obstáculos (por ejemplo, islas y estructuras marítimas) producen modificaciones al oleaje principalmente en la altura, celeridad y longitud de onda. Esto se debe a los siguientes fenómenos:

#### **a) Efectos Viscosos, fricción (pérdida de energía)**

La energía del oleaje puede ser disipada gradualmente por el efecto de la fricción que se desarrolla en el fondo. Los efectos viscosos pueden tener importancia en aguas muy someras, oleajes de bajo periodo ( $T < 4$  seg.) y en algunos modelos hidráulicos.

#### **b) Permeabilidad del fondo (pérdida de energía)**

La pérdida de energía del oleaje por infiltración a través de los poros del material del fondo, deja de tener importancia si el diámetro de las partículas de arena es menor de 2 mm, lo cual ocurre generalmente.

#### **c) Refracción (cambio de celeridad)**

Conforme el oleaje se traslada hacia aguas poco profundas, el cambio de profundidad causa una disminución en la celeridad y como consecuencia su longitud disminuye y su altura aumenta y el frente de ese oleaje se reorienta conforme a los contornos de las líneas batimétricas. Ese efecto se llama refracción del oleaje, el cual depende de la relación  $d/L$ .

#### **d) Difracción (transferencia lateral de energía)**

La difracción es el fenómeno que afecta la distribución de energía detrás de una barrera. Ello puede ocurrir, por ejemplo, en el extremo de un rompeolas o a la entrada de un recinto formado por dos rompeolas o por la presencia de una isla.

#### **e) Reflexión (pérdida de energía en la frontera reflejante)**

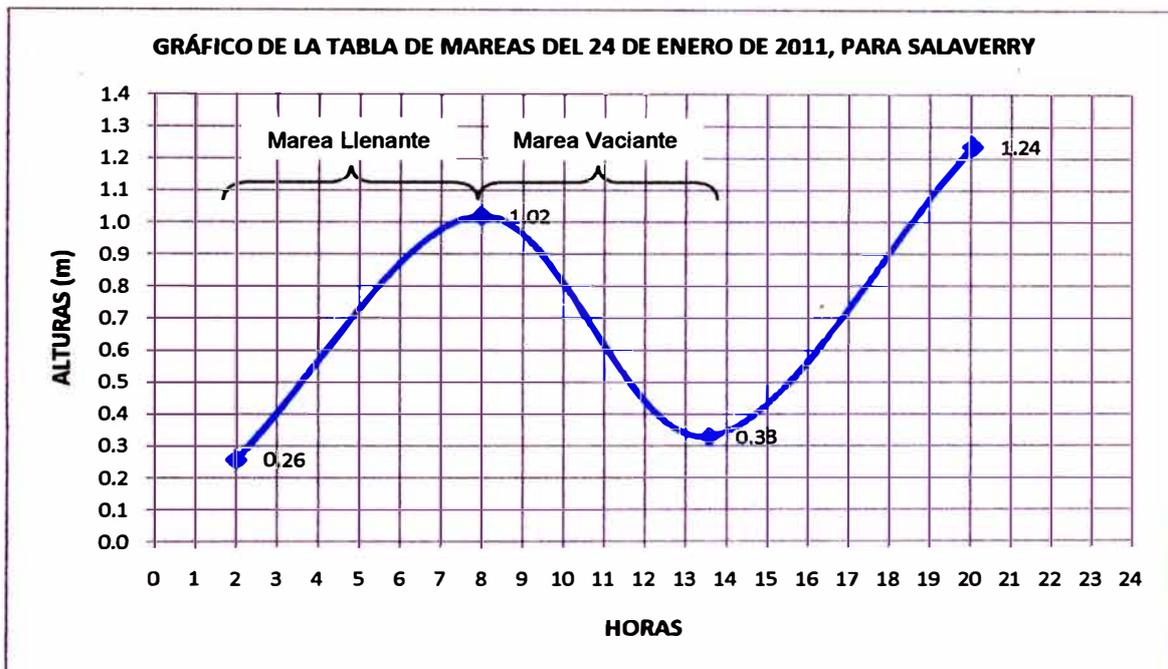
Cuando un oleaje no rompiente incide sobre una estructura o acantilado, una parte de la energía es reflejada y la otra se transfiere al interior de la estructura, si es permeable. Si el frente de la ola es paralelo a la frontera y esta es plana y lisa se produce una reflexión perfecta, que se manifiesta por la aparición de ondas estacionarias. [3]

### 2.3.4 Mareas

Las mareas son movimientos periódicos de elevación y descenso del nivel del mar debido a las atracciones gravitatorias que ejercen la Luna, el Sol y los demás cuerpos astrales. Su intensidad está en íntima relación con las posiciones relativas que el Sol y la Luna tienen respecto a la tierra. [5]

Las variaciones diarias del nivel del mar se deben, entre otros factores, a las variaciones de la marea; en la costa peruana, la marea es de naturaleza semi-diurna, es decir, existen diariamente dos pleamares (ascenso) y dos bajamares (descenso). En la Figura N° 2.06 se muestra el gráfico de marea según la información de las tablas de pronósticos que edita la Dirección de Hidrografía de la Marina.

Figura N° 2.06: Gráfico de mareas en Salaverry, de la Tabla de Mareas.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.5 Corrientes

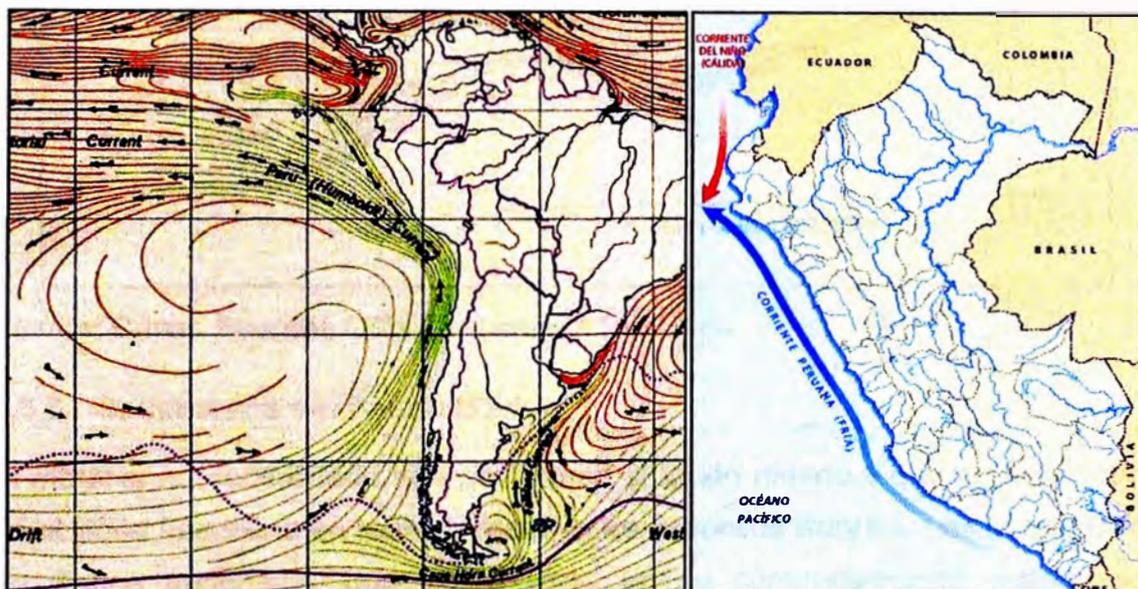
Las corrientes pueden ser provocadas por mareas, el viento, gradientes de presión atmosférica, la rotura del oleaje, descargas de ríos en el mar, gradientes de densidades de las masas de agua en contacto, la diferencia de temperatura y salinidad de las aguas del mar, la sobreelevación del nivel medio del mar, la influencia del fondo marino y la topografía de la costa, entre otros. En la zona cercana a la costa, las corrientes inducidas por la rotura del oleaje son las

dominantes y tienen la capacidad de transportar grandes cantidades de sedimento en suspensión. [10]

### a) Corrientes Marinas

Son provocados por la acción permanente de los vientos y por el desplazamiento de grandes masas de agua de diferente temperatura. En el mar peruano incursionan varias corrientes, de las cuales cabe destacar en la zona de estudio a la Corriente Peruana o la Corriente de Humboldt, que va de sur a norte, Ver Figura N° 2.07; la que se superpone a las Corrientes de Marea (llenante y vaciante), ver Figura N° 2.06. [5]

Figura N° 2.07: Corriente Peruana o Corriente de Humboldt.



Fuente: Wikipedia – La enciclopedia libre.

### b) Corrientes Inducida por el Oleaje

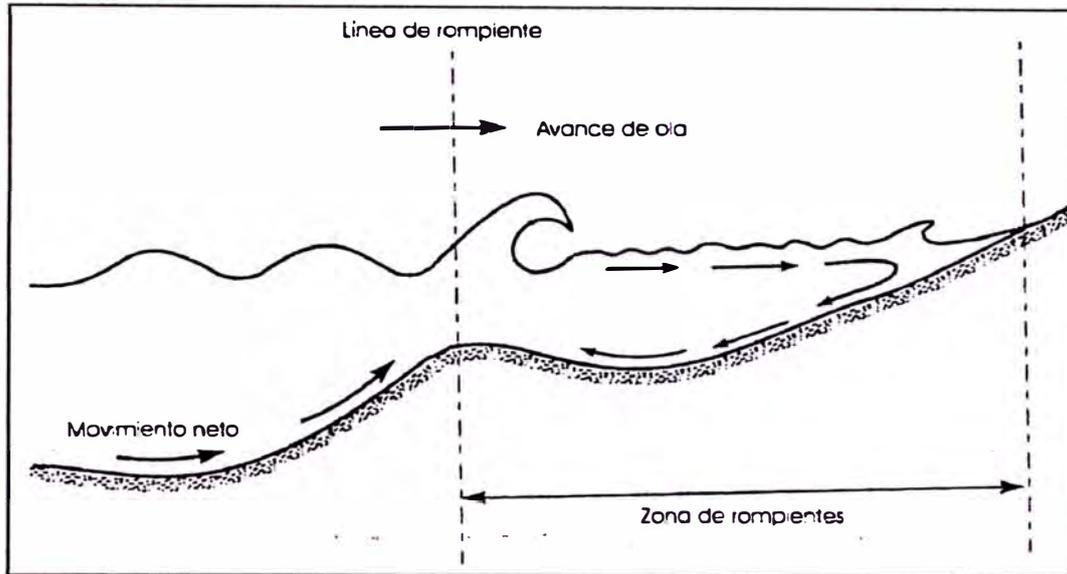
Son corrientes que se presentan a lo largo del litoral, generadas por el rompimiento de las olas con un ángulo  $\theta$  a la línea de la orilla.

Al paso de las olas, el movimiento neto de las partículas de agua cerca del fondo del mar siempre tiene el mismo sentido al avance de las olas, mientras que en aguas poco profundas el movimiento en la superficie es de sentido contrario.

Este movimiento se ve afectado al acercarse las olas a una zona de profundidad decreciente, por efecto de la influencia del fondo marino y del rompimiento de las olas. Entonces se origina en la zona de rompientes una corriente de fondo que se dirige a la línea de rotura en sentido inverso al avance de las olas como se ilustra en la Figura N° 2.08.

Para la ingeniería portuaria, este tipo de corrientes merece una especial atención, debido a que el movimiento de agua en la zona de rompientes, caracterizada por la velocidad de la corriente inducida por el oleaje ( $V$ ) es la causa mayor del transporte de sedimentos a lo largo del litoral. [5]

Figura N° 2.08: Movimientos opuestos a ambos lados de la línea de rotura.



Fuente: César, Fuentes Ortiz – Ingeniería Portuaria.

### 2.3.6 Sedimentos del Fondo Marino

El material no consolidado que conforman el fondo marino y que se encuentran en el litoral interviene en forma directa en los procesos litorales. Las propiedades de dichos materiales, que actúan más en su comportamiento cuando son sometidos a la acción del oleaje y corriente, son básicamente su tamaño, caracterizado por la distribución granulométrica (diámetros característicos como el  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ ), forma y peso específico. Las tres propiedades mencionadas se toman en cuenta en la velocidad de caída de determinadas partículas. [8]

## 2.4 HERRAMIENTAS DEL CÁLCULO

### 2.4.1 Altura del Oleaje en un Punto de la Costa

Tomando en cuenta los fenómenos de deformación del oleaje, la altura ( $H$ ), del oleaje en un punto cercano a la costa puede obtenerse de:

$$H = K_f \cdot K_r \cdot K_s \cdot K_D \cdot (1 + K_R) \cdot H_0 \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

$K_f$  : coeficiente de decaimiento por fricción

- $K_r$  : coeficiente de refracción  
 $K_S$  : coeficiente de bajos (shoaling)  
 $K_D$  : coeficiente de difracción  
 $K_R$  : coeficiente de reflexión

En la zona de estudio, los fenómenos de fricción, difracción y reflexión no existen en la zona del proyecto, por lo que dicha expresión se reduce a:

$$H=K_r.K_S.H_0 \dots \dots (2.2)$$

### 2.4.2 Coeficiente se Bajos (shoaling)

El Coeficiente de Bajos ( $K_S$ ) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K_S = \sqrt{\frac{1}{(\tanh k. d). (1 + \frac{2. k. d}{\sinh 2. k. d})}} \dots \dots (2.3) \quad \text{Donde: } k = \frac{2. \pi}{L}$$

Además la Longitud de la Ola ( $L$ ) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{g. T^2}{2\pi} . \tanh\left(\frac{2. \pi. d}{L}\right) \dots \dots (2.4)$$

Donde:

- $d$  : en este caso particular  $d_r$ , profundidad de la ola en la rompiente  
 $g$  : gravedad  
 $k$  : número de ola  
 $T$  : periodo de las olas

### 2.4.3 Velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje según Bijker

El movimiento del agua en la zona de rompientes es la causa mayor del transporte de sedimentos a lo largo del litoral. Las velocidades orbitales del fondo en combinación con la turbulencia del fondo ponen al sedimento en suspensión. Este sedimento en suspensión puede ser transportado por la corriente inducida en la rompiente.

Según el método de Bijker, la velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje ( $V$ ) (corriente litoral) es un concepto que propone una velocidad resultante en una zona de rompientes, que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{5. \pi. \sqrt{g} \text{ sen} \theta_0}{8\sqrt{2} \cdot c_0} \cdot \gamma \cdot \frac{C}{\sqrt{f_w}} \cdot d. m \dots \dots (2.5)$$

Además se obtiene con ayuda de las fórmulas respectivas, los siguientes parámetros:

$$f_w = \exp[-5.977 + 5.213 \cdot \left(\frac{a_b}{r}\right)^{-0.194}]; \quad a_b = \left(\frac{H}{2}\right) \cdot \frac{\cosh\left[\frac{2\pi}{L} \cdot \left(\frac{H}{2} + d\right)\right]}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right)}$$

$$C = 18 \cdot \log\left(12 \cdot \frac{d_r}{r}\right); \quad c_0 = \frac{g \cdot T}{2\pi}; \quad \gamma = \frac{H_r}{d_r}$$

Donde:

- $\emptyset_0$  : ángulo formado por la cresta de la ola y la batimétrica en aguas profundas.
- $\gamma$  : índice de rompiente
- $a_b$  : máxima amplitud orbital en el fondo
- $C$  : coeficiente de Chezy
- $c_0$  : celeridad de la ola en aguas profundas
- $d$  : en este caso particular  $d_r$ , profundidad de la ola en la rompiente
- $f_w$  : parámetro adimensional de fricción
- $g$  : gravedad
- $H_r$  : altura de la ola rompiente
- $m$  : pendiente de la playa
- $L$  : en este caso particular  $L_r$ , longitud de la ola en la rompiente
- $r$  : rugosidad del fondo a lo largo de la playa

#### 2.4.4 Transporte de Sedimentos de Fondo según el método de Bijker

La fórmula para el transporte de fondo en la rompiente ( $S_b$ ), es:

$$S_b = \frac{B \cdot D \cdot V \cdot \sqrt{g}}{C} \cdot \exp\left[\frac{-0.27 \cdot \Delta \cdot D \cdot C^2}{\mu \cdot V^2 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\xi \cdot \frac{u_b}{V}\right)^2\right]}\right] \dots \dots \dots (2.6)$$

Además se obtiene con ayuda de las fórmulas respectivas, los siguientes parámetros:

$$\xi = \frac{C \cdot \sqrt{f_w}}{2 \cdot g}; \quad f_w = \exp[-5.977 + 5.213 \cdot \left(\frac{a_b}{r}\right)^{-0.194}]; \quad \Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$$

$$C' = 18 \cdot \log\left(12 \cdot \frac{d}{D_{90}}\right); \quad \mu = \frac{C}{C'}; \quad \mu_b = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{1}{\tanh(k \cdot d)}; \quad k = \frac{2 \cdot \pi}{L}$$

Donde:

- $B$  : parámetro adimensional determinado en 1977, con un valor de 5
- $d$  : en este caso particular  $d_r$ , profundidad de la ola en la rompiente

- D : diámetro medio de la partícula de sedimento  
 $D_{90}$  : diámetro representativo del sedimento del 90% que pasa  
 $f_w$  : parámetro adimensional de fricción  
 $H_r$  : altura de la ola rompiente  
k : número de ola  
V : velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje  
g : gravedad  
 $u_b$  : máxima velocidad orbital en el fondo  
 $\mu$  : factor de rizos  
 $\Delta$  : densidad relativa  
 $\rho_s$  : densidad del sedimento  
 $\rho$  : densidad del agua

#### 2.4.5 Transporte de Sedimentos de Suspensión según el método de Bijker

Para encontrar el transporte de sedimentos en suspensión, se hará uso de la Figura N° 2.09, que se refiere a los parámetros que intervienen en tal transporte de sedimentos y que es una adaptación de la fórmula de Einstein para el mismo fenómeno. En la fórmula de transporte de sedimentos en suspensión intervienen dos parámetros independientes: A y Z.

$$Z = \frac{W \cdot \sqrt{\rho}}{k' \cdot \sqrt{\tau_c \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \left( \xi \cdot \frac{\ddot{u}_b}{V} \right)^2 \right]}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Además se obtiene con ayuda de las fórmulas respectivas, los siguientes parámetros:

$$\xi = \frac{C \cdot \sqrt{f_w}}{2 \cdot g}; \quad f_w = \exp[-5.977 + 5.213 \cdot \left( \frac{a_b}{r} \right)^{-0.194}]; \quad A = \frac{r}{d}$$

$$\tau_c = \frac{\rho \cdot g \cdot V^2}{C^2}; \quad W = \frac{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu}; \quad \ddot{u}_b = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{1}{\tanh(k \cdot d)}; \quad k = \frac{2 \cdot \pi}{L}$$

Donde:

- D : diámetro medio de la partícula de sedimento  
d : en este caso particular  $d_r$ , profundidad de la ola en la rompiente  
 $f_w$  : parámetro adimensional de fricción  
g : gravedad  
 $H_r$  : altura de la ola rompiente

- k : número de ola  
k' : constante adimensional de Von Karman  $\approx 0.40$   
r : rugosidad del fondo a lo largo de la playa  
T : periodo de las olas  
V : velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje  
W : velocidad de caída de la partícula de diámetro D del sedimento  
 $\mu$  : viscosidad dinámica del agua  
 $\ddot{u}_b$  : máxima velocidad orbital horizontal en el fondo  
 $\tau_c$  : cortante de fondo  
 $\rho$  : densidad del agua

Con W definido y haciendo uso de las fórmulas respectivas se obtienen los valores de Z y A, con los que ingresamos a la Figura N° 2.09 obteniendo los valores de  $(S_s/S_b)$ , siendo esto igual a  $1.83 \cdot Q$ .

#### 2.4.6 Transporte de Sedimentos Total según el método de Bijker

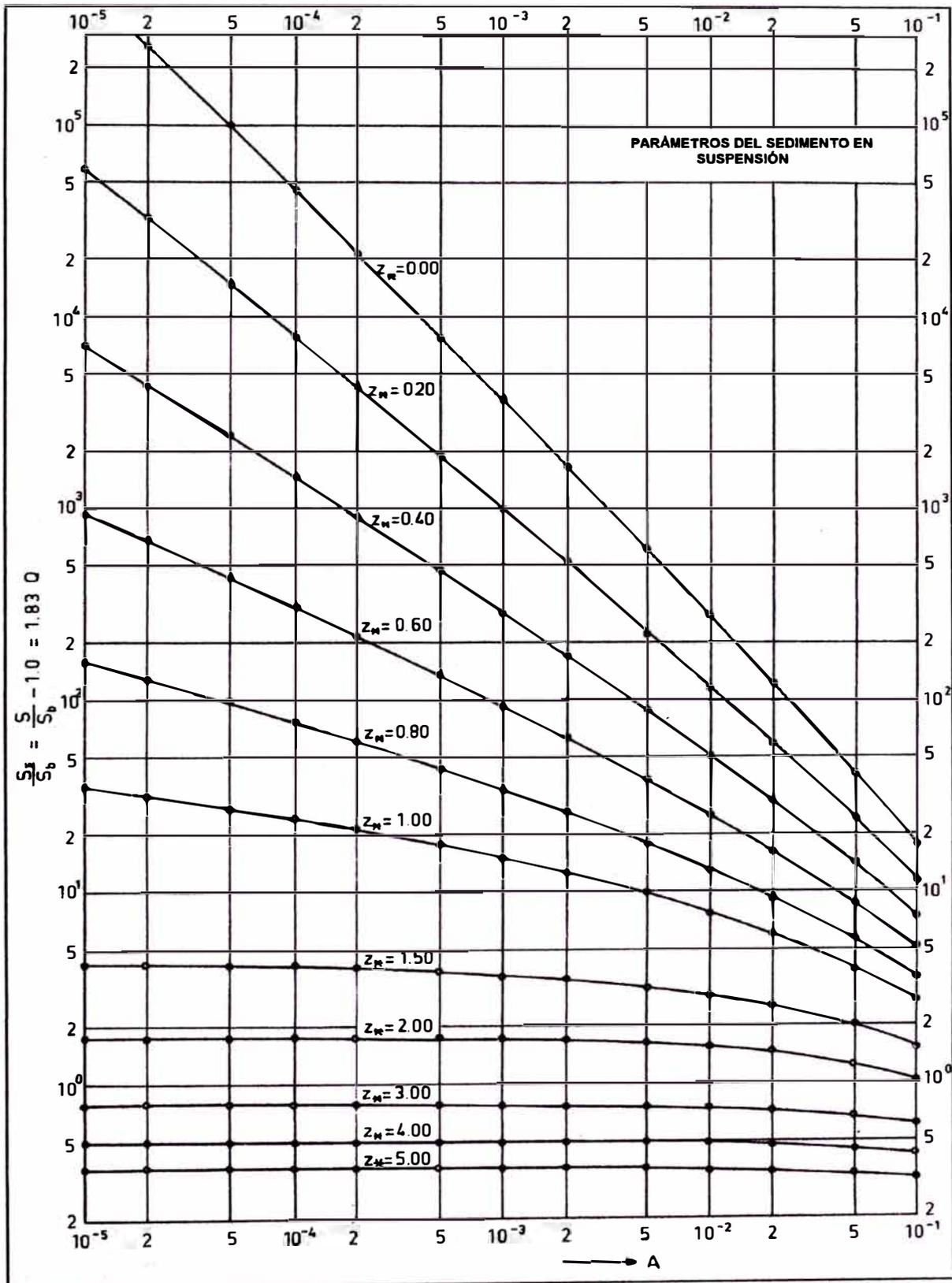
El transporte total de sedimentos ( $S_{Total}$ ) es la suma del transporte de fondo más el de suspensión, de tal modo que:

$$S_{Total} = S_b + S_s = S_b \cdot (1 + 1.83 \cdot Q) \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde:

- Q : Parámetro de Transporte litoral.  
 $S_b$  : Transporte de sedimentos de fondo, en  $m^3/año$ .  
 $S_s$  : Transporte de sedimentos en suspensión, en  $m^3/año$ .

Figura N° 2.09: Gráfico para obtener los parámetros de sedimento en suspensión



Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles - Hidráulica Marítima.

## CAPITULO III: EVALUACIÓN Y CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

### 3.1 VARIABLES Y PARÁMETROS DE LA EVALUACIÓN

#### 3.1.1 Estudio de la Refracción del Oleaje

Para el desarrollo del fenómeno de refracción del oleaje en la zona de estudio mediante su respectivo diagrama de refracción, se tuvo como base la siguiente información:

- Refracción del oleaje en aguas profundas : Portulano a la escala 1:100000
- Refracción del oleaje en aguas intermedias : Portulano a la escala 1: 50000
- Plano batimétrico a la escala 1: 5000
- Tabla de Mareas

En base a los portulanos y al levantamiento batimétrico realizado [8], se usan los planos ya desarrollados para las batimetrías en aguas profundas, intermedias y poco profundas, con el fin de determinar los respectivos coeficientes de refracción para las direcciones S y SO. [8]

La batimetría mostrada en el plano B-1 (Ver Anexo II), se asume concordante con la tabla de mareas de los días 10, 12 y 14 de enero del 2011 (Ver Anexo III). De este modo todos los registros de sondajes están referidos al plano del nivel medio de bajamares de sicigias (MLWS).

#### 3.1.2 Estudio de la Corrientes de Mareas

El estudio de corrientes de marea está basado en [8], donde se realizó este estudio mediante el empleo de flotadores (método de Lagrange) en situación de vaciante y llenante de mareas.

Los resultados de las mediciones de corrientes de mareas llenante y vaciante del estudio realizado, indica que para la dirección de sur a norte la velocidad máxima medida es de 0.236 m/seg en marea llenante y la mínima velocidad es 0.074 m/seg en marea vaciante. [8]

#### 3.1.3 Muestras de Fondo Marino

La extracción de muestras de sedimento de fondo marino también está basado en [8], donde se indica que se realizó extracciones de 9 muestras durante la realización de la medición de corrientes.

Del estudio realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

El 100% de las muestras M1, M2, M3, M4 y M7 extraídas del fondo, pasan la malla # 16 (1.190 mm), por lo tanto los sedimentos tienen diámetros menores a 1.190 mm, según la clasificación ASTM D-1422, la muestra M1, M2, M3 y M4 corresponden a CL y la muestra M7 es SP.

El 100% de las muestras M5 y M6 extraídas del fondo, pasan la malla # 8 (2.300 mm), por lo tanto los sedimentos tienen diámetros menores a 2.300 mm, según la clasificación ASTM D-1422, la muestra M5 y M6 corresponden a SP.

El 100% de las muestras M8 y M9 extraídas del fondo, pasan la malla de tamiz de 1" (25.4 mm), por lo tanto los sedimentos tienen diámetros menores a 25.4 mm, según la clasificación ASTM D-1422, la muestra M8 corresponde a SC-SM y la muestra M9 corresponden a CL. [8]

## **3.2 METODOLOGÍA Y ZONA DE LA EVALUACIÓN**

### **3.2.1 Metodología**

Uno de los fines más importantes de la ingeniería de costas es la predicción de la evolución de la línea de costa con o sin presencia de estructuras costeras. Por tal razón el cálculo y evaluación de transporte de sedimentos toma una vital importancia por lo que a continuación se describe la metodología a seguir.

En base a la información obtenida de las características del medio costero y marino relevantes al transporte de sedimentos procedemos a realizar el cálculo de la altura del oleaje ( $H_b$ ) en la zona de rompiente, previamente necesitamos realizar el cálculo del coeficiente de refracción en aguas profundas, intermedias y en aguas poco profundas con lo que obtenemos el coeficiente de refracción ( $K_r$ ) y el coeficiente de bajos ( $K_s$ ) para el emplazamiento requerido. Consecutivamente realizamos el cálculo de la velocidad de la corriente inducida por el oleaje ( $V$ ) por el método de Bijker, el cual depende de varios parámetros característicos de la hidrodinámica del oleaje.

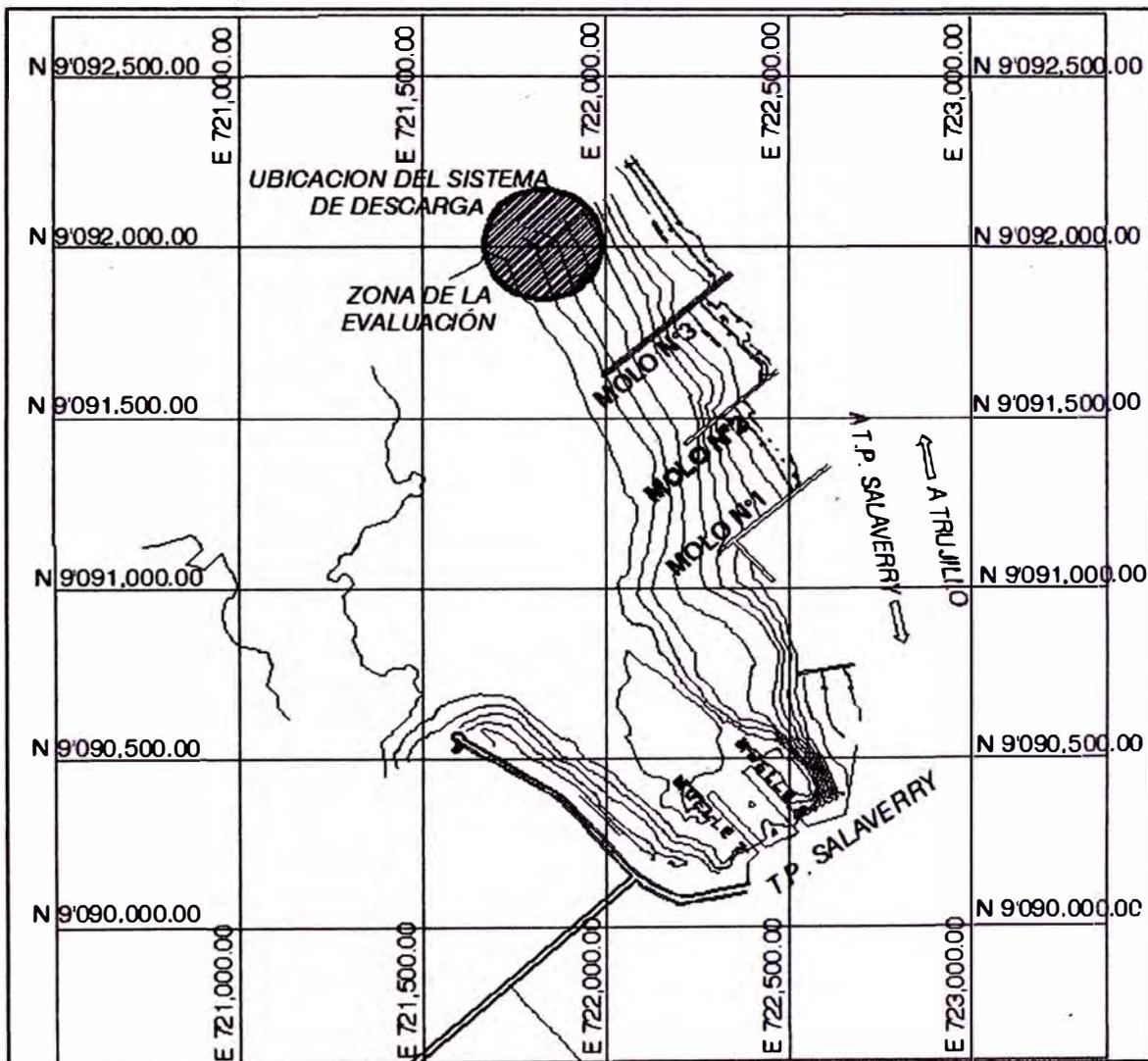
Posteriormente se procede a realizar el cálculo del transporte de sedimentos de fondo ( $S_b$ ) y el cálculo del transporte de sedimentos de suspensión ( $S_s$ ) por el método de Bijker, los cuales son dependientes de la velocidad de la corriente inducida por el oleaje ( $V$ ), así como también de otros parámetros característicos de la hidrodinámica del oleaje.

Con lo que finalmente se obtiene el transporte total de sedimentos ( $S_{Total}$ ) por el método de Bijker mediante la suma del transporte de sedimentos de fondo y suspensión.

### 3.2.2 Zona de la Evaluación

La zona de influencia de la evaluación del transporte de sedimentos desde la descarga del sistema de dragado se encuentra ubicado al norte del molo N° 3 y comprende los distritos de Salaverry, Moche y Víctor Larco pertenecientes a la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad (ver Figura N° 3.01); donde en el transcurso de los últimos 50 años se ha originado una pérdida progresiva de playa, producto del desequilibrio del transporte natural de sedimentos.

Figura N° 3.01: Zona de la evaluación del transporte de sedimentos.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 MODELO DE EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La construcción de un modelo de predicción del transporte de sedimentos semejante precisa del conocimiento de la interacción entre el oleaje y la

batimetría, así como de los mecanismos que inducen el transporte de sedimentos fuera y en el interior de la zona de rompientes. El modelo ideal debería estar constituido por diversos elementos. Un primer elemento lo constituiría el modulo de propagación del oleaje, cuyo fin sería llevar un oleaje, desde aguas profundas hasta la costa. El segundo elemento, alimentado con los resultados del modulo anterior, debería ser capaz de reproducir la hidrodinámica en la zona de rompientes.

De forma general, se puede decir que el estudio de la evolución de la línea de costa se ha abordado desde tres direcciones diferentes:

- **Los modelos llamados de sedimentación/erosión inicial** que básicamente realizan el cálculo del sistema de corrientes y del transporte de sedimentos en una batimetría que se asume permanecen constantes, y determinan la tasa de sedimentación o erosión en cada punto de la batimetría dada. Son los más utilizados en la actualidad, dado que son de fácil implementación y a muy bajo coste, pero son solo válidos para modelar procesos mucho más cortos que la escala del proceso morfológico (por ejemplo la escala de un temporal). [9]
- **Los modelos morfodinámicos de medio plazo** en los que la nueva batimetría vuelve a alimentar el modelo de propagación, iniciando, de nuevo, el ciclo. Estos modelos describen, fundamentalmente, las variaciones del lecho y su escala de tiempo es muy próxima a la correspondiente a los procesos hidrodinámicos. Sus resultados no son extrapolables a escalas de tiempo superiores. [9]
- **Los modelos morfodinámicos de largo plazo** en los que las ecuaciones constitutivas del modelo no describen los procesos físicos individuales sino que integran estos procesos a un más alto nivel, mediante procesos matemáticos (promediado temporal), y razonamientos físicos y empíricos. Las escalas de tiempo correspondientes a estos modelos son incluso mayores que las escalas de los procesos morfodinámicos predominantes. El ejemplo más característico del uso de este tipo de modelo es la determinación del impacto morfológico inducido por la sobre elevación del nivel medio del mar.[9]

En el presente informe se enfocará en el modelo de sedimentación/erosión inicial, en el cual se realizaron cálculos por medio de una metodología aceptada universalmente, en donde se asume que la batimetría permanece constante.

### 3.4 CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

#### 3.4.1 Cálculo de los coeficientes de refracción ( $K_r$ )

De los plano batimétricos [8], se obtiene los respectivos valores de coeficientes de refracción para aguas profundas, intermedias y poco profundas, para el oleaje en la dirección Sur y Sur Oeste, con los cuales se obtiene los coeficientes de refracción ( $K_r$ ), estos valores son:

**Dirección Sur:**

- $K_{r1} = 0.9367$  : Coeficiente de refracción en aguas profundas.  
 $K_{r2} = 0.9048$  : Coeficiente de refracción en aguas intermedias.  
 $K_{r3} = 0.9974$  : Coeficiente de refracción en aguas poco profundas.

Finalmente se obtiene el coeficiente de refracción en dirección Sur.

$$K_r = K_{r1} \cdot K_{r2} \cdot K_{r3} = 0.8453$$

**Dirección Sur - Oeste:**

- $K_{r1} = 0.9581$  : Coeficiente de refracción en aguas profundas.  
 $K_{r2} = 1.0423$  : Coeficiente de refracción en aguas intermedias.  
 $K_{r3} = 0.9897$  : Coeficiente de refracción en aguas poco profundas.

Finalmente se obtiene el coeficiente de refracción en dirección Sur - Oeste.

$$K_r = K_{r1} \cdot K_{r2} \cdot K_{r3} = 0.9883$$

#### 3.4.2 Cálculos de la altura y profundidad en la rompiente

En base a la Teoría Lineal de Airy tenemos las siguientes características de las olas en aguas profundas:

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = 1.56(T^2) \quad \text{y} \quad d_0 = \frac{L_0}{2} \quad \text{Donde: } T = 14 \text{ seg.}$$

De donde se obtiene :  $L_0 = 305.76 \text{ m}$  y  $d_0 = 152.88 \text{ m}$

Luego en base a la información obtenida por ENAPU para el TPS se obtiene la Tabla N° 3.01 donde se proporciona la altura de olas significantes en aguas profundas en Salaverry con sus respectivos porcentajes de ocurrencia, dicha información nos servirá para el cálculo de la altura y profundidad de la ola en la zona de rompiente.

Posteriormente se usa los gráficos de CERC (Coastal Engineering Research Center) [3], para calcular la altura y profundidad de la ola en la zona de rompiente.

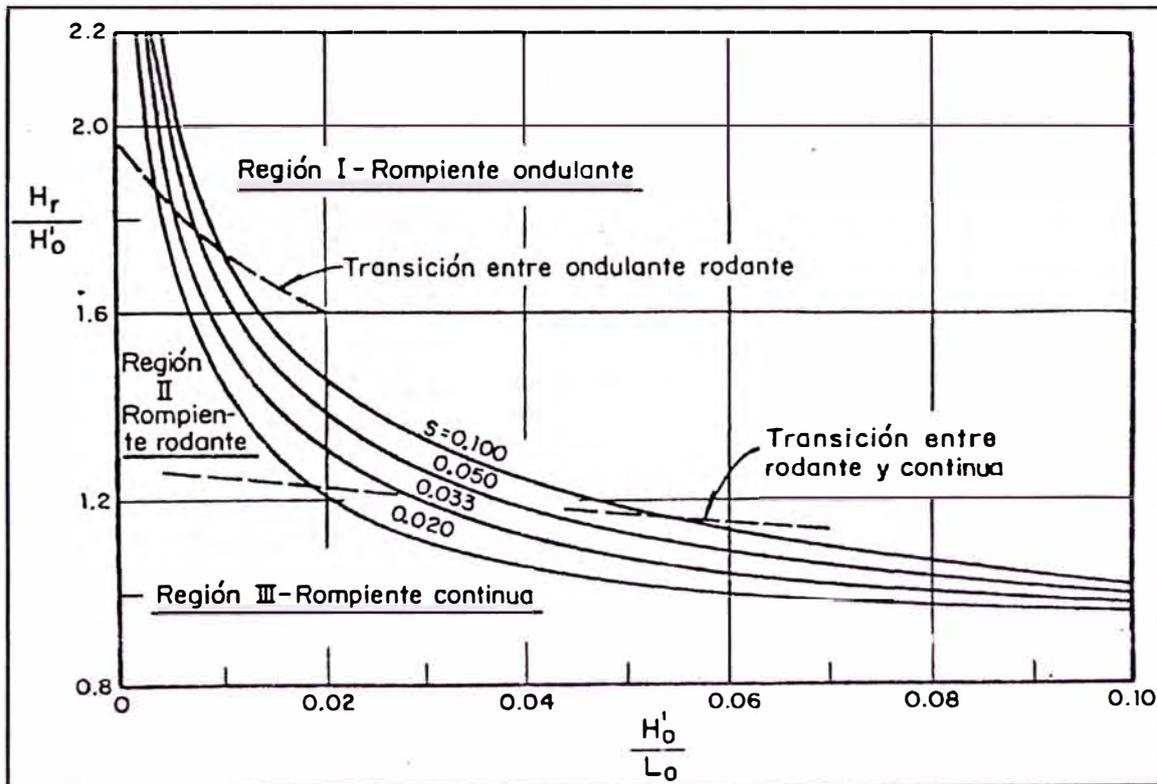
Tabla N° 3.01: Altura de olas significantes en aguas profundas en Salaverry.

Ocurrencia (%)	Ho (m)
1.60	0.75
18.40	1.05
47.00	1.40
28.00	1.91
4.40	2.55
0.54	3.20
0.06	3.75

Fuente: Registro de ENAPU para el Puerto de Salaverry.

En la Figura N° 3.02 se obtiene las alturas de las olas rompiente para cada altura de ola significante en aguas profundas en Salaverry y su clasificación en función de la pendiente de la playa, altura de la ola en aguas profundas y esbeltez de la ola, según el CERC. [3]

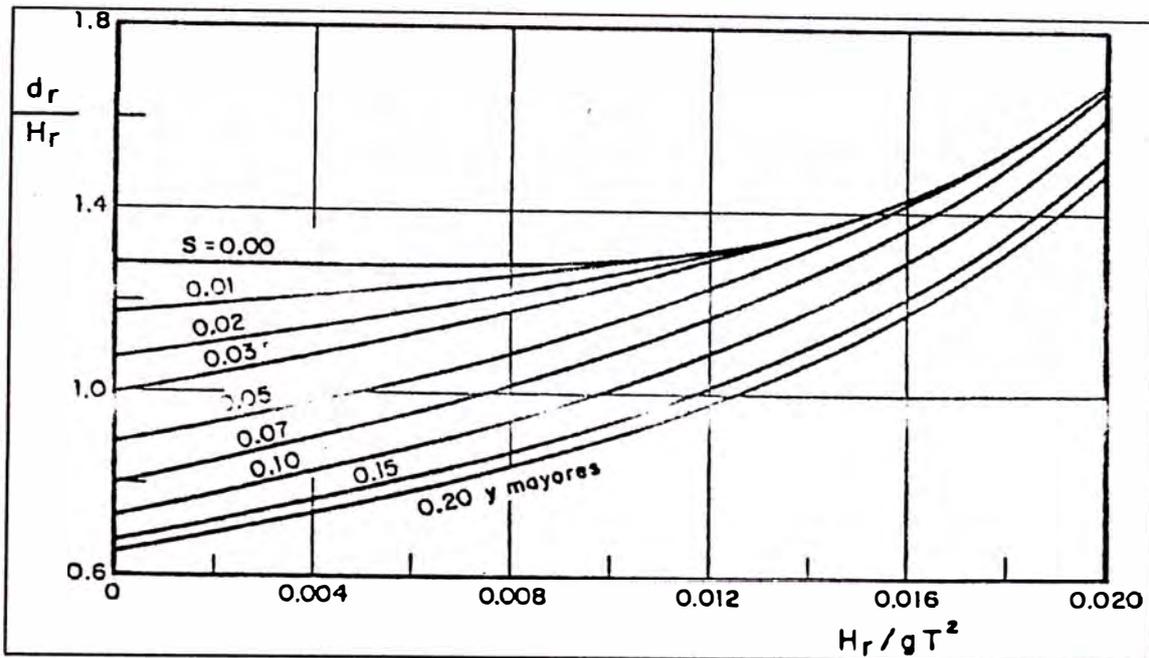
Figura N° 3.02: Gráfico de CERC: Altura de Ola Rompiente.



Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles - Hidráulica Marítima.

En la Figura N° 3.03 se obtiene las profundidades de las olas rompiendo, en función de la pendiente de la playa, altura de la ola rompiente y periodo de la ola ( $T = 14$  seg.), según el CERC. [3]

Figura N° 3.03: Gráfico de CERC: Profundidad de Ola Rompiente.



Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles - Hidráulica Marítima.

Se procede a calcular  $H'_0 / L_0$  y con una pendiente ( $S = m = 0.0193$ ) obtenida del plano batimétrico B-1 (Ver Anexo II), para ingresar en la Figura N° 3.02 y obtener ( $H_r = H_b$ ) en la Tabla N° 3.02.

Previamente obtenemos:  $H'_0 = K_r \cdot H_0$

Donde:  $K_r = 0.8453$  considerando la incidencia del oleaje en la dirección Sur, que tiene un mayor porcentaje de ocurrencia y es la que contribuye principalmente al transporte de arena a lo largo de la costa.

Tabla N° 3.02: Cálculo de la altura de olas ( $H_b$ ) en la zona de rompiente.

Ocurrencia (%)	$H_0$ (m)	$K_r$	$H'_0$ (m)	$H'_0/L_0$	$S = m$	$H_r/H'_0$	$H_r = H_b$ (m)
1.60	0.75	0.8453	0.63	0.0021	0.0193	2.02	1.28
18.40	1.05	0.8453	0.89	0.0029	0.0193	1.87	1.66
47.00	1.40	0.8453	1.18	0.0039	0.0193	1.74	2.06
28.00	1.91	0.8453	1.61	0.0053	0.0193	1.63	2.63
4.40	2.55	0.8453	2.16	0.0070	0.0193	1.53	3.30
0.54	3.20	0.8453	2.70	0.0088	0.0193	1.46	3.95
0.06	3.75	0.8453	3.17	0.0104	0.0193	1.41	4.47

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a calcular  $H_r / (g.T^2)$  y con una pendiente ( $S = m = 0.0193$ ) obtenida del plano batimétrico B-1 (Ver Anexo II), para ingresar en la Figura N° 3.03 y obtener ( $d_r=d_b$ ) en la Tabla N° 3.03.

En donde para el caso de Salaverry tenemos:  $T=14$  seg.

Tabla N° 3.03: Cálculo de la profundidad de olas ( $d_b$ ) en la zona de rompiente.

Ocurrencia (%)	$H_o$ (m)	$H_r$ (m)	$g$ (m/seg <sup>2</sup> )	$H_r/(g.T^2)$	$S = m$	$d_r/H_r$	$d_b$ (m)
1.60	0.75	1.28	9.81	0.0007	0.0193	1.073	1.37
18.40	1.05	1.66	9.81	0.0009	0.0193	1.079	1.79
47.00	1.40	2.06	9.81	0.0011	0.0193	1.085	2.23
28.00	1.91	2.63	9.81	0.0014	0.0193	1.090	2.87
4.40	2.55	3.30	9.81	0.0017	0.0193	1.094	3.61
0.54	3.20	3.95	9.81	0.0021	0.0193	1.098	4.34
0.06	3.75	4.47	9.81	0.0023	0.0193	1.113	4.97

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 Cálculo del coeficiente de bajos ( $K_s$ )

Primero se calcula la longitud de ola en la zona de rompiente con la fórmula (2.4) para cada porcentaje de ocurrencia, luego se calcula el número de ola respectivo y consecutivamente se calcula con la fórmula (2.3) el coeficiente de bajos para la zona de rompiente, el cual se muestra en la Tabla N° 3.04.

Tabla N° 3.04: Cálculo del coeficiente de bajos ( $K_s$ ) en la zona de rompiente.

Ocurrencia (%)	$d_b$ (m)	$T$ (seg)	$g$ (m/seg <sup>2</sup> )	$L_b$ (m)	$k$	$K_s$
1.60	1.37	14.00	9.81	51.16	0.1228	1.7375
18.40	1.79	14.00	9.81	58.32	0.1077	1.6297
47.00	2.23	14.00	9.81	65.04	0.0966	1.5456
28.00	2.87	14.00	9.81	73.53	0.0854	1.4567
4.40	3.61	14.00	9.81	82.26	0.0764	1.3808
0.54	4.34	14.00	9.81	89.96	0.0698	1.3238
0.06	4.97	14.00	9.81	96.14	0.0654	1.2833

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.4 Cálculo de la velocidad inducida por el oleaje (V)

Primero se obtiene con ayuda de las fórmulas respectivas, los siguientes parámetros, los cuales se muestran en la Tabla N° 3.05; luego se calcula con la fórmula (2.5) la velocidad inducida por el oleaje en la Tabla N° 3.06. Donde para el caso de Salaverry el periodo de las olas es  $T=14$  seg.

Tabla N° 3.05: Cálculo de los parámetros ( $\gamma$ ), ( $f_w$ ) y (C).

H <sub>b</sub> (m)	d <sub>b</sub> (m)	$\gamma = H_b/d_r$	L <sub>b</sub> (m)	a <sub>b</sub>	r (m)	f <sub>w</sub>	C
1.28	1.37	0.932	51.16	3.892	0.05	0.024	45.328
1.66	1.79	0.927	58.32	4.446	0.05	0.022	47.399
2.06	2.23	0.922	65.04	4.971	0.05	0.021	49.128
2.63	2.87	0.917	73.53	5.658	0.05	0.020	51.082
3.30	3.61	0.914	82.26	6.391	0.05	0.019	52.874
3.95	4.34	0.911	89.96	7.055	0.05	0.019	54.312
4.47	4.97	0.898	96.14	7.518	0.05	0.018	55.385

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.06: Cálculo de la velocidad inducida por el oleaje (V).

Ocurrencia (%)	H <sub>b</sub> (m)	d <sub>b</sub> (m)	$\phi_0$ (°)	g (m/seg <sup>2</sup> )	c <sub>0</sub> (m/seg)	m	V (m/seg)
1.60	1.28	1.37	27.10	9.81	21.858	0.0193	0.658
18.40	1.66	1.79	27.10	9.81	21.858	0.0193	0.917
47.00	2.06	2.23	27.10	9.81	21.858	0.0193	1.208
28.00	2.63	2.87	27.10	9.81	21.858	0.0193	1.648
4.40	3.30	3.61	27.10	9.81	21.858	0.0193	2.190
0.54	3.95	4.34	27.10	9.81	21.858	0.0193	2.746
0.06	4.47	4.97	27.10	9.81	21.858	0.0193	3.209

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.5 Cálculo del transporte de sedimentos de fondo (S<sub>b</sub>)

Primero se obtiene con ayuda de las fórmulas respectivas, los siguientes parámetros, los cuales se muestran en la Tabla N° 3.07.

Tabla N° 3.07: Cálculo de los parámetros (C), ( $\mu$ ) y ( $\xi$ ).

H <sub>b</sub> (m)	d <sub>b</sub> (m)	L <sub>b</sub> (m)	a <sub>b</sub>	r (m)	f <sub>w</sub>	C	C'	$\mu =$ C/C'	$\xi$
1.28	1.37	51.16	3.892	0.05	0.024	45.328	84.366	0.54	0.36
1.66	1.79	58.32	4.446	0.05	0.022	47.399	86.437	0.55	0.36
2.06	2.23	65.04	4.971	0.05	0.021	49.128	88.166	0.56	0.37
2.63	2.87	73.53	5.658	0.05	0.020	51.082	90.120	0.57	0.37
3.30	3.61	82.26	6.391	0.05	0.019	52.874	91.912	0.58	0.38
3.95	4.34	89.96	7.055	0.05	0.019	54.312	93.350	0.58	0.38
4.47	4.97	96.14	7.518	0.05	0.018	55.385	94.423	0.59	0.38

Fuente: Elaboración propia.

Luego usando la fórmula (2.6), se calcula el transporte de sedimentos de fondo como se muestra en la Tabla N° 3.08. Previamente se obtiene otro parámetro como:  $\mu_b = (\pi \cdot H) / (T \cdot \tanh(k \cdot d))$  En donde para el caso de Salaverry el periodo de las olas es  $T = 14$  seg. Y también se obtiene los siguientes parámetros:

$$B=5; D=0.00019 \text{ m}; \rho_s=2650 \text{ kg/m}^3; \rho=1025 \text{ kg/m}^3; \Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} = 1.585$$

Tabla N° 3.08: Cálculo del transporte de sedimentos de fondo ( $S_b$ )

Ocurrencia (%)	H <sub>b</sub> (m)	d <sub>b</sub> (m)	V (m/seg)	u <sub>b</sub> (m/seg)	S <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /s/m)	Long. (m)	S <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1.37	1.28	1.37	0.658	1.719	0.000026	72.15	0.00189
1.79	1.66	1.79	0.917	1.954	0.000042	21.45	0.00091
2.23	2.06	2.23	1.208	2.174	0.000060	23.00	0.00138
2.87	2.63	2.87	1.648	2.457	0.000085	34.05	0.00290
3.61	3.30	3.61	2.190	2.753	0.000114	38.18	0.00437
4.34	3.95	4.34	2.746	3.015	0.000143	38.23	0.00547
4.97	4.47	4.97	3.209	3.193	0.000166	34.94	0.00580

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.6 Cálculo del transporte de sedimentos de suspensión ( $S_s$ )

Para calcular el transporte de sedimentos en suspensión, se hará uso de la Figura N° 2.09, que se refiere a los parámetros que intervienen en tal transporte de sedimentos y que es una adaptación de la fórmula de Einstein para el mismo

fenómeno. En la fórmula de transporte de sedimentos en suspensión intervienen dos parámetros independientes A y Z\*, que son calculados en la Tabla N° 3.09.

Previamente se obtiene otro parámetro como: 
$$W = \frac{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu'}$$

En donde se tiene que la viscosidad dinámica del agua de a mar para una temperatura de 18°C aproximadamente es:  $\mu' = 0.001054 \text{ kg/(m}\cdot\text{seg)}$  y que las demás variables son:  $D = 0.00019 \text{ m}$ ;  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ .

Por lo que se calcula que:  $W = 0.03033 \text{ m/seg}$ .

Además se tiene que la constante adimensional de Von Karman es:  $k' = 0.40$ .

Tabla N° 3.09: Cálculo de los parámetros independientes Z\* y A.

Hb (m)	db (m)	C	V (m/seg)	$\tau_c$	$\ddot{u}_b$ (m/seg)	$\xi$	Z*	r (m)	A = r/db
1.28	1.37	45.328	0.658	2.12	1.719	0.36	1.3931	0.05	0.036
1.66	1.79	47.399	0.917	3.77	1.954	0.36	1.0980	0.05	0.028
2.06	2.23	49.128	1.208	6.08	2.174	0.37	0.8924	0.05	0.022
2.63	2.87	51.082	1.648	10.46	2.457	0.37	0.6988	0.05	0.017
3.30	3.61	52.874	2.190	17.25	2.753	0.38	0.5545	0.05	0.014
3.95	4.34	54.312	2.746	25.71	3.015	0.38	0.4594	0.05	0.012
4.47	4.97	55.385	3.209	33.75	3.193	0.38	0.4037	0.05	0.010

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los parámetros Z\* y A y usamos la Figura N° 2.09 para calcular el transporte de sedimentos en suspensión, en la Tabla N° 3.10.

Tabla N° 3.10: Cálculo del transporte de sedimentos en suspensión (S<sub>s</sub>)

Ocurrencia (%)	Hb (m)	db (m)	Z*	A	S <sub>s</sub> /S <sub>b</sub>	S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1.60	1.28	1.37	1.3931	0.036	2.60	0.00491
18.40	1.66	1.79	1.0980	0.028	3.80	0.00346
47.00	2.06	2.23	0.8924	0.022	7.10	0.00980
28.00	2.63	2.87	0.6988	0.017	13.50	0.03915
4.40	3.30	3.61	0.5545	0.014	24.50	0.10705
0.54	3.95	4.34	0.4594	0.012	35.50	0.19418
0.06	4.47	4.97	0.4037	0.010	50.00	0.28976

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.7 Cálculo del transporte de sedimentos total ( $S_{Total}$ )

Finalmente se hace uso del transporte de sedimentos de fondo y en suspensión ya calculados en las Tablas N° 3.08 y N° 3.10, para cada valor de la profundidad de rompiente y considerando sus respectivos porcentajes de ocurrencia, para posteriormente obtener el transporte de sedimentos total ( $S_{Total}$ ) mediante la fórmula (2.8) en la Tabla N° 3.11.

Tabla N° 3.11: Cálculo del transporte de sedimentos total ( $S_{Total}$ )

Ocurrencia (%)	Hb (m)	db (m)	$S_b$ (m <sup>3</sup> /s)	$S_s$ (m <sup>3</sup> /s)	$S_{Total}$ (m <sup>3</sup> /s)
1.60	1.28	1.37	0.00189	0.00491	0.00011
18.40	1.66	1.79	0.00091	0.00346	0.00080
47.00	2.06	2.23	0.00138	0.00980	0.00525
28.00	2.63	2.87	0.00290	0.03915	0.01177
4.40	3.30	3.61	0.00437	0.10705	0.00490
0.54	3.95	4.34	0.00547	0.19418	0.00108
0.06	4.47	4.97	0.00580	0.28976	0.00018
<b>Total</b>					<b>0.02410</b>
<b>Total Anual</b>					<b>749522.742</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se concluye que la capacidad anual del transporte de sedimentos en la zona de evaluación es de 749522.74 m<sup>3</sup> de arena.

Adicionalmente se obtiene la Tabla N° 3.12, en donde se muestra la capacidad del transporte parcial anual de sedimentos, para las profundidades de rompiente correlativos a sus porcentajes de ocurrencia.

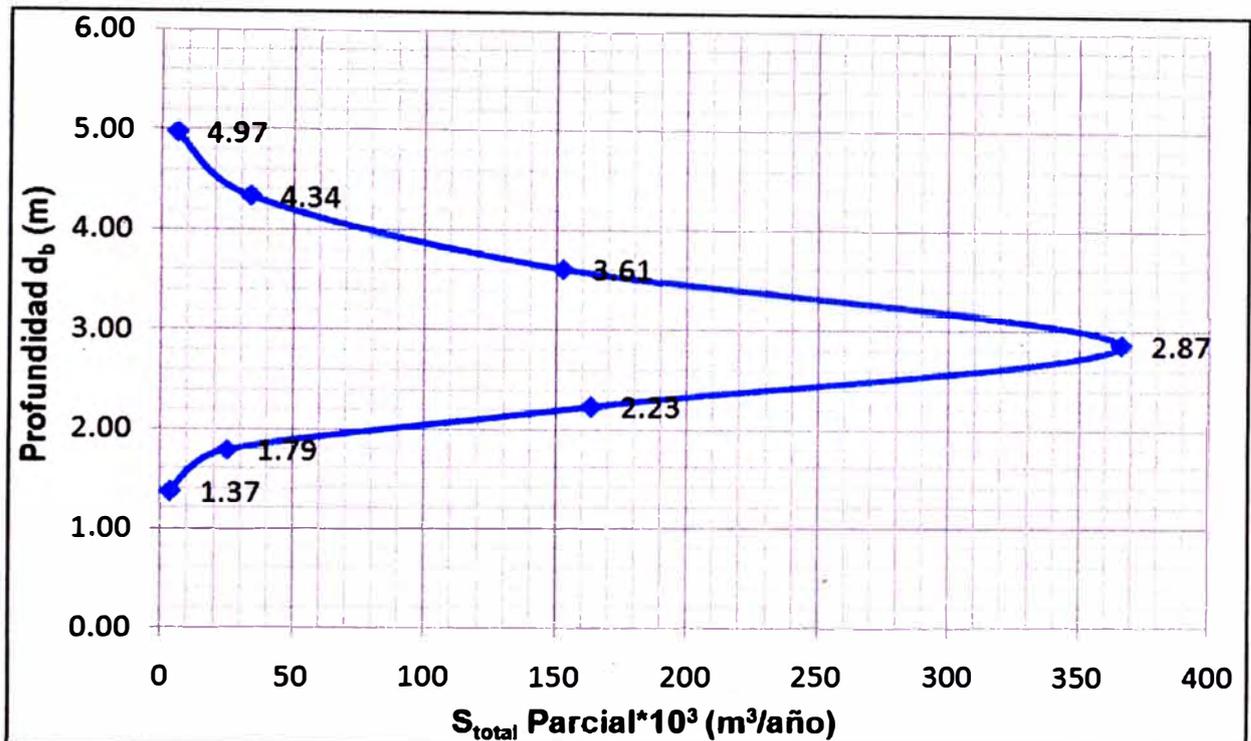
Tabla N° 3.12: Cálculo del transporte parcial anual de sedimentos.

Ocurrencia (%)	db (m)	$S_{Total}$ (m <sup>3</sup> /s)	$S_{Total} * 10^3$ (m <sup>3</sup> /año)
1.60	1.37	0.00011	3.382
18.40	1.79	0.00080	25.015
47.00	2.23	0.00525	163.363
28.00	2.87	0.01177	366.229
4.40	3.61	0.00490	152.483
0.54	4.34	0.00108	33.534
0.06	4.97	0.00018	5.516

Fuente: Elaboración propia.

En base a la información del transporte parcial anual de sedimentos de la Tabla N° 3.12, obtenida en función de las profundidades de rompiente correlativos a sus porcentajes de ocurrencia tenemos la gráfica del transporte de sedimento en la rompiente en la Figura N° 3.04, de donde podemos definir el límite de la profundidad a la que se puede emplazarse el diseño de una obra de protección sin interrumpir considerablemente el transporte natural de sedimentos.

Figura N° 3.04: Transporte de sedimentos en la rompiente.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de la Figura N° 3.04, se puede concluir dos aspectos importantes:

- La zona de rompiente se extiende hasta la cota aproximada de -5.00 m.
- La profundidad a la cual se da el mayor transporte de sedimentos es en la cota -2.90 m.

Por lo tanto el nivel batimétrico, donde descargará el material obtenido del sistema de dragado del Puerto de Salaverry será en la cota -2.90 m, y a esta altura se colocara la tubería submarina con la finalidad de que el material bombeado por la tubería ingrese a la zona donde existe la mayor capacidad de transporte de sedimentos en la zona de la evaluación, con la finalidad de contrarrestar la erosión de las playas ubicadas en la costa norte del molo N° 3, como se muestra en el plano B-1 (Ver Anexo II).

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

En el desarrollo del fenómeno de refracción del oleaje en la zona de estudio se han tomado en cuenta las principales direcciones de ola: Sur (S) y Sur - Oeste (SO), que se producen en aguas profundas, por ser las de mayor frecuencia de ocurrencia. Las olas provenientes de la dirección S tienen un porcentaje de ocurrencia del 63.8%, en tanto que las provenientes de la dirección SO tienen un porcentaje de ocurrencia del 16.6% según la información obtenida de la Sailing Directions para el Puerto de Salaverry. (Ver Tabla N° 2.04)

Del desarrollo realizado para el fenómeno de refracción se obtuvo el coeficiente de refracción total en la dirección Sur es  $K_r=0.8453$ , mientras que en la dirección Sur – Oeste es  $K_r=0.9883$ .

De los cálculos de refracción se puede ver que las crestas de las olas provenientes de la dirección S en aguas profundas llegan con un ángulo de incidencia de  $27.1^\circ$  a la batimétrica en aguas profundas, en tanto que las provenientes de la dirección SO llegan con un ángulo de aproximadamente  $0^\circ$ , lo cual quiere decir que las olas provenientes de la dirección Sur, son las que contribuyen principalmente al transporte de sedimentos a lo largo de la costa.

De los cálculos de asomeramiento debido a los cambios de altura de olas producto del cambio en la celeridad de grupo al pasar las olas desde aguas profundas a aguas en la zona de rompiente se obtuvo que el coeficiente de Bajos (shoaling) para profundidad de rompiente  $d_b = 1.37$  m es de  $K_s=1.738$  y para  $d_b = 4.97$  m es de  $K_s=1.283$ .

Del estudio de corrientes de marea realizado en concordancia con la batimetría en aguas poco profundas para los días 10, 12 y 14 de enero del 2011, se puede obtener que la marea en el Puerto de Salaverry es de naturaleza semi – diurna, es decir existen diariamente dos pleamares (ascenso) y dos bajamares (descenso), con una velocidad máxima medida de 0.236 m/seg en marea llenante y la mínima velocidad de 0.074 m/seg, en ambos casos en dirección de sur a norte, (Ver Anexo III).

Del estudio de las 9 muestras de fondo [8], realizado se tiene que el sedimento transportado son arcillas arenosas (CL) para el 50% de las muestras, arenas mal

graduadas (SP) para el 33.3% y arena limo arcillosa (SC-SM) para el 16.7% de las muestras.

De los cálculos del transporte de sedimentos a lo largo de la costa se ha evaluado la capacidad de transporte de sedimentos mediante el método de Bijker, por el cual el transporte litoral es determinado en base al efecto combinado de olas y corrientes, considerando el transporte de fondo y el transporte en suspensión, con un transporte total anual de sedimentos de  $(S_{Total}) = 749522.74 \text{ m}^3/\text{año}$ .

## 4.2 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

El caso práctico escogido ha sido el transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de una playa. La direccionalidad es, para el transporte longitudinal, de vital importancia: considerando únicamente el oleaje principal de un registro se supone una única dirección de transporte de los sedimentos, y su ángulo de afección en la playa afecta al balance de energía de un modo u otro.

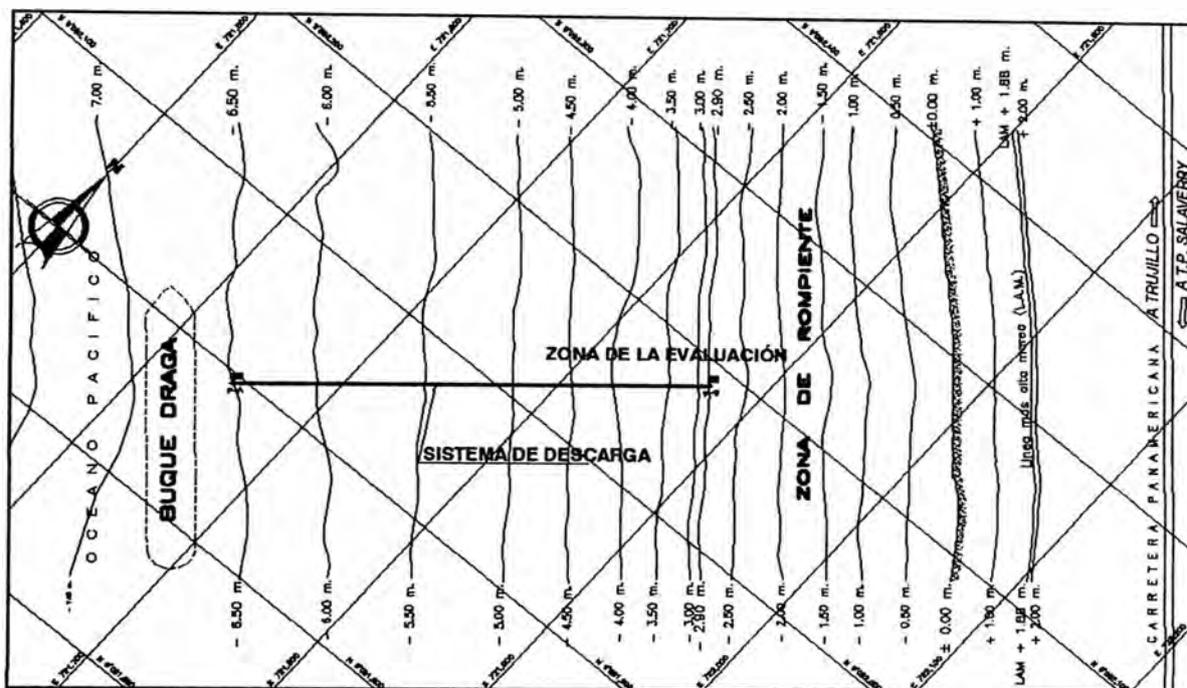
La importancia del transporte longitudinal viene dada por ser el responsable principal de los cambios en planta en la playa y los cambios a largo plazo de la misma, por tal razón el conocer los efectos causados por el transporte de sedimentos sobre la línea de costa, tiene por finalidad evaluar y determinar las alternativas más óptimas para la protección de las zonas que están más propensas a sufrir los efectos de erosión.

Se dice que una playa está en equilibrio cuando el volumen total de sedimentos movido en la misma, en un determinado intervalo de tiempo no presenta pérdidas ni ganancias, siendo precisamente este equilibrio en playas lo que el hombre ha querido mantener por diferentes medios para el mejor aprovechamiento de ellas. La erosión, acreción o estabilidad de las costas depende del balance sedimentario (las tasas de aporte o remoción de sedimento de la costa).

Por lo general, los cambios del transporte longitudinal son irreversibles a no ser que se actúe sobre el sistema de transporte, como es en este caso donde a través de un sistema de tendido de tuberías submarinas se descargará el material dragado por un B/D THSD en el Puerto de Salaverry hacia la cota 2.90 m (ver Figura N° 4.01), en donde existe la mayor capacidad de transporte de sedimentos en la zona evaluada, con el objeto de mitigar la erosión en toda la

zona norte afectada por las obras de abrigo del puerto, principalmente en los distritos de Moche y Víctor Larco.

Figura N° 4.01: Sistema de descarga del material dragado al norte del Molo N° 3.



Fuente: Elaboración propia.

El material dragado a depositar en la batimetría -2.90 metros es en promedio de  $1037003.63 \text{ m}^3/\text{año}$ , esto se obtiene de los registros históricos de los volúmenes dragados con equipos de ENAPU desde 1990 hasta el 2007, el cual principalmente servirá para mitigar la erosión existente y en menor grado recuperar la línea costera en la zona de estudio, el cual se dará en largo plazo.

Por lo que se recomienda realizar levantamientos batimétricos en las estaciones de verano e invierno en dos años consecutivos para hacer el seguimiento del sedimento depositado con el fin de constatar si este sedimento ha variado a favor de la recuperación de las playas o si este ha continuado transportándose a lo largo de la zona de rompiente para verificar si se están cumpliendo los objetivos planteados inicialmente.

Por otro lado se recomienda realizar el periodo de dragado en el puerto en la estación de verano que va desde mediados de diciembre hasta mediados de abril, ya que en estos meses es cuando el efecto del transporte de sedimentos producto del oleaje es menor y el material depositado en el puerto es susceptible a ser dragado mejor, por lo que se recomienda efectuar dichas operaciones de

dragado en esa temporada y depositarlo en la costa norte del molo N° 3, para generar barreras de sedimentos que contrarrestaran la incidencia del oleaje en la estación de invierno que va desde junio hasta mediados de setiembre; pero se debe tomar en cuenta que en el periodo de dragado también es influenciado por las condiciones de operación del puerto referente al calado, por lo que habrá la necesidad de realizar dragados de emergencia dada las circunstancias del caso en periodos no recomendados, además también se debe tomar en cuenta si el B/D THSD adquirido se encuentra en disponibilidad en los periodos recomendados, ya que puede estar operando en otro puerto para poder cubrir el costo de inversión realizado al adquirir dicho buque de dragado.

La metodología utilizada para el cálculo del transporte longitudinal consiste en estimar el potencial de transporte longitudinal sobre una costa conociendo las alturas de las olas, su ángulo de incidencia con respecto a la línea de orilla y las respectivas frecuencias a lo largo de un periodo. Esta fórmula empírica está basada en un ajuste experimental, teniendo esta metodología las siguientes ventajas:

- Aplicable a trozos de costa;
- Puede ser usada para diversos alineamientos de playa dentro de un área de estudio;
- No requiere levantamientos detallados de las características locales, apenas un conjunto de datos estadísticos de las ondas o alineamientos de la costa.

La metodología aplicada depende del origen de los datos y a cierta subjetividad en cuanto a la interpretación de datos y formulaciones. Los valores obtenidos pueden contener errores debido a que la formulación que estima el transporte es altamente sensible a la altura de la ola y al ángulo de ataque de la misma, por tal razón estas estimaciones deben ser corroboradas y sujetas a verificación en el campo.

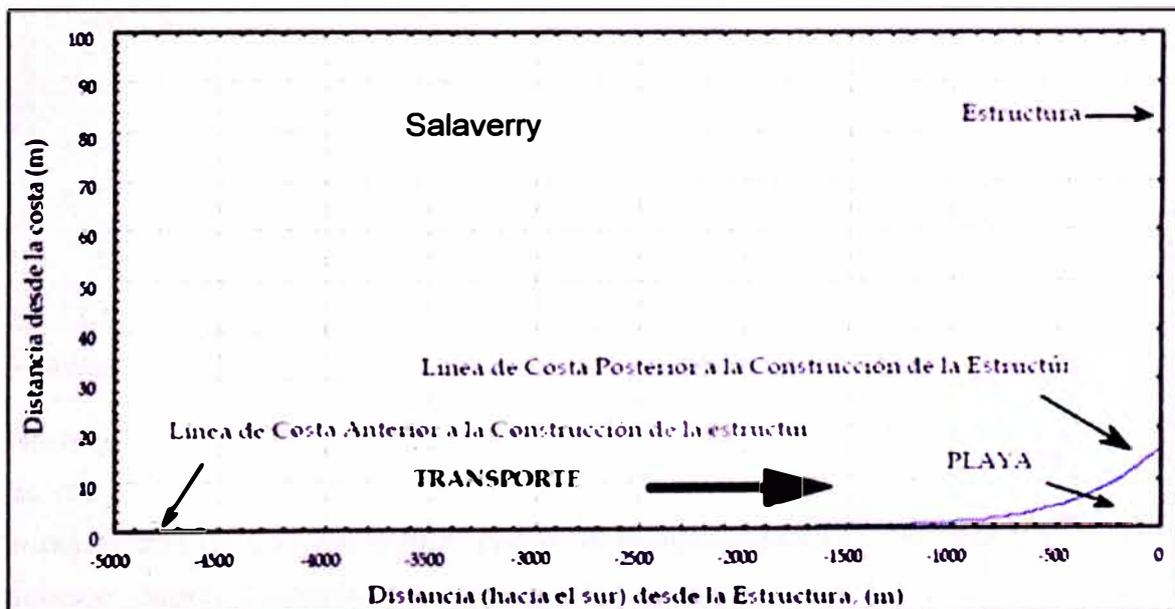
### 4.3 MEDIDAS COMPLEMENTARIAS A ADOPTAR

A continuación se expondrá unas series de medidas a adoptar en paralelo al sistema de descarga del material dragado que reusa dicho material para contrarrestar la erosión, con el fin de recuperar la playa en menores plazos del que se recuperaría las playas al no implementar alguna medida adicional.

Una vez estimado el volumen de sedimentos transportado por las olas dentro de la zona de rompientes, se estima a continuación los cambios que experimentará, como consecuencia, la línea de costa por el efecto de la implantación de una estructura, que en este caso será un espigón con el cabezo en la batimetría -2.3 metros, el cual contribuirá a evitar que la erosión continúe, por lo que en el futuro debe seguir construyéndose más espigones de manera de recuperar la playa en un corto o mediano plazo.

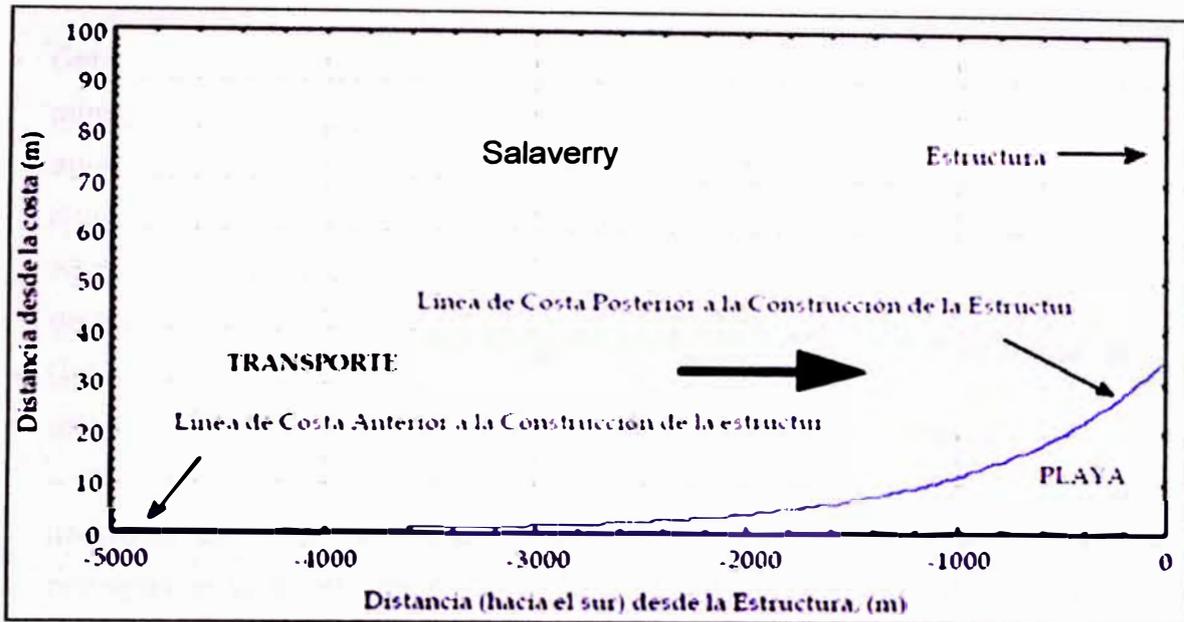
Al colocar nuestra estructura en una batimetría de -2.3 metros que aproximadamente que tiene una distancia desde la costa de 116.0 metros tenemos que de la Figura N° 3.04 y de la Tabla N° 3.12 que aproximadamente del orden de 191760.0 m<sup>3</sup>/año del transporte total de sedimentos es retenido por la implantación de esta estructura. A continuación se mostrara en forma referencial y esquemática como podría darse la evolución de la línea de costa para 2 meses (ver Figura N° 4.02), 1 año (ver Figura N° 4.03), y 5 años (ver Figura N° 4.04) después de haberse construida la estructura.

Figura N° 4.02: Configuración de la línea de costa luego de 3 meses.



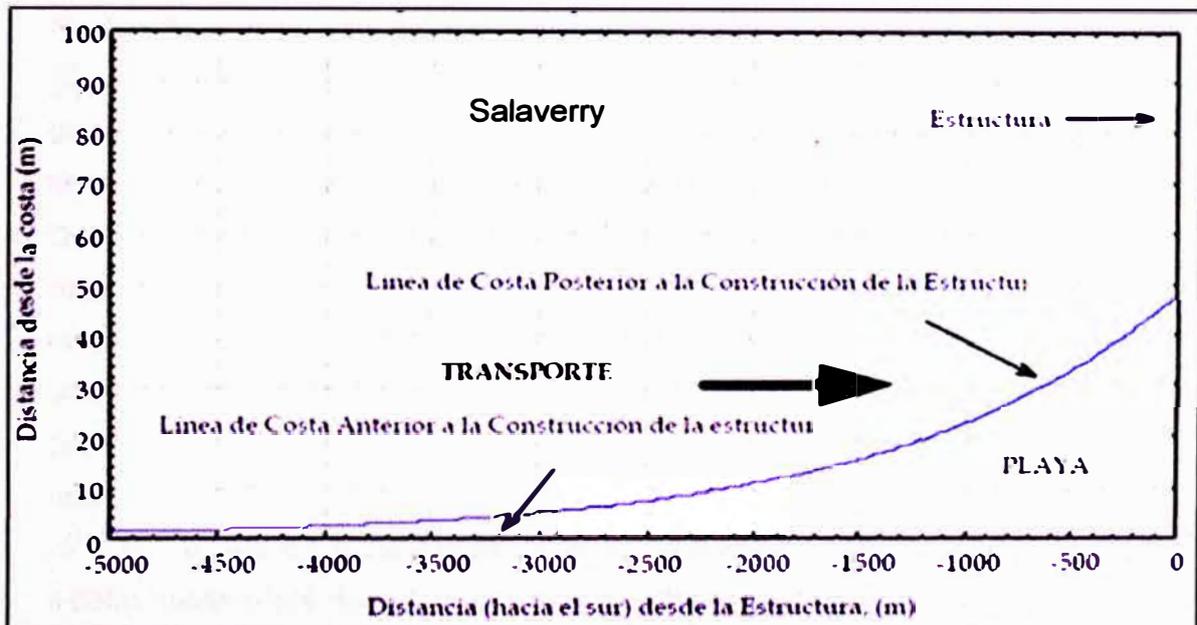
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4.03: Configuración de la línea de costa luego de 1 año.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4.04: Configuración de la línea de costa luego de 5 años.



Fuente: Elaboración propia.

No hay información disponible sobre estimaciones y corroboraciones anteriores de los cambios que experimentará la línea costera como consecuencia de la implantación de una estructura, por lo tanto, los resultados presentados en esta sección deben considerarse como estimaciones y sujetos a verificación en el campo.

## CONCLUSIONES

- Del estudio del fenómeno de refracción del oleaje se concluye que las principales direcciones de ola son la Sur y Sur - Oeste, que se producen en aguas profundas, ya que estas tienen la mayor frecuencia de ocurrencia. Las olas provenientes de la dirección S tienen un porcentaje de ocurrencia del 63.8%, en tanto que las provenientes de la dirección SO tienen un porcentaje de ocurrencia del 16.6%.
- Del desarrollo del fenómeno de refracción se obtuvo el coeficiente de refracción en la dirección Sur de  $K_r=0.8453$ , mientras que en la dirección Sur – Oeste de  $K_r=0.9883$ , y del cálculo del ángulo de incidencia ( $\theta_0$ ) de cada dirección del oleaje se concluye que la dirección S es la que contribuye principalmente en el transporte de sedimentos a lo largo de la costa al tener  $\theta_0=27.1^\circ$  comparado al de la dirección SO el cual llega con  $\theta_0\approx 0^\circ$ .
- Del estudio de las 9 muestras de fondo [8], realizado se tiene que el sedimento transportado son arcillas arenosas (CL) para el 50% de las muestras, arenas mal graduadas (SP) para el 33.3% y arena limo arcillosa (SC-SM) para el 16.7% de las muestras, por lo que se concluye que en general los sedimentos transportados por el oleaje a lo largo de la costa son sedimentos no cohesivos tales como las arenas.
- Del desarrollado de la evaluación del transporte de sedimentos mediante el método de Bijker, se ha obtenido un valor del orden de  $749522.74 \text{ m}^3/\text{año}$ , por lo que se concluye que este volumen representa la capacidad transportada a una distancia cercana al puerto de Salaverry, cuyo valor aumenta progresivamente como lo evidenciamos que al norte del río Moche es del orden de  $826567.27 \text{ m}^3/\text{año}$  [8], hasta llegar a un orden de magnitud de  $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ , el cual es aproximadamente la capacidad de transporte natural que existía hasta antes de la construcción Puerto de Salaverry.
- De la información obtenida del transporte de sedimentos para cada  $d_b$  y en función a sus % de ocurrencia se concluye que la máxima cota, en que se puede emplazar una obra de protección sin interrumpir considerablemente el transporte natural de sedimentos es  $-2.3 \text{ m}$ , además se concluye que la zona de rompiente se extiende hasta  $-5.00 \text{ m}$  y que la mayor capacidad del transporte se presenta en  $-2.9 \text{ m}$ , en donde se ubicara el punto de descarga de la tubería submarina del sistema de descarga.

- Si se desea que la recuperación del perfil costero se dé en plazos mucho menores, se concluye que se debe adoptar de medidas en paralelo, como por ejemplo la construcción de un espigón con el cabezo en la batimetría -2.3 m que esta a una distancia de 116.0 m de la costa, como medida inicial para luego en función de los resultados obtenidos poder seguir construyendo más espigones conformando una batería de espigones.
- El material dragado a depositar en la batimetría -2.90 metros tiene un valor promedio de 1037003.63 m<sup>3</sup>/año, esto se obtiene de los registros históricos de los volúmenes dragados con equipos de ENAPU desde 1990 hasta el 2007, del cual se estima que este material principalmente servirá para mitigar la erosión existente y en menor grado recuperar el perfil costero en la zona de estudio, el cual se constatará con los levantamientos batimétricos posteriores a la implementación del sistema de descarga.

## RECOMENDACIONES

- El modelo de predicción del transporte de sedimentos en que está basado el cálculo es de sedimentación/erosión el cual precisa del conocimiento de la interacción entre el oleaje y la batimetría la cual se asume constante, así como de los mecanismos que inducen el transporte de sedimentos dentro de la zona de rompientes, determinando la tasas de sedimentación y/o erosión, por lo que se recomienda realizar la implementación de un modelo morfodinámico en que en base a las nuevas batimetrías a realizar se vuelva a alimentar el modelo de propagación, iniciando de nuevo el ciclo.
- Se recomienda realizar levantamientos batimétricos en las estaciones de verano e invierno en dos años consecutivos posteriores a la implementación del sistema de descarga para hacer el seguimiento del sedimento depositado con el fin de constatar si este sedimento ha variado a favor de la recuperación de las playas o si este ha continuado transportándose a lo largo de la zona de rompiente para verificar si se están cumpliendo los objetivos planteados inicialmente.
- Se recomienda realizar el periodo de dragado en el puerto en la estación de verano que va desde mediados de diciembre hasta mediados de abril, ya que en estos meses es cuando el efecto del transporte de sedimentos producto del oleaje es menor y el material depositado en el puerto es susceptible a ser dragado mejor, para posteriormente depositarlo en la costa norte del molo N° 3, generándose barreras de sedimentos que contrarrestaran la incidencia del oleaje en la estación de invierno que va desde junio hasta mediados de setiembre.
- La metodología aplicada depende del origen de los datos y a cierta subjetividad en cuanto a la interpretación de datos y formulaciones. Los valores obtenidos pueden contener errores debido a que la formulación que estima el transporte es altamente sensible a la altura de la ola y al ángulo de ataque de la misma, por tal razón se recomienda que estas estimaciones deben ser corroboradas y sujetas a verificación en el campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Asociación Latinoamericana de Dragado – ALAD: **“II Congreso Latinoamericano de Dragado”**, organizado por la Empresa Nacional de Puertos del 24 al 29 de Abril 1977.
- [2] Centro de Información Metropolitana de Trujillo - SICONGIS: **“Plan de Desarrollo Territorial – Municipalidad Provincial de Trujillo”**, Trujillo - Perú, 2010. [En línea]  
<<http://www.plandet.gob.pe/flash/presentacion.swf>>  
[09 de Enero del 2011]
- [3] Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas: **“Manual de Diseño de Obras Civiles: Hidráulica Marítima”**, México, 1983.
- [4] Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria. [En línea]  
<<http://www.graduadosportuaria.com.ar/bibliografia.htm>>  
[05 de Diciembre del 2010]
- [5] Fuentes Ortiz, César Alfredo: **“Ingeniería Portuaria: Definiciones Portuarias y Ingeniería Costera”**, Editorial COPER, Lima – Perú, 2001.
- [6] Laboratorio Nacional de Hidráulica: **“Seminario de Ingeniería de Costas y Puertos del 31 de octubre al 11 de noviembre”**, Lima – Perú, 1977.
- [7] Laboratorio Nacional de Hidráulica: **“Estudio en Modelo Hidráulico del arenamiento del puerto de Salaverry”**, Informe técnico, Lima- Perú 1981.
- [8] Maldonado Contreras, Hugo Rodolfo: **“Determinación del Impacto Erosivo en el litoral por la construcción del Puerto de Salaverry y el Molo Retenedor de Arena, desarrollando un estudio de erosión”**, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú, 2009.
- [9] Medina, Raúl; Losada, Miguel y Vidal, Cesar – Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria: **“Proyectos y Construcción de Playas Artificiales y Regeneración de Playas: Modelos Hidrodinámicos y de Transporte de Sedimentos”**, España, 1995. [En línea]  
<<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3726/1/article7.pdf>>  
[05 de Enero del 2011]

- [10] Mössö Aranda, Octavio César, **“Estudio numérico – experimental de la dinámica de la zona cercana a la costa”**, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2004. [En línea]  
<<http://www.tesisenred.net/TDX-1213104-134941>>  
[22 de Diciembre del 2010]
- [11] OZONO TV Canal 41 – Ozono Television’s Channel: **“La erosión costera y su repercusión en el equilibrio ambiental – 07 de Abril 2007”**. [En línea]  
<<http://www.youtube.com/user/OzonoTelevision#p/search/0/qlwrlqG05y0>>  
[15 de Enero del 2011]
- [12] Pluspetrol S.A., **“Evaluación de Alternativas para la ubicación de un Puerto en la Costa Sur del Perú – Proyecto del Gas de Camisea: Transporte de Sedimentos dentro de la Zona de Romplentes”**, Estudio de Pre- Factibilidad, Lima – Perú, 2001. [En línea]  
<[http://intranet2.minem.gob.pe/Web/archivos/camisea/estudios/proyectoplanta/Anexos%20Transporte\\_Sedimentos.PDF](http://intranet2.minem.gob.pe/Web/archivos/camisea/estudios/proyectoplanta/Anexos%20Transporte_Sedimentos.PDF)>  
[20 de Enero del 2011]
- [13] Serguei Lonin y C. A. Escobar – Red Iberoamericana en Teledetección aplicada a la Prevención de Riesgos Geológicos Litorales: **“Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral: Aspectos sobre Modelación Numérica de la Evolución Morfológica en el Mar Caribe”**, Colombia, 2009. [En línea]  
<[http://www.redriesgoslitorales.com/pdf/CAP11.%20Modelos\\_%20numerico.pdf](http://www.redriesgoslitorales.com/pdf/CAP11.%20Modelos_%20numerico.pdf)>  
[20 de Enero del 2011]

# ANEXO I

## FLUJOS DE CAJA DE LOS PROYECTOS ALTERNATIVOS A NIVEL DE PERFIL

EVALUACION ECONOMICA - ALTERNATIVA N°1

PARAMETROS	
Horizonte	18.00 años
COK	12.0%
Impuesto	19.0%
Depreciacion	5.000% de la Inv.
Valor Resid	10.000% de la Inv.
Año	360.00 días

Formula de Crecimiento de Carga:  $Y = Ax(B^X)$   
 A = 1,500,000.00  
 B = 1.0617

DATOS	
Inversion	998,200.00 Nuevos Soles
Capital Trab.	49,910.00 Nuevos Soles
Volumen Dragado / Pto. Salaverry	1,037,003.63 m3/año
Tarifa Dragado	14.00 Nuevos Soles/m3
Movilizacion de Carga	1,500,000.00 Ton al 2010
Sobrecosto Adicional	0.00 Nuevos Soles/Ton
Coficiente Crecimiento	6.17%
Costo Movilizacion del B/D	1,960,000.00 Nuevos Soles
Costo Operación de Boya	5.0000% de la Inv.
Costo Mantto de Boya	5.0000% de la Inv.

DATOS	
Tipo Cambio Euro	3.80
Tipo Cambio Dólar	2.80

\* Costo de Mantenimiento en los 5 primeros años 0.0%  
 \*\* Incremento del 1% al costo de Mantenimiento y Operación cada 3 años

AÑO	FLUJO DE CAJA ECONOMICO																		
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
1) INGRESOS		16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82	16,478,050.82
Movilizacion de Carga		1,597,550.00	1,690,810.34	1,795,133.33	1,905,893.06	2,023,486.66	2,148,335.79	2,280,888.11	2,421,618.90	2,571,032.79	2,729,665.51	2,898,085.87	3,076,897.77	3,266,742.36	3,468,300.37	3,682,294.50	3,909,492.07	4,150,707.73	4,406,806.40
Sobrecosto Total		10.35	9.75	9.18	8.65	8.14	7.67	7.22	6.80	6.41	6.04	5.69	5.36	5.04	4.75	4.47	4.21	3.97	3.74
2) EGRESOS		16,527,960.82	16,527,960.82	16,527,960.82	16,537,942.82	16,537,942.82	16,587,852.82	16,597,834.82	16,597,834.82	16,607,816.82	16,617,798.82	16,617,798.82	16,627,780.82	16,637,762.82	16,637,762.82	16,647,744.82	16,657,726.82	16,657,726.82	16,667,708.82
Volumen Dragado / Pto. Salaverry		1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63	1,037,003.63
Tarifa de Dragado		14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Costo de Movilizacion del B/D		1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00	1,960,000.00
Costos de Oper. Boya		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
Costos de Mantto Boya		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3) DEPRECIACION		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
Depreciacion		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
4) UTILIDAD ANTES DE IMP. (1-2-3)		-99,820.00	-99,820.00	-99,820.00	-109,802.00	-109,802.00	-159,712.00	-169,694.00	-169,694.00	-179,676.00	-189,658.00	-189,658.00	-199,640.00	-209,622.00	-209,622.00	-219,604.00	-229,586.00	-229,586.00	-239,568.00
5) IMPUESTOS		-18,965.80	-18,965.80	-18,965.80	-20,862.38	-20,862.38	-30,345.28	-32,241.86	-32,241.86	-34,138.44	-36,035.02	-36,035.02	-37,931.60	-39,828.18	-39,828.18	-41,724.76	-43,621.34	-43,621.34	-45,517.92
Impuestos		-18,965.80	-18,965.80	-18,965.80	-20,862.38	-20,862.38	-30,345.28	-32,241.86	-32,241.86	-34,138.44	-36,035.02	-36,035.02	-37,931.60	-39,828.18	-39,828.18	-41,724.76	-43,621.34	-43,621.34	-45,517.92
6) UTILIDAD DESPUES DE IMP. (4-5)		-80,854.20	-80,854.20	-80,854.20	-88,939.62	-88,939.62	-129,366.72	-137,452.14	-137,452.14	-145,537.56	-153,622.98	-153,622.98	-161,708.40	-169,793.82	-169,793.82	-177,879.24	-185,964.66	-185,964.66	-194,050.08
Depreciacion		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
7) DEPRECIACION		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
Depreciacion		49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00	49,910.00
8) INVERSION TOTAL	998,200.00																		
9) CAPITAL DE TRABAJO	-49,910.00																		
10) VALOR RESIDUAL																			49,910.00
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	-948,290.00	-30,944.20	-30,944.20	-30,944.20	-39,029.62	-39,029.62	-79,456.72	-87,542.14	-87,542.14	-95,627.56	-103,712.98	-103,712.98	-111,798.40	-119,883.82	-119,883.82	-127,969.24	-136,054.66	-136,054.66	-94,230.08

VAN (COK%)	-1,440,809.91 Nuevos Soles
TIR	0.00%

ANALISIS DE SENSIBILIDAD - VAN

CRECIMIENTO MOV. CARGA	SOBRECOSTO ADICIONAL (S/.)											
	-1,440,809.91	0.00	0.05	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.20	0.50	1.00	1.50
10.00%	-1,422,300.01	-515,314.96	39,982.01	410,179.99	595,278.98	780,377.97	1,335,674.94	2,261,169.88	7,814,139.57	17,069,089.04	26,324,038.52	
9.00%	-1,423,744.00	-587,514.44	-75,537.16	265,781.03	436,440.12	607,099.22	1,119,076.50	1,972,371.97	7,092,144.77	15,625,099.45	24,158,054.13	
8.00%	-1,425,051.72	-652,900.63	-180,155.06	135,008.65	292,590.51	450,172.37	922,917.93	1,710,827.21	6,438,282.89	14,317,375.69	22,196,468.49	
7.00%	-1,426,237.00	-712,164.39	-274,977.08	16,481.12	162,210.22	307,939.33	745,126.64	1,473,772.15	5,845,645.23	13,132,100.37	20,418,555.50	
6.17%	-1,427,136.70	-757,149.80	-346,953.74	-73,489.69	63,242.33	199,974.35	610,170.41	1,293,830.52	5,395,791.16	12,232,392.22	19,068,993.29	
5.00%	-1,428,288.52	-814,740.86	-439,099.43	-188,671.81	-63,458.00	61,755.81	437,397.23	1,063,466.28	4,819,880.56	11,080,571.03	17,341,261.49	
4.00%	-1,429,175.88	-859,108.76	-510,088.08	-277,407.62	-161,067.39	-44,727.16	304,293.52	885,994.67	4,376,201.53	10,193,212.96	16,010,224.39	
3.00%	-1,429,983.25	-899,476.92	-574,677.13	-358,143.94	-249,877.34	-141,610.74	183,189.05	724,522.03	3,972,519.94	9,385,849.78	14,799,179.62	
2.00%	-1,430,718.64	-936,246.61	-633,508.63	-431,683.31	-330,770.65	-229,857.99	72,879.99	577,443.29	3,604,823.09	8,650,456.09	13,696,089.09	
1.00%	-1,431,389.26	-969,777.60	-687,158.21	-498,745.29	-404,538.83	-310,332.36	-27,712.98	443,319.33	3,269,513.18	7,979,836.27	12,690,159.35	
0.00%	-1,432,001.56	-1,000,392.45	-736,141.97	-559,974.99	-471,891.50	-383,808.01	-119,557.53	320,859.92	2,963,364.67	7,367,539.24	11,771,713.82	

EVALUACION ECONOMICA - ALTERNATIVA N°2

PARAMETROS	
Horizonte	18.00 años
COK	12.0%
Impuesto	19.0%
Depreciacion	9.647% de la Inv.
Valor Resid.	10.000% de la Inv.
Año	360.00 días

Formula de Crecimiento de Carga:  $Y=Ax(B^X)$   
 A = 1,500,000.00  
 B = 1.0617

DATOS	
Inversion	92,958,200.00 Nuevos Soles
Capital Trab.	4,647,910.00 Nuevos Soles
Volumen Dragado / Pto. Salaverry	1,037,003.63 m3/año
Volumen Dragado / Otros Puertos	712,610.66 m3/año
Tarifa Dragado	14.00 Nuevos Soles/m3
Movilizacion de Carga	1,500,000.00 Ton al 2010
Sobrecosto Adicional	0.00 Nuevos Soles/Ton
Coefficiente Crecimiento	6.17%
Costo Movilizacion del B/D	98,000.00 Nuevos Soles
Costo Operacion	5.0000% de la Inv.
Costo Mantenimiento	5.8113% de la Inv.

DATOS	
Tipo Cambio Euro	3.80
Tipo Cambio Dólar	2.80

\* Costo de Mantenimiento en los 5 primeros años 0.0%  
 \*\* Incremento del 1% al costo de Mantenimiento y Operación cada 3 años

FLUJO DE CAJA ECONOMICO

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
(1) INGRESOS		24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	24,494,600.06	
Movilizacion de Carga		1,592,550.00	1,690,810.34	1,795,133.33	1,905,891.06	2,023,486.66	2,148,335.79	2,280,888.11	2,421,618.90	2,571,032.79	2,729,665.51	2,898,085.87	3,076,897.77	3,266,742.36	3,468,300.37	3,682,294.50	3,909,492.07	4,150,707.73	4,408,806.30	
Sobrecosto Total		9.12	8.59	8.09	7.62	7.17	6.76	6.37	6.00	5.65	5.32	5.01	4.72	4.44	4.19	3.94	3.71	3.50	3.29	
Volumen Dragado / Otros Puertos		712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	712,610.66	
Tarifa Dragado		14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	
(2) EGRESOS		4,745,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	
Costo de Movilizacion del B/D		98,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Costos de Oper.		4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	4,647,910.00	
Costos de Mantto		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5,402,079.88	5,402,079.88	5,402,079.88	6,331,661.88	6,331,661.88	6,331,661.88	7,261,243.88	7,261,243.88	8,190,825.88	8,190,825.88	9,120,407.88	9,120,407.88	9,120,407.88	
(3) DEPRECIACION		8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	
Depreciacion		8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	
(4) UTILIDAD ANTES DE IMP. (1-2-3)		10,781,012.51	10,879,012.51	10,879,012.51	10,879,012.51	9,949,430.51	9,949,430.51	4,547,350.63	3,617,768.63	3,617,768.63	2,688,186.63	1,758,604.63	1,758,604.63	829,022.63	-100,559.37	-100,559.37	-1,030,141.37	-1,959,723.37	-1,959,723.37	-2,889,305.37
(5) IMPUESTOS		2,048,392.38	2,067,012.38	2,067,012.38	2,067,012.38	1,890,391.80	1,890,391.80	863,996.62	687,376.04	687,376.04	510,755.46	334,134.88	334,134.88	157,514.30	-19,106.28	-19,106.28	-195,726.86	-372,347.44	-372,347.44	-548,968.02
Impuestos		2,048,392.38	2,067,012.38	2,067,012.38	2,067,012.38	1,890,391.80	1,890,391.80	863,996.62	687,376.04	687,376.04	510,755.46	334,134.88	334,134.88	157,514.30	-19,106.28	-19,106.28	-195,726.86	-372,347.44	-372,347.44	-548,968.02
(6) UTILIDAD DESPUES DE IMP. (4-5)		8,732,620.13	8,812,000.13	8,812,000.13	8,812,000.13	8,059,038.71	8,059,038.71	3,683,354.01	2,930,392.59	2,930,392.59	2,177,431.17	1,424,469.75	1,424,469.75	671,508.33	-81,451.09	-81,451.09	-834,414.51	-1,587,375.93	-1,587,375.93	-2,340,337.35
(7) DEPRECIACION		8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	
Depreciacion		8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	8,967,677.55	
(8) INVERSION TOTAL		92,958,200.00																		
(9) CAPITAL DE TRABAJO		-4,647,910.00																		
(10) VALOR RESIDUAL																			9,295,820.00	
FLUJO DE CAJA ECONOMICO		-88,310,290.00	17,700,297.68	17,779,677.68	17,779,677.68	17,026,716.26	17,026,716.26	12,651,031.56	11,898,070.14	11,898,070.14	11,145,108.72	10,392,147.30	10,392,147.30	9,639,185.88	8,886,224.46	8,886,224.46	8,133,263.04	7,380,301.62	7,380,301.62	11,275,250.20

VAN (CPCC%)	13,314,129.82 Nuevos Soles
TIR	15.03%

ANALISIS DE SENSIBILIDAD - VAN

TARIFA DRAGADO (S/.)

	13,314,129.82	10.00	11.00	12.00	12.50	12.71	13.00	13.50	14.00	15.00	17.50	20.00
VOL. DRAGADO OTROS PUERTOS	1,000,000.00	-10,906,268.64	1,055,490.82	13,017,250.28	18,998,130.01	21,510,099.50	24,979,009.74	30,959,889.47	36,940,769.20	48,902,528.67	78,806,927.32	108,711,325.98
	900,000.00	-16,778,501.41	-5,403,965.22	5,970,570.96	11,657,839.05	14,046,491.65	17,345,107.15	23,032,375.24	28,719,643.33	40,094,179.52	68,530,519.98	96,966,860.44
	800,000.00	-22,650,734.18	-11,863,421.27	-1,076,108.36	4,317,548.09	6,582,883.81	9,711,204.55	15,104,861.00	20,498,517.46	31,285,830.37	58,254,112.64	85,222,394.91
	750,000.00	-25,586,850.56	-15,093,149.29	-4,599,448.02	647,402.62	2,851,079.88	5,894,253.25	11,141,103.89	16,387,954.52	26,881,655.79	53,115,908.97	79,350,162.14
	712,610.66	-27,782,439.64	-17,508,297.27	-7,234,154.91	-2,097,083.73	60,486.17	3,039,987.45	8,177,058.63	13,314,129.82	23,588,272.18	49,273,628.09	74,958,983.99
	600,000.00	-34,395,199.71	-24,782,333.36	-15,169,467.00	-10,363,033.82	-8,344,331.89	-5,556,600.64	-750,167.47	4,056,265.71	13,669,132.07	37,701,297.95	61,733,463.84
	500,000.00	-40,267,432.48	-31,241,789.40	-22,216,146.32	-17,703,324.78	-15,807,939.73	-13,190,503.24	-8,677,681.70	-4,164,860.16	4,860,782.92	27,424,890.61	49,988,998.31
	400,000.00	-46,139,665.24	-37,701,245.44	-29,262,825.64	-25,043,615.74	-23,271,547.58	-20,824,405.84	-16,605,195.94	-12,385,986.04	-3,947,566.23	17,148,483.27	38,244,532.78
	300,000.00	-52,011,898.01	-44,160,701.49	-36,309,504.96	-32,383,906.70	-30,735,155.43	-28,458,308.43	-24,532,710.17	-20,607,111.91	-12,755,915.38	6,872,075.93	26,500,067.24
	200,000.00	-57,884,130.78	-50,620,157.53	-43,356,184.28	-39,724,197.66	-38,198,763.27	-36,092,211.03	-32,460,224.41	-28,828,237.78	-21,564,264.53	-3,404,331.41	14,755,601.71
	100,000.00	-63,756,363.54	-57,079,613.57	-50,402,863.60	-47,064,488.61	-45,662,371.12	-43,726,113.63	-40,387,738.64	-37,049,363.66	-30,372,613.68	-13,680,738.75	3,011,136.18

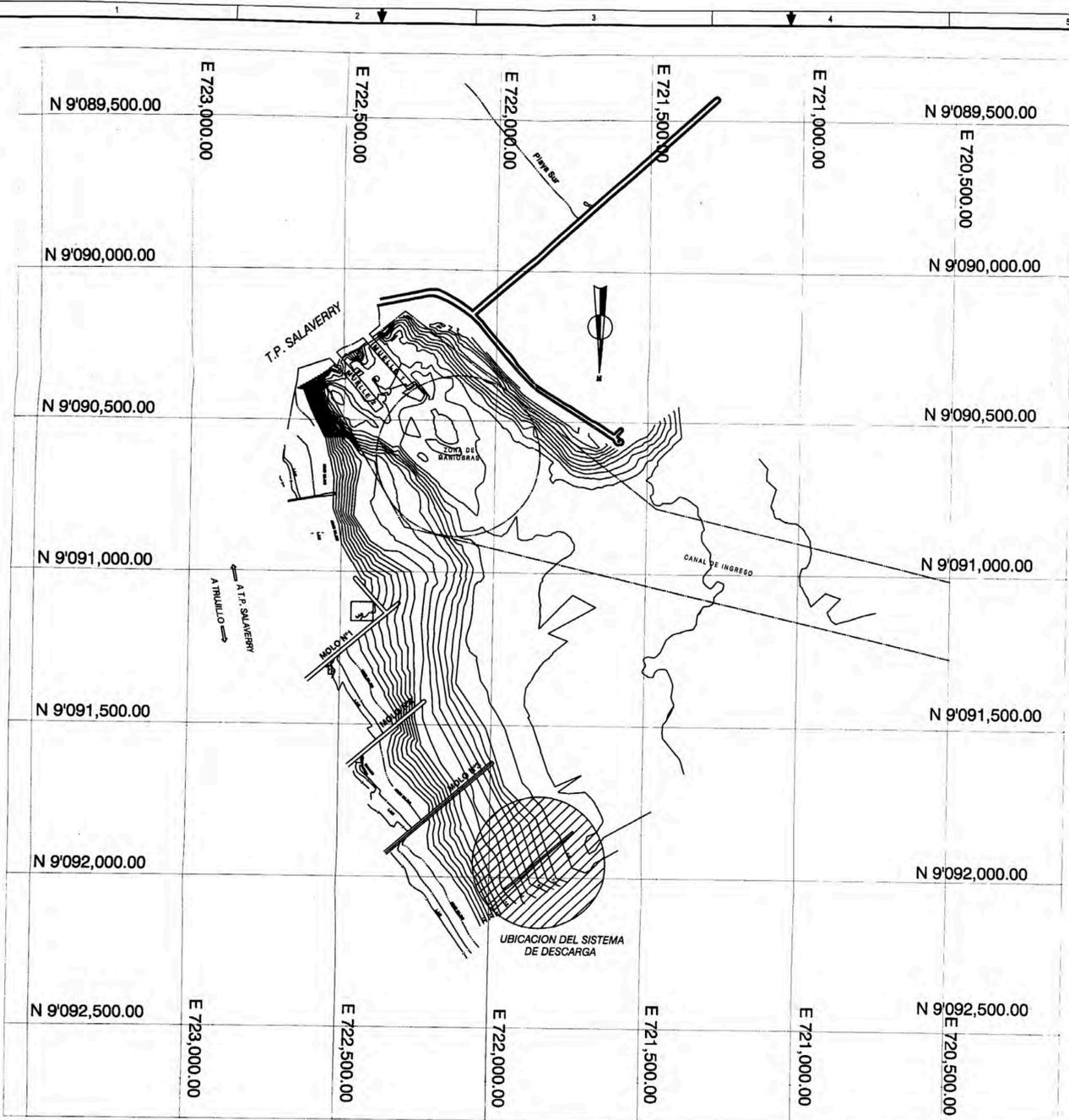
ANALISIS DE SENSIBILIDAD - VAN

SOBRECOSTO ADICIONAL (S/.)

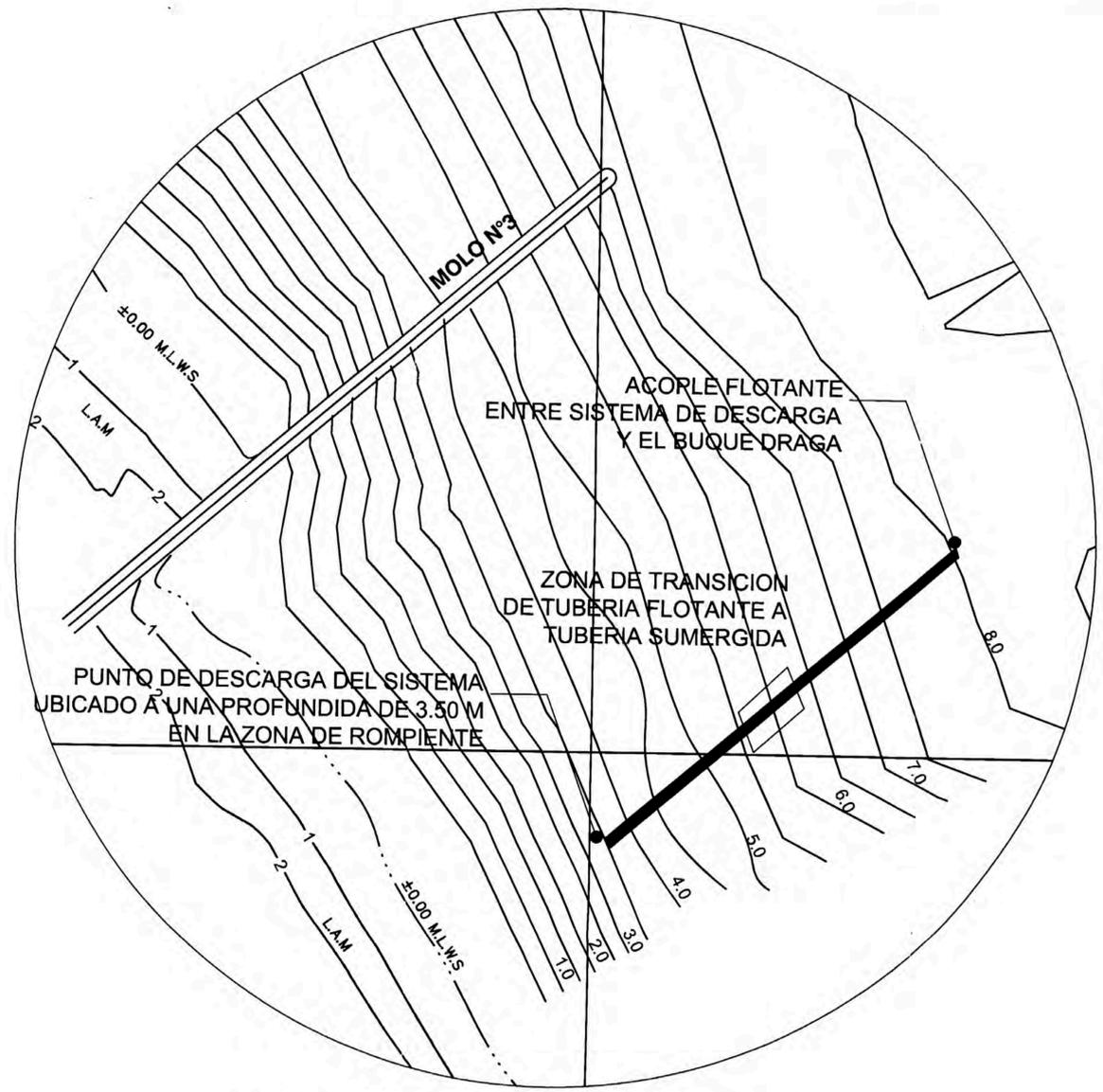
	13,314,129.82	0.00	0.10	0.20	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	5.00
CRECIMIENTO MOV. CARGA	10.00%	13,314,129.82	15,165,119.71	17,016,109.61	22,569,079.29	27,196,554.03	31,824,028.76	36,451,503.50	41,078,978.24	45,706,452.97	50,333,927.71	105,863,624.56
	9.00%	13,314,129.82	15,020,720.75	16,727,311.69	21,847,084.49	26,113,561.83	30,380,039.17	34,646,516.51	38,912,993.85	43,179,471.19	47,445,948.53	98,643,676.59
	8.00%	13,314,129.82	14,889,948.38	16,465,766.94	21,193,222.61	25,132,769.01	29,072,315.41	33,011,861.81	36,951,408.21	40,890,954.61	44,830,501.01	92,105,057.80
	7.00%	13,314,129.82	14,771,420.84	16,228,711.87	20,600,584.95	24,243,812.52	27,887,040.09	31,530,267.66	35,173,495.23	38,816,722.79	42,459,950.36	86,178,681.18
	6.17%	13,314,129.82	14,681,450.03	16,048,770.24	20,150,730.88	23,569,031.41	26,987,331.94	30,405,632.48	33,823,933.01	37,242,233.54	40,660,534.07	81,680,140.46
	5.00%	13,314,129.82	14,566,267.91	15,818,406.00	19,574,820.28	22,705,165.52	25,835,510.75	28,965,855.98	32,096,201.22			

# **ANEXO II**

# **PLANOS**



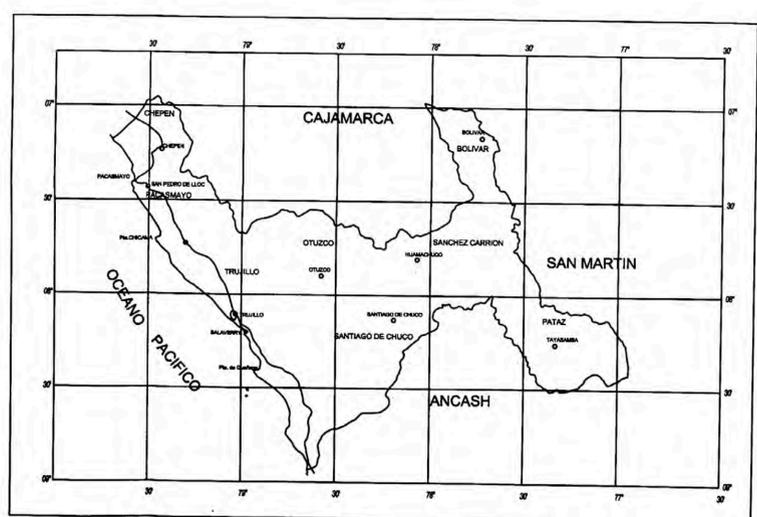
**PLANO GENERAL**  
Escala: 1 : 10,000



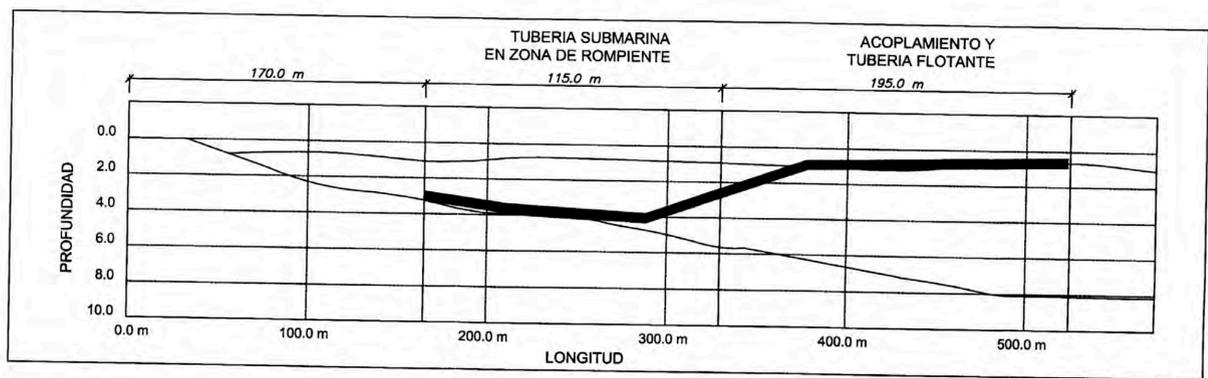
**SISTEMA DE DESCARGA DE MATERIAL DRAGADO**  
Escala: 1 : 2,000



**REPUBLICA DEL PERU**



**LA LIBERTAD**



**PERFIL LONGITUDINAL DEL SISTEMA DE DESCARGA**  
Escala H : 1 : 2,000  
Escala V : 1 : 200

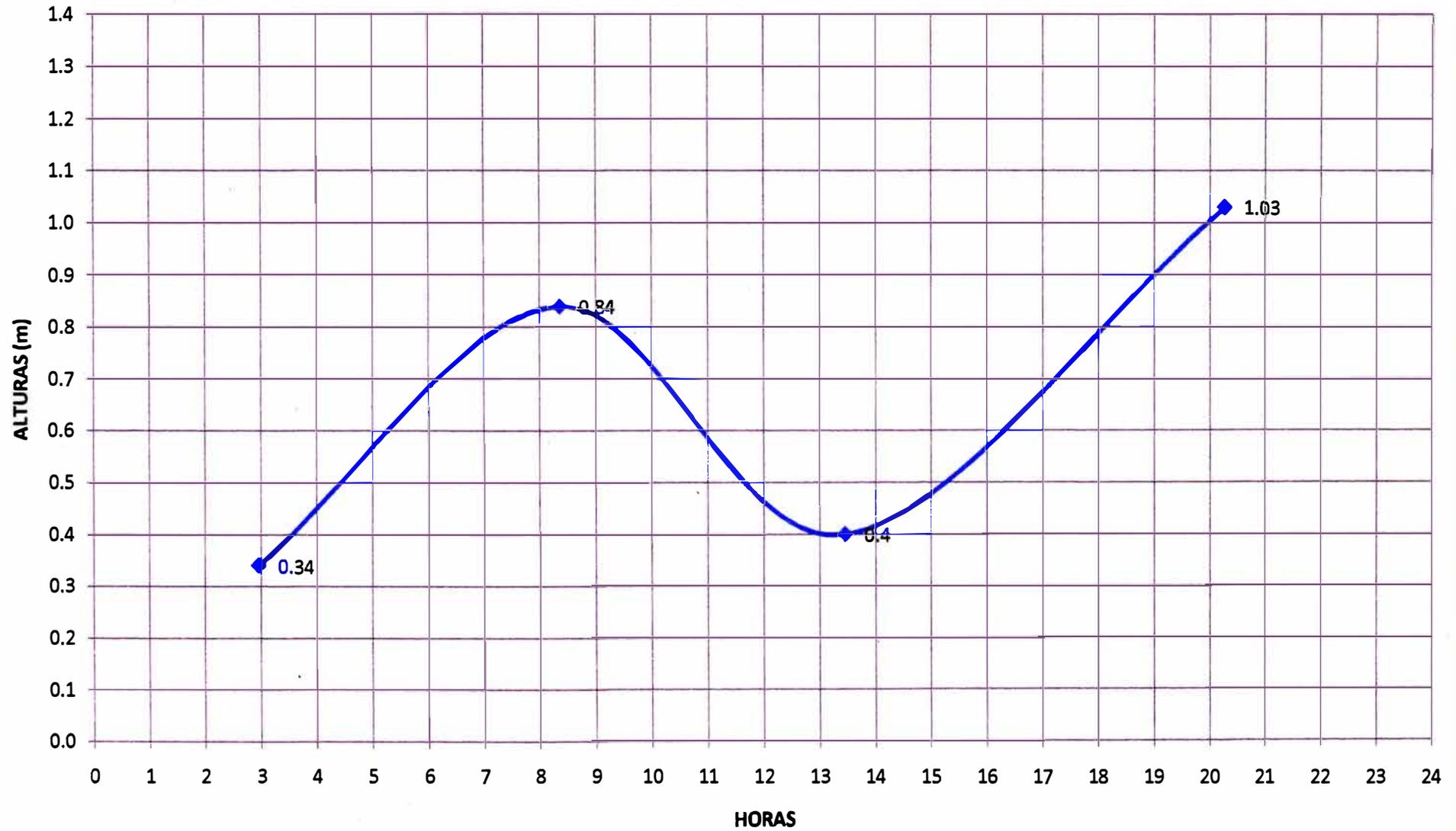
Revisiones:	
No.	Asunto:
Proyecto: <b>EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DESDE LA DESCARGA DEL SISTEMA DE DRAGADO AL NORTE DEL MOLO N°3 DE SALAVERRY</b>	
Ubicación: <b>TRUJILLO - LA LIBERTAD</b>	
Propietario: <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
Diseñado: <b>WALDO MARTÍN SALCEDO ALMERCO</b>	
Dibujado: <b>WALDO MARTÍN SALCEDO ALMERCO</b>	
Revisado: <b>ING. HUGO RODOLFO MALDONADO CONTRERAS</b>	
Escala:	Fecha: INDICADA FEBRERO 2011
Plano: <b>PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE DESCARGA DE MATERIAL DRAGADO</b>	
Número de Plano: <b>A-1</b>	



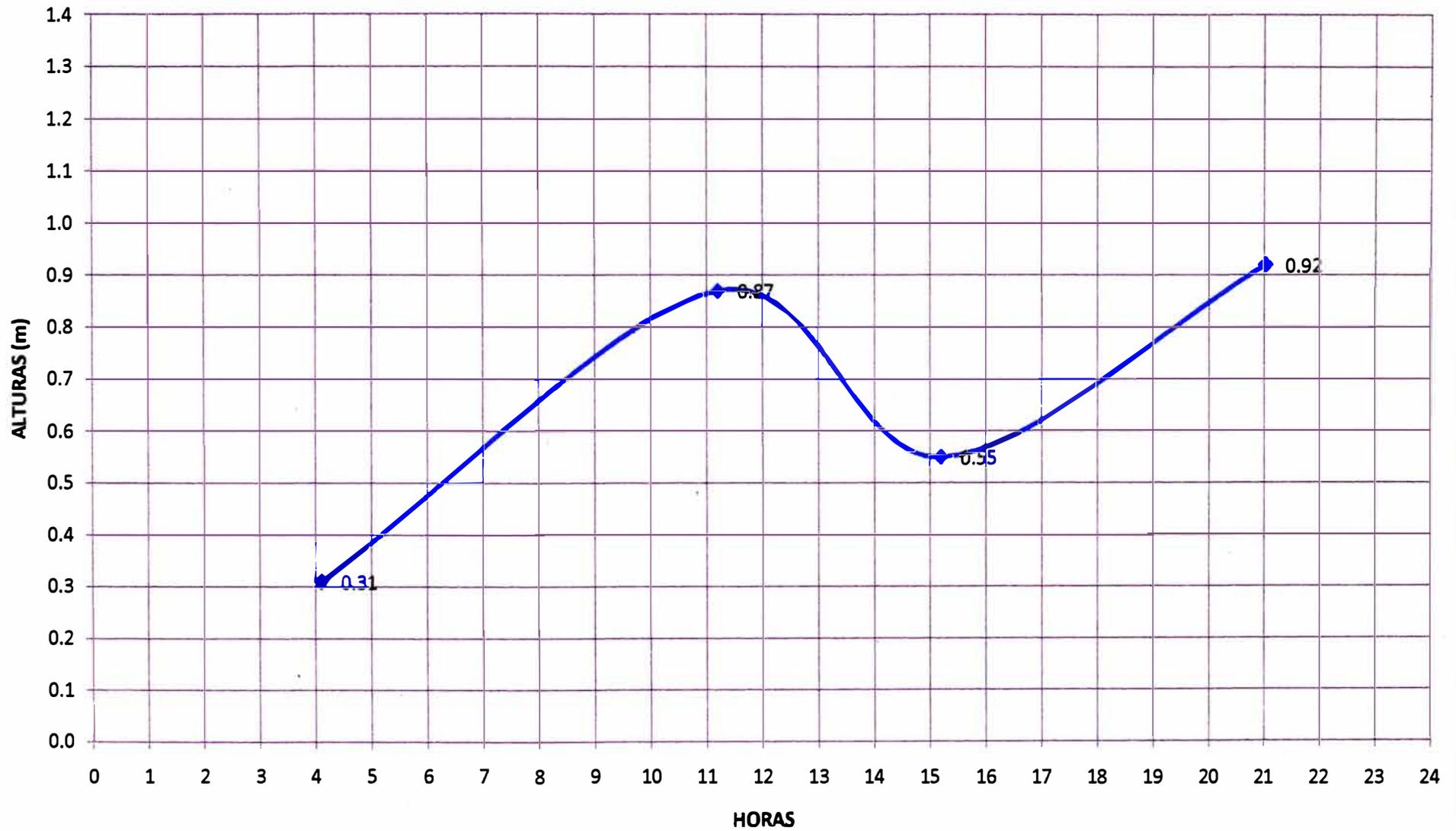
# **ANEXO III**

## **GRÁFICOS DE MAREAS DEL TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY**

## GRÁFICO DE LA TABLA DE MAREAS DEL 10 DE ENERO DE 2011, PARA EL TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY



## GRÁFICO DE LA TABLA DE MAREAS DEL 12 DE ENERO DE 2011, PARA EL TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY



## GRÁFICO DE LA TABLA DE MAREAS DEL 14 DE ENERO DE 2011, PARA EL TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY

