

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EROSIONES DEL LITORAL COSTERO DE TRUJILLO
ORIGINADO POR LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLÓN
RETENEDOR DE ARENA DEL TERMINAL PORTUARIO DE
SALAVERRY**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ANYELO CASTRO CHÁVEZ

Lima- Perú

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Dedicado a mis padres, esposa
Elizabeth y a mi pequeño Jesusito,
ya que ellos son mi motivación.

	Pág.
RESÚMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	9
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.1.1. Medidas adoptadas anteriormente	13
1.1.2. Características e infraestructura	15
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. Objetivo Principal	19
1.2.2. Objetivos Específicos	19
1.3. UBICACIÓN	20
1.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS	22
1.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	25
1.6. JUSTIFICACIÓN	26
1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
CAPÍTULO II: GENERALIDADES	31
2.1. MARCO LEGAL.	31
2.2. CRITERIOS DE ESTUDIO.	32
2.2.1. Levantamientos Batimétricos.	32
2.2.2. Datos Hidrodinámicos.	34
2.2.3. Investigaciones geológicas y geotécnicas.	36
2.2.4. Transporte de sedimentos	49
2.2.5. Datos meteorológicos.	50
2.3. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.	51
2.3.1. Definición del área de influencia directa.	51
2.3.2. Definición del área de influencia indirecta.	51

2.4.	VARIABLES DE INVESTIGACION	53
2.4.1.	Oleaje	54
2.4.2.	Mareas	66
2.4.3.	Vientos	67
2.4.4.	Corrientes Marinas	68
2.4.5.	Corriente Inducida por el Oleaje	69
2.4.6.	Configuración del Fondo Marino	71
2.4.7.	Sedimentos del Fondo Marino	71
CAPÍTULO III: ESTUDIO DE EROSIÓN		74
3.1.	LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO-TOPOGRÁFICO	74
3.1.1.	Medición de lados	74
3.1.2.	Medición de ángulos	75
3.1.3.	Taquimetría	77
3.2.	CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	78
3.2.1.	Fórmulas de Bijker	78
3.2.2.	Cálculo de la Altura y Profundidad de la Rompiente	79
3.2.3.	Cálculo de la Longitud de Ola y Coeficiente de Shoaling	81
3.2.4.	Cálculo de la Velocidad Inducida por el Oleaje	82
3.2.5.	Cálculo del Transporte de Sedimentos de Fondo	83
3.2.6.	Cálculo del Transporte de Sedimentos en Suspensión	84
3.2.7.	Cálculo del Transporte de Sedimentos Total	85
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS MORFOLÓGICO Y DISEÑO DE PROTECCIÓN COSTERA		89
4.1.	ESTUDIO DE REFRACCIÓN DE OLEAJE.	89
4.2.	ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES	91
4.2.1.	Procedimiento de las Imágenes	92
4.2.2.	Resultado de las Imágenes	98
4.3.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN COSTERO PARA MITIGAR EL PROCESO EROSIVO	100

4.3.1. Establecimiento de la ola de diseño	101
4.3.2. Diseño del Espigón	103
4.3.3. Nivel de trabajo, Taludes	105
4.3.4. Sección Típica del Espigón	105
CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1. CONCLUSIONES	108
5.2. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	113
Tabla de Mareas y Tablas Solunares para Pescadores de Salaverry	113
Modelo Hidráulico de Salaverry – Laboratorio Nacional de Hidráulica	116
P-1 Plano de Ubicación y Poligonal Playa Buenos Aires	125
B-1 Plano Batimétrico Variación de la Línea de la Playa	126
R-1 Plano Refracción de Olas Poco Profundas T=14"	127
R-2 Plano Refracción de Olas Poco Profundas T=14"	128
R-3 Plano Refracción de Olas Poco Profundas T=14"	129
A-1 Imagen satelital IKONOS 2014 Buenos Aires – Trujillo	130
P-01 Imagen Satelital Buenos Aires, Leyenda y Línea de Playa.	131
P-02 Imagen Satelital IKONOS 2000, 1992, 1981.	132
P-03 Imagen Satelital IKONOS 2003, BOS 2006, PROBA 2008	133

RESÚMEN

Luego de la construcción del Puerto de Salaverry se dio inicio al desequilibrio dinámico de la costa produciendo un arenamiento en la zona sur del puerto y erosión de la zona norte.

En la costa norte del país no existen zonas con abrigo natural para el emplazamiento de determinadas obras como puertos. Por el contrario la costa es abierta, lo que hace que el fenómeno de transporte de sedimentos sea un punto importante cuando se trate de construir estructuras sobre el litoral.

Las obras de abrigo construidas para facilitar las operaciones portuarias del Puerto de Salaverry originaron erosión de las playas al norte del puerto, pues los sedimentos eran retenidos por el rompeolas y el espigón retenedor de arena, alterando así las condiciones de disponibilidad de sedimentos y produciendo la erosión de playa más grande conocida en el litoral peruano.

Según los registros históricos de ENAPU el dragado del Puerto de Salaverry para los periodos (1991, 1993-2007) es de aproximadamente 1'037.003.63 m³/año, y la capacidad de transporte de sedimentos en la zona de estudio es de 757,167.63 m³/año, por tanto se dispone de material suficiente para mitigar la erosión de la costa norte producida por la acumulación de sedimentos retenidos por el rompeolas y el espigón retenedor de arena del Puerto de Salaverry.

El puerto de Salaverry, beneficia a todos dentro de su área de influencia, por ello el dragado del puerto Salaverry tiene como principal objetivo mantener operativo al puerto. El bombeo del material dragado a la zona de erosión es una alternativa para mitigar el problema que se presenta en la costa norte.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
1.1 Características del Puerto de Salaverry.	15
1.2 Condiciones naturales del Puerto de Salaverry.	16
1.3 Instalaciones Marítimas del Puerto de Salaverry.	16
1.4 Instalaciones Terrestres del Puerto de Salaverry.	17
1.5 Equipamiento del Puerto de Salaverry.	17
1.6 Volúmenes dragados con equipo de ENAPU (m3).	23
1.7 Condiciones naturales del Puerto Salaverry.	24
2.1 Máxima altura de olas para dragados.	36
2.2 Pruebas in situ y en el Laboratorio con aplicación de dragado.	42
2.3 Pruebas in situ y en el Laboratorio con aplicación de dragado.	43
2.4 Exploración y muestreo.	44
2.5 Propiedades determinadas en Laboratorio con fines de dragado.	45
2.6 Distribución de frecuencias y frecuencias acumuladas de ocurrencia de Olas "SWELL" en aguas profundas para Salaverry según Sailing Directions.	58
2.7 Promedio Mensual Multianual de Viento Prevaliente de la estación Salaverry 1978 – 2005.	68
2.8 Viento Máximo Absoluto de la estación Salaverry 1978 – 2005.	68
3.1 Coordenadas de la Poligonal de apoyo, UTM 17S; Datum WGS 84.	76
3.2 Alturas aguas profundas.	79
3.3 Coeficientes de refracción.	79
3.4 Cálculo de la altura en la rompiente.	80
3.5 Cálculo de la profundidad de rompiente.	80
3.6 Cálculo de la longitud de la ola.	81

3.7	Cálculo del coeficiente de Shoaling.	82
3.8	Cálculo de la velocidad inducida por el Oleaje.	83
3.9	Cálculo del transporte de sedimentos de fondo.	84
3.10	Cálculo del transporte de sedimentos en suspensión.	85
3.11	Cálculo del transporte de sedimentos totales.	86
3.12	Transporte de sedimentos en (m ³ /año).	86
4.1	Cuadro de la Orden de Pedido TELEMATICA SA.	94
4.2	Perdida del Perfil Costero en m ² (2009-2014).	99
4.3	Coefficiente de refracción acumulada.	100
4.4	Altura de ola rompiente y profundidad de rompiente.	102
4.5	Peso de las rocas del cabezo y cuerpo.	104
4.6	Peso y volumen de roca a ser empleado en la construcción del espigón.	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
1.1	Draga Marinero Rivas.	14
1.2	Draga Grumete Arciniega	15
1.3	Ubicación del Terminal Portuario de Salaverry.	20
1.4	Terminal Portuario de Salaverry.	20
1.5	Vista de los 3 espigones del TP Salaverry.	21
1.6	Buenos Aires a 12.08km del TP Salaverry.	21
1.7	Sedimentación al Sur del TP Salaverry.	21
1.8	Vista de los tres molos importantes de Salaverry	25
1.9	Avance de la erosión costera en Buenos Aires.	26
1.10	Destrucción de las defensas en la costa de Trujillo.	27
1.11	Imagen de Buenos Aires en la estación de invierno.	29
2.1	Área de Influencia Directa.	52
2.2	Área de Influencia Indirecta (Sur del T.P. Salaverry).	52
2.3	Área de Influencia Indirecta (Norte del T.P. Salaverry).	52
2.4	Las variables de la Investigación.	53
2.5	El perfil de una ola regular.	54
2.6	Desplazamientos orbitales de las partículas.	54
2.7	Clasificación del oleaje según el periodo T.	55
2.8	Patrón de Refracción.	57
2.9	Macro distribución de oleaje para Salaverry.	60
2.10	Esquema de un perfil de playa verano – invierno.	62
2.11	Esquema de un perfil de playa.	63
2.12	Altura de la rompiente y su clasificación, según CERC.	64
2.13	Profundidad en la rompiente, según CERC.	66
2.14	Grafico de mareas en Salaverry, de la Tabla de Mareas, DHN.	66

2.15	Modelo de Rosa de Viento.	67
2.16	Corriente de Humboldt.	69
2.17	Marea Llenante y Vaciante.	69
3.1	Ubicación de las coordenadas de la poligonal de apoyo.	77
3.2	Plano P-.1 Poligonal de Buenos Aires, escala 1/5000.	78
3.3	Variación de la Velocidad vs. Altura de Rompiente	87
3.4	Transporte del sedimento en la Rompiente	87
4.1	Refracción de las olas en aguas profundas, T=14".	89
4.2	Refracción de las olas en aguas intermedias, T=14".	90
4.3	Refracción de las olas en aguas poco profundas, T=14".	90
4.4	Cálculo de los coeficientes de refracción.	91
4.5	Imagen Satelital de alta resolución Ikonos, Nivel Geo, 1MT.	93
4.6	Imagen de Bandas, Coordenadas y Localización.	95
4.7	Imagen Satelital Buenos Aires-Trujillo-2014	97
4.8	Erosión en la zona costera de Buenos Aires – Trujillo.	98
4.9	Erosión costera de la playa Buenos Aires, Trujillo.	99
4.10	Gráfico para determinar el peso de roca en la coraza del cabezo.	103
4.11	Gráfico para determinar el peso de roca en la coraza del cuerpo.	103
4.12	Sección Longitudinal.	106
4.13	Sección Transversal del espigón.	106
4.14	Ubicación del espigón propuesto Buenos Aires – Trujillo.	107

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

AIPCN	: Asociación Mundial de Infraestructuras del Transporte Acuático.
APN	: Autoridad Portuaria Nacional.
DGPS	: Sistema de Posicionamiento Global Diferencial.
ENAPU S.A.	: Empresa Nacional de Puertos del Perú S.A.
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil.
T.M.	: Terminal marítimo.
HIDRONAV	: Dirección de Hidrografía y Navegación-Marina de Guerra del Perú.
DICAPI	: Dirección General de Capitanías y Guardacostas del Perú.
MLWS	: Nivel medio de bajamares de sicigias.
AID	: Área de Influencia Directa.
All	: Área de Influencia Indirecta.
A	: Parámetro del transporte de sedimentos en suspensión.
a_b	: Máxima amplitud orbital en el fondo.
B	: Parámetro adimensional determinado en 1977, con un valor de 5.
C	: Coeficiente de Chezy.
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	: Profundidad de ola en la zona de rompiente.
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	:	Altura de la ola en la zona de rompiente, en m.
H_s	:	Altura significativa de ola, en m.
K_r	:	Coefficiente de refracción.
K_{r1}	:	Coefficiente de refracción en aguas profundas.
K_{r2}	:	Coefficiente de refracción en aguas intermedias.
K_{r3}	:	Coefficiente de refracción en aguas poco profundas.
K_s	:	Coefficiente de bajos (shoaling).
k'	:	Constante adimensional de Von Karman ≈ 0.40 .
K	:	Número de ola.
m	:	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 $m^3/año/m$.
S_s	:	Transporte de sedimentos en suspensión, en $m^3/año/m$.
S'	:	Transporte de sedimentos total, en $m^3/año/m$.
S_{Total}	:	Transporte de sedimentos total, en $m^3/año$.
T	:	Periodo de las olas, en seg.
TSHD	:	Trailing Suction Hopper Dredgers.
HDPE	:	High Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad)
U_b	:	Máxima velocidad orbital en el fondo, en m/seg .

μ	:	Factor de rizos.
μ'	:	Viscosidad dinámica del agua.
V	:	Velocidad de la corriente inducida por el oleaje, en m/seg.
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.
ψ	:	Índice de rompiente.
Δ	:	Densidad relativa.
ρ_s	:	Densidad del sedimento.
ρ	:	Densidad del agua.
t_c	:	Cortante de fondo.

INTRODUCCIÓN

Las playas de los balnearios, localizadas en la ciudad de Trujillo, han sufrido la erosión de playa más grande conocida en el litoral peruano. Este impacto se debió a la construcción de una serie de espigones, rompeolas y principalmente a la construcción del Puerto de Salaverry.

La construcción del rompeolas principal del puerto de Salaverry fue iniciada en 1956, en el año 1973 se construyó un espigón de 130 m de longitud en el cabezo del rompeolas principal, para retener el transporte de arena que ya causaba problemas de sedimentación en el interior del puerto.

En el año 1982 se construyó el Molón Retenedor de Arena con los primeros 535 metros de longitud inicialmente. En 1987 se construyó la primera prolongación de dicho molo con 300 m de longitud. Con la primera prolongación del molón retenedor, el arenamiento de la playa Sur llegó aproximadamente hasta la progresiva 0+400 del molo, la segunda prolongación del molón retenedor de arena se ejecutó en el año 2004, con una longitud de 200 m, siendo su longitud actual de 1,035.00 m. Estas estructuras bloquearon los sedimentos que alimentaban las playas hacia el norte, y sin estos aportes, estas han sufrido un retroceso del perfil costero. Como resultado se tiene que al sur del rompeolas se ha producido sedimentación lo que ha permitido un crecimiento de playa.

La construcción del Terminal Portuario de Salaverry que tuvo como finalidad principalmente el comercio de azúcar, fertilizantes, concentrado de minerales y arroz. Su construcción generó grandes beneficios de interés económico; más con el paso del tiempo podemos ver las consecuencias naturales, sociales y de impacto ambiental negativo que ocasionó, ya que la costa al norte del T.P. Salaverry es una zona abierta y no existen zonas de abrigo natural para el emplazamiento de obras portuarias, por consiguiente el transporte de sedimentos es un punto importante a considerar cuando se trata de construir estructuras sobre el litoral, como la construcción del Molón Retenedor de Arena y que presenta dos problemas actuales: cambio morfológico al norte y al sur del Molón.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Medidas adoptadas anteriormente

Según datos de ENAPU, ya en el año 1970 mediante un control batimétrico mensual se estableció que ingresaban 1,000 a 1,500m³ sedimentos diarios, se efectuó por entonces un dragado de emergencia con la draga "Oficial de Mar Landa", lo que permitió que el puerto continuara funcionando pero no se restableció sus condiciones óptimas. Para ello se dragaron 69,000 m³ de un pequeño canal de emergencia que se habilitó a 28 pies de profundidad.

Un segundo dragado de emergencia se efectuó en 1971 un dragado de 100,000 m³ para así mantener limpio el canal de emergencia abierto en la primera oportunidad.

El equipo de propiedad de ENAPU no era capaz de habilitar totalmente el canal de ingreso, la zona de maniobras y amarraderos, por ello en 1972 se efectuó un dragado integral de 2'500,000 m³ con el concurso de la draga Volvox-Holandia de 6,000m³ de capacidad de cantara, alquilada a la empresa Dradging VO2, la cual estableció una profundidad de 36 pies en el canal de ingreso y 33 pies en el resto del área.

En los dragados de emergencia y el dragado integral, la zona de descarga del material estaba siempre ubicada a más de dos millas al norte del cabezo del rompeolas.

De las experiencias anteriores se tomó la decisión de adquirir una draga de succión y arrastre con tolva de 1,600 m³ de capacidad denominada Marinero Rivas, que llegó dos años más tarde en 1975, lo cual impidió que se realizaran los dragados de mantenimiento posterior al dragado integral por falta de equipo apropiado, por lo que se procedió a la construcción de un espigón de 130 m de largo, perpendicular al rompeolas en la zona del cabezo. La draga Marinero Rivas podría haber resuelto el problema del dragado de mantenimiento del puerto, pero debido a las complicaciones en sus sistemas de compuertas de

fondo y demoras en sus servicios de mantenimiento anual así como problemas laborales relacionados con los turnos de trabajo, trabajando solo 16 horas de las 24 la cual estaba capacitado. A todas estas complicaciones se suma que solo se logra extraer el 15% de material en la mezcla de agua debido a la fineza de la arena que tiene un diámetro promedio de 120 micras, lo que origina que sea casi imposible su decantación en las cantaras

Actualmente el dragado en la costa peruana se realiza principalmente con las dragas "MARINERO RIVAS" (Figura 1.1), "GRUMETE ARCINIEGA" (Figura 1.2) a partir de 1998, con y solo en el año 1993 y 1994 "MAR LANDA".

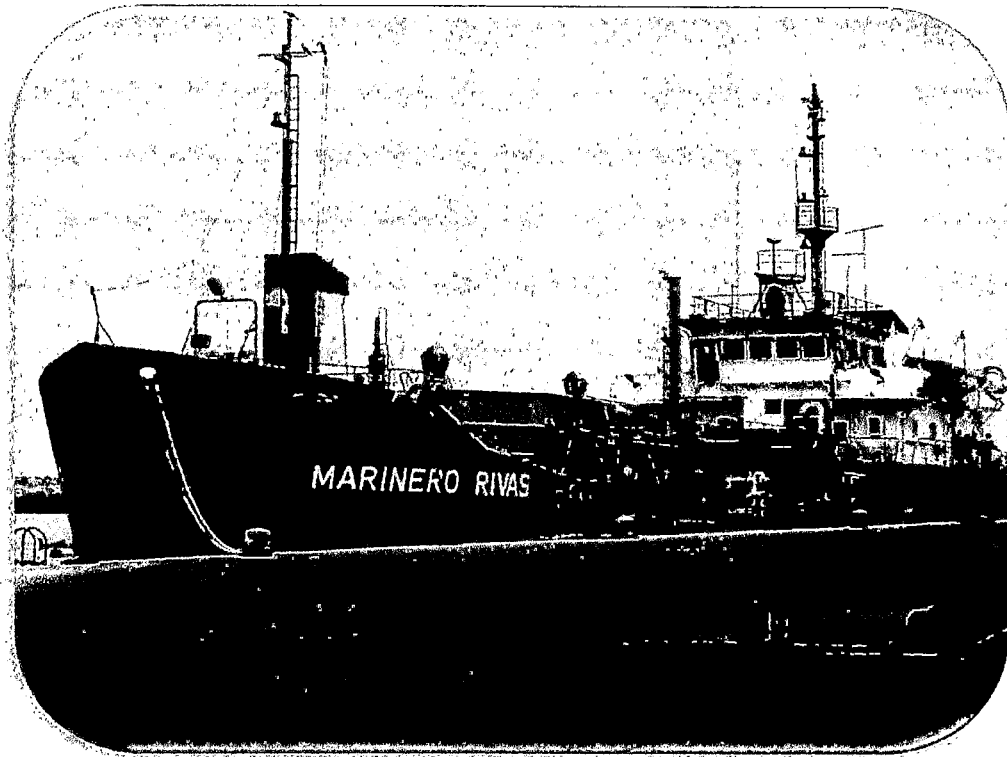


Figura Nº 1.1 Draga Marinero Rivas.

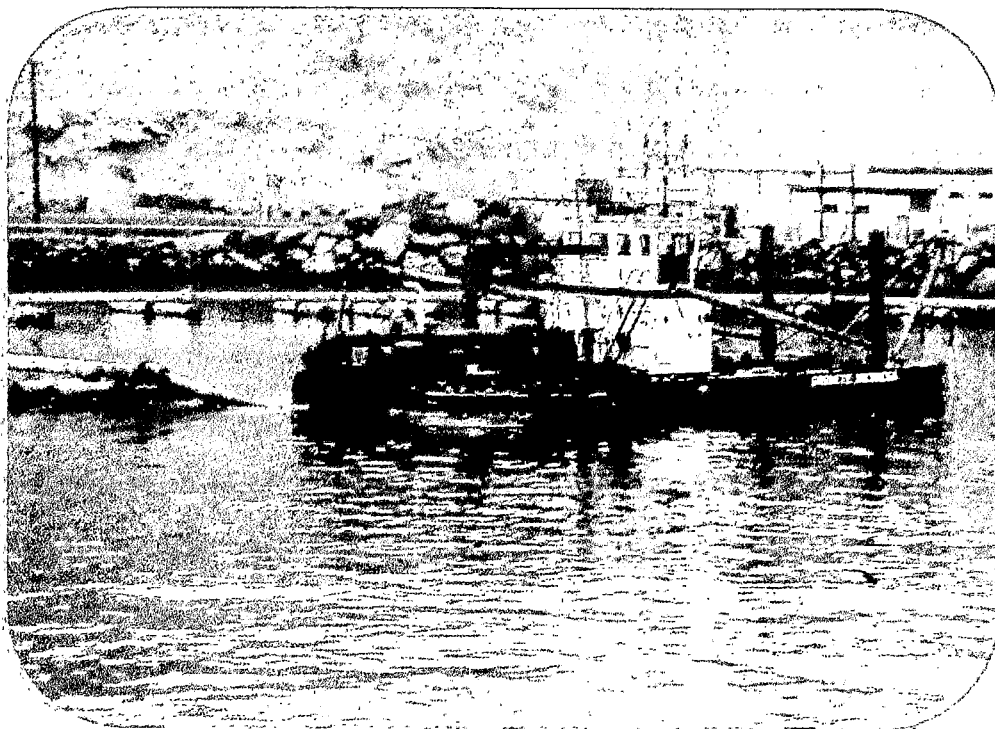


Figura Nº 1.2 Draga Grumete Arciniega.

1.1.2. Características e Infraestructura

El puerto de Salaverry cuenta con las siguientes características:

Tabla Nº 1.1 Características del Puerto de Salaverry

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	UBICACIÓN :	DEPARTAMENTO : La Libertad
		PROVINCIA : Trujillo
		DISTRITO : Salaverry
	SITUACIÓN :	Longitud: 78°59' O, Latitud: 08°13'S
	ADMINISTRACIÓN :	ENAPU S.A.
CATEGORÍA :	PÚBLICO	

Fuente: Véase [2]

En las características técnicas de la ola, tenemos un olaje promedio de 1.24m, mientras en la amplitud de marea (sicigias) alcanzamos a una longitud de 1.00 metros aproximadamente, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla Nº 1.2 Condiciones naturales del Puerto de Salaverry.

CONDICIONES NATURALES	AMPLITUD DE MAREA (sicigias):	1.00m
	OLEAJE:	Altura Promedio:1.24 m
	VIENTO PREVALECIENTE:	Máximo = S 6.1 Nudos (Nov.)
		Mínimo = S 4.2 Nudos (Marzo)
	VELOCIDAD CORRIENTE:	0.5 nudos
	PROFUNDIDAD:	33 pies
	CANAL DE ACCESO:	Longitud = 150 m ; Ancho = 250 m
	PRECIPITACIÓN:	Máximo = 0.9 mm (Marzo)
		Mínimo = 0.0 mm (Junio; Octubre)
VISIBILIDAD:		
SUELO MARINO	Arena	

Fuente: Véase [2]

En las instalaciones marítimas se tiene el diseño de dos muelles cuyas dimensiones (largo, ancho), son variables y ambos muelles cuentan con una profundidad mayor a 30 pies.

Tabla Nº 1.3 Instalaciones Marítimas del Puerto de Salaverry.

INSTALACIONES MARÍTIMAS	MUELLE 1			MUELLE 2		
	LONG. : 225m; ANCHO: 25.00 m			LONG. : 230m; ANCHO: 30.00 m		
	AMARRADEROS :			AMARRADEROS :		
	1A	Long.: 225m	Prof. 32 pies	2A	Long.: 230m	Prof. 30 pies
	1B	Long.: 225m	Prof. 32 pies	2B	Long.: 230m	Prof. 30 pies
	TUBERIAS SUBMARINAS:			(No Dispone)		
	OBRAS DE ABRIGO:			Rompeolas (Sur=300m; Norte =3m c/u; molo retenedor = 1,035 m)		

Fuente: Véase [2]

En el T.P. Salaverry se tendrá instalaciones terrestres y equipamientos para el embarque y desembarque por medio de silos y fajas transportadoras, siendo el principal producto a exportar el azúcar, las principales características del T.P. Salaverry se mostraran en las Tablas 1.4 y 1.5.

Tabla N° 1.4 Instalaciones Terrestres del Puerto de Salaverry.

INSTALACIONES TERRESTRES	BOYAS:	Demarcatorias Canal de Acceso, Zona de Maniobras.
	AYUDAS NAVEGACIÓN:	Faros de Posición en Muelles, Boya de Recalada.
	ALMACENES TECHADO:	Almacén No1 = 2,315m ²
	PATIO CONTENEDORES:	Zona No.5 = 6,000 m ² ; Zona No.6 = 19,782 m ²
	ZONAS Y/O ANEXOS:	Zona No.1 = 2,244 m ² ; Zona No.2= 731 m ² ; Zona No.3 = 10,120 m ² ; Zona No.4 = 188m ² ; Zona No.5 = 6,000m ²
	SILOS:	Capacidad (Azúcar) = 60,000 TM- Superficie = 7,200 m ²
	ÁREA ADMINISTRATIVA:	Superficie = 1,126 m ²
	ÁREA OPERATIVA :	Superficie = 3,158 m ²
	AYUDAS NAVEGACIÓN:	Señales de Enfilamiento

Fuente: Véase [2]

Tabla N° 1.5 Equipamiento del Puerto de Salaverry

EQUIPAMIENTO	GRUAS DE MUELLE:	(No Dispone)
	GRUAS DE PATIO:	15 Tn (1)
	EQUIPO TRANSPORTE CARGA:	Porta contenedor de 40 tns (1). Bobineras (6), Elev. Horquillas (9), Prensa (1), Carg. Frontal (2), Tractores (2)
	VAGONETAS:	de 10, 15 y 25 tn (32)
	BALANZAS CAMIONETAS:	de 100 tn (2)
	REMOLCADORES/LANCHAS:	Remolcador (1), Lanchas (3)

Fuente: Véase [2]

La infraestructura marítima está conformada básicamente de:

Muelle N° 1

Para atraque directo de naves, con dos amarraderos. Con dimensiones de 225 m de largo por 25 m de ancho, es utilizado para carga general y a granel. Concentrados de mineral también pueden ser embarcados en este muelle por medio de un ship loader de tierra. Los granos son descargados usando grúas de la nave. El muelle 1-A permanece fuera de servicio desde febrero del 2009.

Muelle N° 2

Para atraque directo de naves, con dos amarraderos. Con dimensiones de 225m de largo por 30m de ancho. Este muelle está equipado con dos (02) torres, para el embarque de azúcar a granel, a través de fajas transportadoras, desde un almacén con una capacidad de 60,000 ton ubicado al sur del muelle. Cada faja está diseñada para el trimado automático con una capacidad de 150 a 200 ton /hora.

Molo Retenedor

Se tiene una longitud de 1,035.00 m, que se ha ido avanzando en tres etapas, consta de un núcleo formado por residuos de cantera, una capa de roca intermedia sobre el núcleo y un revestimiento de rocas grandes (coraza del cuerpo) con taludes 1:1.5.

El cabezo del molo tiene un Talud Lateral de 1:2 con tres capas de revestimiento (coraza del cabezo), de mayores dimensiones que las del cuerpo del molo.

La sección típica del cuerpo del molo es trapezoidal con 9.04m la coronación, a 4.30m sobre el MLWS, con base variable de acuerdo a la profundidad de agua.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Principal:

- El objetivo principal de la presente tesis consiste en conocer las erosiones de todo el litoral costero al norte de Salaverry, producto de la construcción del Puerto de Salaverry, para recuperar las playas que actualmente se están viendo afectadas como: Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Analizar las variaciones de la línea de costa en relación a los agentes erosivos, lo que permitirá prever su tendencia en relación a escenarios futuros.
- Proponer el diseño de un espigón como solución para aminorar el impacto negativo de los balnearios ubicados al norte de Trujillo, principalmente el balneario de Buenos Aires.

1.3. UBICACIÓN:

El puerto de Salaverry se ubica en el distrito de Salaverry, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Se encuentra ubicado a 258 millas náuticas al norte del Callao. Su cercana ubicación con la ciudad de Trujillo (12km) y con la carretera Panamericana (8km), brinda un fácil acceso al puerto y tiene una extensión territorial de 279, 88 km² y una altitud de 3 msnm.

El distrito de Salaverry presenta un clima variable, su temperatura en invierno es casi igual que Trujillo, oscila en 17 – 21° C y en verano llega hasta los 33° C. Geográficamente se localiza a los 8° 13' 12" de Latitud Sur y a 78° 14' 12" de Latitud Oeste.

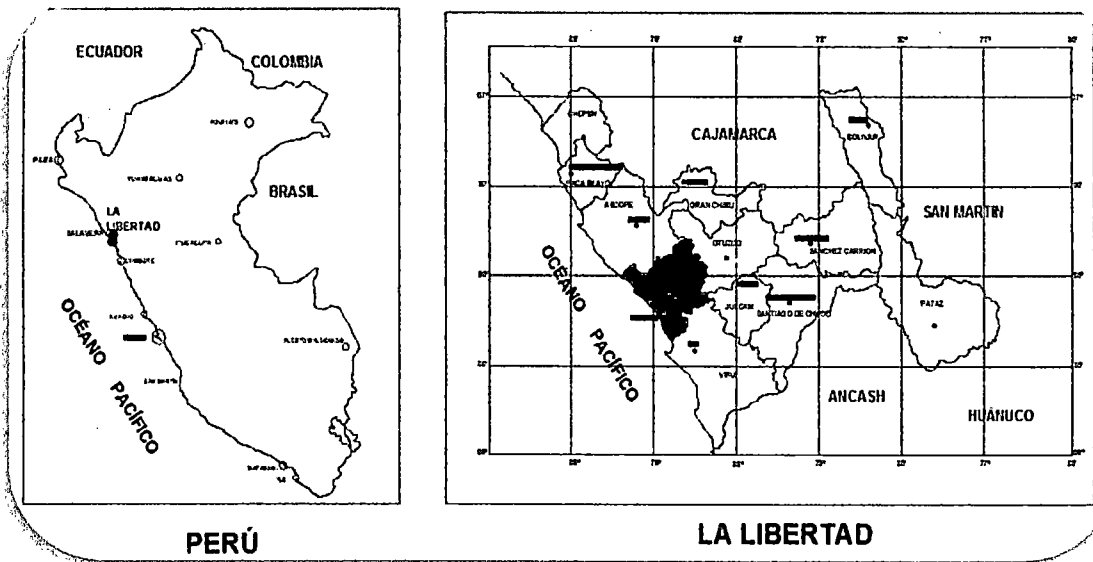


Figura 1.3 Ubicación del Terminal Portuario de Salaverry.



Figura 1.4 Terminal Portuario de Salaverry.



Figura 1.5 Vista de los 3 espigones del TP Salaverry.



Figura 1.6 Buenos Aires a 12.08 km del TP Salaverry.



Figura 1.7 Sedimentación al Sur del TP Salaverry.

1.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS

El dragado realizado en el puerto de Salaverry es realizado en gran parte por la Draga Marinero Rivas, en una menor parte por la Draga Grumete Arciniega, dichos equipos pertenecientes a ENAPU, los mismos que ya cumplieron su vida útil por lo que el mantenimiento de rutina resulta ineficiente pues dichos equipos requieren de reparaciones mayores para garantizar el cumplimiento de todas las reglamentaciones internacionales al respecto por lo que resulta cada vez más costoso realizar la operación de dragado.

Las dragas pertenecientes a ENAPU no pueden descargar directamente el material a la zona con capacidad de transporte ya que esta se encuentra en la zona de rompiente ubicada aproximadamente desde la batimétrica 5, siendo la profundidad de la draga de 5 metros por tanto la draga no puede acercarse a esta zona y descargar el material directamente [4].

Además las dragas pertenecientes a ENAPU no cuentan con la tecnología para poder descargar el material a través de un sistema de descarga a la zona con capacidad de transporte de sedimentos, ubicada aproximadamente entre las batimétricas 1.4 y 5.0 m.b.n.m.

Se puede conocer que hasta el año 2007 el material dragado del Puerto de Salaverry por ENAPU es de aproximadamente 1'037.000 m³/año según muestra en la Tabla 1.6, el mismo que se descarga fuera de la zona de rompiente donde no se presenta capacidad de transporte de sedimentos considerable.

Tabla 1.6: Volúmenes dragados con equipo de ENAPU (m3).

AÑO	DRAGA MARINERO RIVAS	DRAGA GRUNETÉ ARCINIEGA	DRAGA MAR LANDA
1990	-	-	-
1991	472,854.00	-	-
1992	-	-	-
1993	535,684.00	-	25,590.00
1994	625,997.00	-	70,594.00
1995	737,923.00	-	-
1996	964,370.00	-	-
1997	766,834.00	-	-
1998	974,969.00	100,471.00	-
1999	1,126,100.00	196,168.00	-
2000	1,630,999.00	49,316.00	-
2001	1,761,988.00	-	-
2002	-	136,667.00	-
2003	1,322,174.00	158,397.00	-
2004	1,330,378.00	173,661.00	-
2005	468,898.00	-	-
2006	1,220,264.00	-	-
2007	1,586,941.00	154,821.00	-
Total de acumulación Periodo (1991,1993-2007)	15,526,373.00	969,501.00	96,184.00

Fuente: Véase [9]

Total General 16,592,058.00 m3
Periodo de Registro 16.00 años

Volumen Promedio Dragado:	1'037,000.00 m3/año
---------------------------	---------------------

Se concluye que para mitigar el problema de erosión de la costa norte se debe aprovechar el material dragado y descargarlo en la zona con mayor capacidad de transporte de sedimentos que se ubicará en la zona norte al Molo N°3 del Puerto de Salaverry.

Tabla 1.7 Condiciones naturales del Puerto de Salaverry.

TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY				
Condición del Suelo	Estado del Mar y Clima	Condiciones de Sitio	Logística	Producción de Procesamiento
- El suelo marino del terminal portuario de Salaverry es Arena Fango (CL).	- Amplitud de la marea= 1.00m.	- El puerto tiene una profundidad de 12.0 m.	- Área de maniobras no muy amplia (aprox. 22.5 ha) por tanto el B/D debe tener alta movilidad.	- La producción del buque draga debe ser aprox. 1'700,000 m ³ /año.
	- Altura de oleaje promedio = 1.24 m.			
- El material sedimentario tiene Ø medio de 0.006-0.02mm.	- Viento prevaleciente: Máximo = S 6.1. Nudos (noviembre); Mínimo = S 4.2 Nudos (marzo).	- Periodo de bravura del mar de Julio - Setiembre	- La profundidad del calado limita la cantidad de material a dragar.	- La descarga se realizara con sistema de tuberías flotantes y sumergidas.
	- La precipitación máxima es de 0.9 mm (marzo) y mínima de 0.0 mm (junio, octubre).		- Punto de descarga a 1.5 Km.	

Fuente: Véase [1]

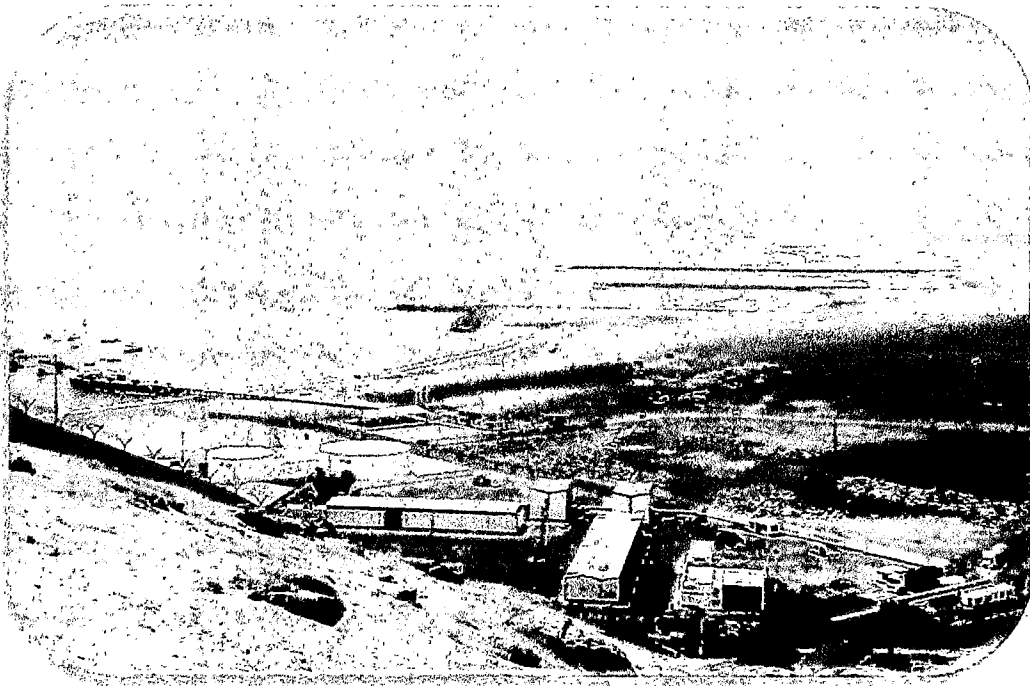


Figura 1.8 Vista de los tres molos importantes de Salaverry.

1.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para la solución al problema de arenamiento en el puerto de Salaverry se pueden plantear las siguientes alternativas:

- El mantenimiento de las profundidades operativas del puerto comprendidas dentro de las áreas de operación del puerto.
- El restablecimiento del régimen del transporte de sedimentos, causados por las rompientes de las olas, y que fue alterado a partir de la construcción del rompeolas.
- La protección de las playas al norte del puerto donde se produce un proceso de erosión. La línea de la costa está retrocediendo por la falta de aporte de la arena del sur, que está siendo retenida por el molo.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El avance de las erosiones en el perfil costero está afectando a todos los balnearios turísticos de la ciudad de Trujillo, a causa de la construcción del Puerto de Salaverry; se estima que perdemos de 6 a 7 metros de costa anualmente. Así, se ha considerado trascendente estudiar dichas erosiones con el propósito de recuperar nuestras playas y nuestros balnearios turísticos de Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco (Figura 1.9).

El estudio planteado ayudará, entre otros aspectos a conocer la dinámica actual y todas las tendencias evolutivas de las playas de la ciudad de Trujillo; planteando alternativas consistentes y convenientes de solución futura; y poder conservar nuestras riquezas naturales.

Hay tres tipos básicos de obras de ingeniería que afectan el transporte de arena y la estabilidad de las playas. El primero altera la producción de sedimentos de la fuente, por ejemplo la construcción de presas en ríos y la protección de acantilados contra la erosión.

El segundo tipo está constituido por rompeolas que se extienden desde la costa e interceptan el transporte litoral reduciendo el suministro de arena aguas debajo de la obra.



Figura 1.9 Avance de la erosión costera.

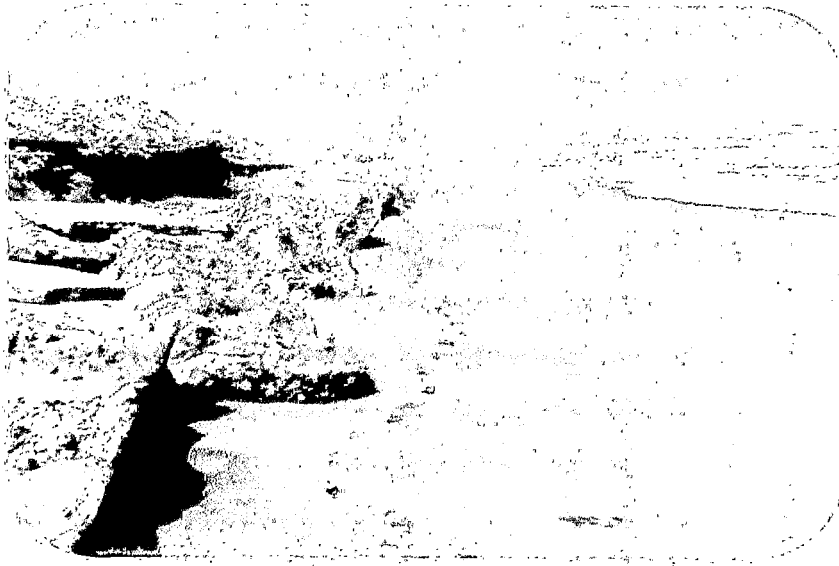


Figura 1.10 Destrucción de las defensas en la costa de Trujillo.

El tercer tipo de barrera litoral comprende los rompeolas que se construye mar adentro e interceptan las olas antes que lleguen a la costa. Por esta razón se reduce la tasa de transporte y el material litoral se acumula en el área protegida que queda detrás del rompeolas.

En todos los casos la reducción del transporte litoral produce una recesión de la playa, la cual se facilita además porque las olas continúan trasladando sedimentos de la playa hacia y desde el mar.

1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Salaverry es un puerto de tipo artificial, constantemente expuesto a la presencia de oleajes. Al año, se sedimenta aproximadamente 800,000 metros cúbicos de arena por lo que el dragado se realiza permanentemente (Tabla 3.12).

La construcción del puerto de Salaverry ha roto el equilibrio natural del transporte de sedimentos en la costa porque constituyen la causa permanente del proceso de erosión y sedimentación.

El estudio de sedimentación de Salaverry (Pro Inversión – APN, 2008) define la erosión costera como un problema que se originó cuando se trató de dar la solución a la sedimentación producida en el puerto de Salaverry. Las acciones que propiciaron la erosión son las siguientes:

- La construcción del rompeolas, para brindar las condiciones operativas del Puerto lo cual origina una sedimentación aproximada de 1'000,000 m³ en el lado sur y una erosión al lado norte del puerto.
- La construcción de 3 espigones en lado norte, para detener la erosión que involucra el recinto portuario.

En consecuencia la costa norte de Salaverry sufre un proceso de erosión que ha afectado a las playas de las Delicias y Buenos Aires (Figura 1.10), produciendo un retroceso del perfil costero, así como también la pérdida de viviendas, malecones, carreteras, etc. (Figura 1.11).

Sin los aportes de sedimentos la playa tiene un retroceso costero promedio de 224 m, en una extensión de 18 km en los últimos 30 años.

La construcción del rompeolas y molo de retención de arena del puerto de Salaverry ha sido y es la causa permanente de la erosión de la zona costera al norte del puerto. Las obras del puerto han roto el equilibrio natural del transporte de sedimentos costero.



Figura 1.11 Imagen de Buenos Aires en la estación de invierno.

Lo primero que debe hacerse es tratar de entender que es lo que está sucediendo al perfil costero, lo cual implica un conocimiento del clima del oleaje en la zona y de la fuente, dirección, cantidad y límites del transporte litoral. Para poder controlar el proceso erosivo no existe una solución general que pueda aplicarse a todos los casos de erosión.

Para poder desarrollar la investigación, se mostraran cuatro casos que involucran erosión costera, sedimentación y mediciones.

1.8. MODELO FÍSICO DEL ARENAMIENTO DE SALAVERRY

El arenamiento del puerto de Salaverry fue estudiado mediante un modelo físico tridimensional en el Laboratorio Nacional de Hidráulica. El arenamiento se produjo al sur del rompeolas de protección del puerto (Informe Técnico N 3-040, Lima 1981).

En el año 1956 se finalizó la construcción del Puerto de Salaverry, el cual consta de un rompeolas principal para dar abrigo a las instalaciones del puerto y de tres molos en la zona norte, que fueron construidos progresivamente.

Las olas se aproximan con un cierto ángulo hacia la costa, lo cual hace posible la generación de un transporte de sedimentos paralelos a la costa por la acción combinada de olas y corrientes.

Este transporte de sedimentos ha sido interceptado por el rompeolas principal, que en este caso actúa como un obstáculo al paso de los sedimentos, movimientos que antes de la construcción del rompeolas, se encontraba en equilibrio, sin sedimentación ni erosión a lo largo de la playa.

Como resultado se tiene que al sur del rompeolas, ha producido sedimentación la que ha permitido un crecimiento de la playa y al norte se ha producido erosión o sea que ha habido un retroceso de la línea costera.

Se ha producido además, una modificación en la batimetría del puerto. El arenamiento al sur del rompeolas ha llegado a penetrar en el puerto, habiéndose formado un banco alrededor del cabezo del rompeolas.

Alrededor del año 1964 empezó a pasar arena hacia el interior del puerto. En 1973, se construyó un espigón en el cabezo del rompeolas con una longitud aproximada de 130 m, con el objeto de reducir el transporte hacia el interior del puerto.

Por otra parte, se hacen continuas operaciones de dragado para mantener en equilibrio el perfil costero, según la tesis desarrollada resultó que perdemos aproximadamente de 6 a 7 metros al año por el Norte del T.P. de Salaverry y por el Sur se genera acumulación de sedimentos.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

2.1. MARCO LEGAL

En el mes de febrero del 2007, con la finalidad de lograr una efectiva gestión socio ambiental en el Subsector Transportes se promulgaron lineamientos no restrictivos para la elaboración de estudios ambientales en proyectos portuarios. Aquí, se establece que la finalidad de desarrollar un EIA es definir los impactos que generan la construcción y operación de la infraestructura portuaria así como mitigar y prevenir el deterioro ambiental que podrían causar las operaciones futuras del puerto. En ese sentido, se señala que es recomendable que las administraciones portuarias desarrollen sus actividades en base a un Sistema de Gestión Ambiental integrado a fin de que puedan controlar y mitigar los impactos ambientales.

Para la elaboración del presente informe se ha basado en el siguiente marco legal:

- Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Portuaria Nacional: D.S. N° 034-2004-MTC, publicado el 22 de agosto de 2004.
- Decreto supremo N° 006-2005-MTC. Plan Nacional de Desarrollo Portuario – PNDP, publicado el 19 de marzo de 2005.
- Reglamento de la Ley del Sistema Portuario Nacional, Decreto Supremo N° 003-2004-MTC; publicado el 4 de febrero de 2004.
- Ley del Sistema Portuario Nacional. Ley N° 27943, publicada el 1 de marzo de 2003.
- Plan Nacional de Desarrollo Portuario – PNDP, Decreto Supremo N° 006-2005-MTC publicado el 19 de marzo de 2005. Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos y otras Materias o Convención de Londres sobre Vertimientos, en vigor internacional desde 1975. Se refiere al vertimiento de desechos generados por el hombre en el mar como método de eliminación

(materiales de dragado, desechos industriales, desechos de sistemas de alcantarillado, etc.).

- Reglamento de la Resolución Ministerial N° 116-2003-MTC/02 a través de la Resolución Directoral N° 004-2003-MTC/16, emitida por la Dirección General de Asuntos Socio-Ambientales, publicada el 30 de marzo del 2003.

2.2. CRITERIOS DE ESTUDIO

Los criterios a tomar en cuenta para las obras de dragado comprenden las siguientes áreas de estudio.

- Levantamiento batimétrico
- Datos hidrodinámicos
- Investigaciones geológicas y geotécnicas
- Transporte de sedimentos
- Datos meteorológicos
- Limitaciones ambientales

2.2.1. Levantamientos Batimétricos

Se llamará levantamiento batimétrico o batimetría, a la medición sistemática de la profundidad en una extensión acuática, con la finalidad de establecer las curvas de nivel de terreno sumergido.

La ejecución de los levantamientos batimétricos se realiza de forma continua a lo largo de todo el desarrollo de la obra de dragado. Los levantamientos batimétricos sirven para:

- Determinar el volumen a dragar mediante la comparación entre el estado natural del fondo y en el perfil de dragado del proyecto.

- Determinar el volumen disponible en las zonas de descarga.
- Control de las profundidades específicas en el contrato.
- Garantizar las profundidades adecuadas de las zonas de dragado y descarga.
- Determinar la existencia de obstrucciones que puedan limitar las operaciones de dragado: obstrucciones portuarias (anclas, cadenas, oleoductos, gaseoductos, etc.)
- Comparación de sedimentos batimétricos puede indicar tendencias de sedimentación o erosión.

En las obras de dragado de cierta magnitud los trabajos de batimetría son muy importantes en cantidad y por ello requieren un equipo permanente de trabajo. Adicionalmente al trabajo de campo hay que tomar en cuenta la documentación técnica.

Equipos para efectuar levantamientos.

Componentes básicos de un levantamiento batimétrico en el medio marino:

- Embarcación apropiada.
- Elemento sensor de profundidad.
- Sistema de posicionamiento.
- Estación mareográfica.
- Si se trabaja en condiciones muy expuestas es recomendable la utilización de sensores de movimiento.

Los levantamientos batimétricos se realizan mediante ecosondas de una sola frecuencia según el tipo de suelo de fondo. Se han utilizado ecosondas de 210 KHz para suelos de arena y 30 KHz para suelos con barro. El levantamiento mediante ecosondas se realiza habitualmente haciendo recorridos en formas paralelas distanciadas de 50 m hasta 100 m dependiendo de la zona de levantamiento y la escala de representación de los levantamientos.

Para detectar las obstrucciones portuarias o cualquier otro elemento sobre el fondo se recomienda utilizar sistemas de barrido lateral denominados Side Scan Sonar.

Pueden utilizarse también sistemas de Multihaz pero en la mayoría de los casos tienen menor definición, por ello se usan en conjunto de estos equipos.

Procesamiento de la información

Cuando se efectúa el relevamiento mediante perfiles la herramienta más adecuada para el procesamiento de los datos obtenidos es la utilización del Modelo Digital de Terreno (DMT). El Modelo Digital de Terreno toma los puntos revelados y hace pasar una superficie de segundo orden por esos puntos lo cual la interpolación entre los mismos mejora sensiblemente con respecto a las interpolaciones lineales.

2.2.2. Datos Hidrodinámicos

Los datos hidrodinámicos son necesarios para el diseño de las obras de dragado y para determinar las posibilidades de funcionamiento de dragas y sus equipos de apoyo elegidas para realizar el trabajo.

Los datos hidrodinámicos son los siguientes:

Niveles de agua

La variación de los niveles de agua de un lugar está determinada por si es una zona fluvial donde depende el ciclo hidrológico o una zona marítima con influencia de mareas.

La profundidad disponible en un lugar al iniciar la obra de dragado determina en algunos casos el tipo de draga y tamaño de draga que puede utilizarse. De la misma manera en lo que respecta a las profundidades máximas.

La medición de los niveles de agua en forma continua en el espacio y en el tiempo es necesaria para tener una adecuada reducción de sondajes.

Corrientes

Los valores de intensidad y dirección de la corriente influyen de manera diferente sobre cada tipo de draga sea porque afecta el comportamiento de la draga o porque tiene influencia sobre los sedimento que están siendo movilizados. Este aspecto se va a ver dentro de las condiciones límites al estudiar cada draga en particular.

Las corrientes también tienen efecto sobre las dragas que requieren estar ancladas para realizar su operación.

En el caso de sedimentos a dragar ambientalmente sensibles, las corrientes juegan un papel muy importante en su dispersión.

Olas

Las condiciones de oleajes de un lugar determinan si una draga va a poder operar y en el caso de que pueda hacerlo cuánto tiempo va a perder en la operación por condiciones de oleaje adversas. Por lo tanto las condiciones de oleaje nos permiten efectuar una selección del equipo y método de trabajo y estimación de demoras.

Hay que tener en cuenta los casos en donde es necesario trabajar con equipos de apoyo que en general son más sensibles al oleaje por sus menores dimensiones.

Los principales problemas que se pueden presentar en una draga debido al oleaje, son deformaciones o roturas en la escala o en los zancos, los mismos fenómenos se pueden presentar en la tubería.

En la Tabla 2.1 se observan ciertas recomendaciones de alturas máximas de ola para diversos equipos de dragado.

Tabla 2.1 Máxima altura de olas para dragados.

Tipo de draga	Ola tormenta (m) Periodo de 5 segundos	Ola marejada (m) Periodo de 10-15 segundos
Chalan pequeño equipo	0.3-0.5	0.2-0.4
Chalan grande equipado	0.5-1.0	0.4-0.8
Draga estacionaria pequeña con tubería	0.2-0.5	0.2-0.5
Draga estacionaria mediana con tubería	0.5-1.0	0.3-0.6
Draga estacionaria grande con tubería	1-1.5	0.8-1.2
Draga autopropulsada	0.6-1.0	0.4-0.8
Draga autopropulsada con compensador de oleaje	2.0-4.0	2.0-4.0

Fuente: Véase [5]

2.2.3. Investigaciones geológicas y geotécnicas

Las propiedades del suelo tienen gran influencia en las diferentes etapas del proceso de dragado que son:

- **Excavación:** comprende la disgregación, fragmentación o corte del suelo o roca. Elevación: desde el fondo hasta la superficie mediante medios mecánicos o hidráulicos.
- **Transporte:** del material excavado a un sitio de colocación o relleno en las cantaras de los buques, en barcasas o mediante tuberías como mezcla de agua y sedimentos.

- Disposición del material dragado.

Los principales requisitos de información pueden dividirse esencialmente en información geológica que corresponde a la forma de distribución, volúmenes y características geológicas de los materiales e información geotécnica que corresponde a las propiedades mecánicas de esos materiales.

Por lo tanto el objeto de las investigaciones geológicas y geotécnicas es:

- Determinar volumen y distribución de los diferentes materiales existentes en el fondo: es necesario determinar los volúmenes a dragar absolutos y relativos, la estratigrafía de los materiales, el espesor de las capas a dragar. El perfil de materiales a dragar, en muchos casos, está compuesto por materiales de diversos tipos, por ejemplo, arenas densas sobre fondos rocosos; limos sobre arenas densas, etc. La producción de los equipos de dragado varía mucho en función del tipo de material. El espesor y el área en la que se encuentra un determinado material son muy importantes pues afectan directamente la producción de los equipos de dragado. En general, cuando el espesor de la capa a ser dragada es importante la producción de los equipos de dragado es mayor y por lo tanto más económica de dragar que capas de pequeño espesor. En casos de dragado de capas de pequeño espesor la variable crítica es el área en la que está distribuido el material más que el volumen y en ciertos casos, el tipo de material.
- Mediante la ejecución de análisis in situ y en laboratorio establecer todas las propiedades físicas y mecánicas que puedan influenciar las operaciones de dragado y el transporte del material.
- Determinar las condiciones de los materiales en las cuatro situaciones: "in situ", excavado, transportado, depositado.
- Establecer si el material es adecuado para utilizar en rellenos de playas o áreas para usos posteriores.

- De acuerdo al tipo de material, principalmente su granulometría, se deben evaluar los eventuales efectos ambientales.
- Establecer las pendientes de los taludes de los canales o áreas a dragar.
- Determinar la dragabilidad del material.

Clasificación de Suelos

Para la obtención de rendimiento de dragado, es necesario conocer las características del suelo que se va extraer. El criterio básico es el conocimiento del diámetro de las partículas, para distinguir entre arcillas, sedimentos (limos), arenas, gravas, y boleó.

Una base para la identificación de suelos en dragado, fue propuesta por PIANC en su publicación de 1972 denominada "Reporte Internacional de la Comisión para la Clasificación de Suelos para Dragado".

Dentro de los materiales cohesivos tenemos arcillas, limos y materia orgánica, siendo sus principales características las siguientes:

- La distribución del tamaño de los granos, siendo los mayores de 0.06 mm, lo que tendrá influencia en el desgaste de la cabeza del cortador.
- Su resistencia al esfuerzo cortante es principal factor para determinar la fuerza requerida por el cortador.
- Su peso volumétrico es el factor determinante para calcular su capacidad de transporte tanto vertical como horizontal.

En los materiales cohesivos se deben obtener valores del contenido de humedad para determinar el comportamiento del suelo durante el ciclo de dragado.

El porcentaje de materia orgánica tiene influencia sobre el peso volumétrico, causando también gasificación. Lo que ocasiona problemas de vacíos durante el ciclo de dragado.

La consistencia de una medida de la compactación del suelo, y consecuentemente de la fuerza requerida en el cortador.

Los suelos fuertemente cohesivos pueden llegar a necesitar barrenados y volados antes de su excavación.

Los materiales no cohesivos son arenas, gravas, boleos o una mezcla de estos, siendo sus principales propiedades indicadas en Tabla 2.2.

El tamaño de los granos es importante para determinar la velocidad crítica mínima, de tal forma que estos permanezcan en suspensión.

En el caso de una draga autopropulsada, el tamaño del grano es decisivo para el tiempo de decantación y del dragado.

Cuando los granos de arena son mayores de 0.3 mm causan mayor desgaste en la parte inferior de la tubería de descarga de la draga.

La mayor compactación de arena, grava y algunas arcillas, será determinante en la fuerza que debe ejercer el cortador, así como los consumos de energía del mismo.

El desgaste de la tubería y la bomba dragadora, dependerá de la forma redondeada o angular de los granos de arena.

La permeabilidad es importante, ya que durante el proceso de corte, el volumen del suelo incrementa debido a que cambia la densidad al pasar de un material con menor porcentaje de vacíos, a uno con mayor porcentaje. Durante este proceso se crea un vacío entre los poros del material y el agua, debiendo los mismos poros nivelar esta diferencia de presión, lo que ocasiona que la fuerza en el cortador se incremente considerablemente.

En un suelo cementado, debe clasificarse dentro de los materiales cohesivos ya que durante el proceso de corte, las fuerzas que se originen a las que se tendrían en una arena normal.

Si se tiene una pequeña porción de arcilla en la arena, esta originará que el material sea menos permeable y adopte un talud más pronunciado, además tendrá una influencia positiva en la tubería por un menor desgaste.

El peso específico de los componentes del suelo influye en la resistencia al corte y en el cambio de la velocidad crítica de la tubería.

En el Tabla 2.2 se presentan las bases generales de identificación y clasificación de suelos para efecto de dragados.

La densidad de sólidos es la relación entre el peso volumétrico de un material y el agua, por lo tanto carece de unidades.

El peso volumétrico puede ser medido en diferentes estados dentro del proceso de dragado.

La densidad en sitio se obtiene midiendo el peso volumétrico en el terreno antes de dragar.

La densidad en la tolva se obtiene midiendo el peso volumétrico a bordo y el equipo utilizado para ir a depositar el material.

La densidad en el sitio de depósito se obtiene el peso volumétrico, al final del ciclo de dragado. Una vez depositado el material o algún tiempo después que se ha consolidado el mismo.

Pruebas in situ y en Laboratorio

En el Tabla 2.3 se muestran las principales pruebas in situ y en el laboratorio, aplicadas al dragado.

Las pruebas de laboratorio para dragado determinan las propiedades que permiten seleccionar el equipo adecuado para disgregar y remover el suelo, y además deben proporcionar la información necesaria para evaluar el desgaste del equipo y definir la calidad del relleno que, posteriormente, pueda formarse con el material dragado. Su importancia relativa depende del material, del método de transporte y el destino del relleno.

En el Tabla 2.4 indica que parámetros son indispensables y cuáles son complementarios para las tres fases principales de dragado, con base en la clasificación general del material.

Los fines de estas pruebas se comentan a continuación indicando la forma de realizarlos cuando el procedimiento difiere respecto al usual, o cuando la prueba sea poco común, respetando los tres grupos mencionados en el Tabla 2.4.

Tipo de suelo		Identificación por tamaño		Identificación	Resistencia y características estructurales		
		Rango en mm	Malla				
Boleo	N.A. Grano adhesivo	Mayor de 200mm entre 60 y 200 mm		Examen y medida visual	N.A		
Grava		Gruesa de 6-20mm Media de 6 a 20mm Fina de 2-6mm	3/4 -3" 1/4-3/4" Nº 7-1/4"	Fácilmente identificable con un examen visual	Es posible encontrar algunos estratos cementados de grava con boleos. La grava puede existir mezclada con arena		
Arena		Gruesa de 0.6 -2mm Media de 0.2 a 0.6mm Fina de 0.06-0.2mm	7-25 25-72 72-200	Partículas visibles con pequeña cohesión al estar secas	Algunos depósitos pueden estar compactados y cementados aumentado su resistencia. Estructura homogénea o estratificada. Puede estar mezclada con arcilla aumentado su dureza.		
Sedimento o limos		Gruesa de 0.02 -0.6mm Media de 0.006 a 0.02mm Fina de 0.002-0.006mm	Pasa malla 200	Generalmente son partículas invisibles. Pueden tener alguna plasticidad. Una vez secos los terrones se convierten en polvo con la presión de los dedos	Esencialmente no poseen gran plasticidad, con características similares a las arenas. El más fino se aproxima a la arcilla en su plasticidad. Mezclado con arena o arcilla pueden estar homogéneos o estratificados. Su consistencia varía de fluido espeso a sólido		
Arcilla	Cohesivo	Menor de 0.002mm La distinción entre arcilla y sedimento no se basa en el estado de las partículas sino en sus propiedades físicas. Indirectamente se relacionan al tamaño de las partículas.	N.A.	Fuerte cohesión, plasticidad y dilatación, fácilmente se presiona con los dedos poniéndose liso y grasoso. En estando se rompe durante el proceso de dragado	Consisten	Comportamiento	Est. C kg/c
					Muy suelto	Se escurre entre los dedos	0.17
					Suelto	Fácilmente moldeable con los dedos	0.17-
					Firme	Requiere de fuerte presión para moldearse con los dedos	0.45-
					Rigido	No se moldea con los dedos	0.90-
					Firme *	Se presiona con mayor dificultad con el pulgar	1.34
Materia orgánica	N.A.	N.A.	N.A.	Generalmente se identifican por el color café, fuerte olor con presencia de fibra y madera	Puede ser firme o como esponja en la naturaleza. Dirección horizontal y vertical		
N.A No aplicable.							

Tabla 2.2 Pruebas in situ y en el laboratorio con aplicación de dragado.

Fuente: Véase [5]

Tabla 2.3 Pruebas in situ y en el laboratorio con aplicación de dragado.

Propiedades y características del suelo	Prueba en sitio	Prueba de laboratorio de campo o canal.
Análisis del tamaño de la partícula	N.A. de la mezcla	Tamizado sobre suelos granulares, sedimentación de suelos cohesivos. Correlación en mezclas de suelos como arcillas arenosas. Evaluación rustica por comparación, con microscopio o contador de rejilla.
Agudeza de la partícula	N.A.	Comparación con muestras normales y fotográficas.
Peso volumétrico en el sitio.	N.A. Exceptuando medición en cantos rodados.	La unidad en el suelo como se encontró en el sitio, o sea la relación entre el peso total y el volumen total del suelo.
Gravedad específica de partículas sólidas.	N.A.	Es la porción entre la unidad de peso de las partículas sólidas y la unidad de peso del agua.
Compactación en el sitio	Prueba de penetración estándar, penetrómetro holandés u otros basados en pruebas estándar.	N.A.
Contenido de la mezcla	Método de medición radioactivo	Determinación del contenido de sólidos de la mezcla.
Plasticidad	N.A.	Determinación de límites líquido y plástico.
Resistencia al corte	Penetrómetro manual, prueba de paleta, otros penetrómetros.	Prueba de compresión en muestras no confinadas o pruebas de compresión triaxial.
Contenido de cal	N.A.	Aplicación de ácido hipoclorhídrico para indicar efervescencia.
Contenido orgánico	N.A.	Determinación del contenido orgánico.

Fuente: Véase [5]

Métodos	Suelos					Rocas	
	Arcillas	Limos	Arenas	Gravas	Cantos y/o boleos	Suaves	Duras
	Materiales						
Sondeos de lavado	Chiflón						
	Buril						
	Broca tricónica						
Muestreo por gravedad	Muestreador delgado 38 mm < diám. <152mm						
	Muestreador grueso diám. >152mm						
Muestreo por varillaje	Tubo shelby						
	Tubo shelby afilado						
	Pistón muestreador						
	Penetrómetro estandar						
	Barril Denisson						
			Barril muestreador con tubo interior partido.				
Muestreo sin varillaje	Vibromuestreador						
	Muestreador DOSP						
	Automuestreador marino MAS - 78						
Exploración y pruebas con varillaje	Cono dinámico						
	Cono estático						
	Veleta						
Exploración y pruebas con varillaje	Cono estático Geodof o SEACAF						
	Veleta de cable o veleta Halibut						
	Prueba de bombeo						
Exploración indirecta	Perfilador de reflexión sísmica continua						
	Prospección sísmica						

Base del Proceso	Suelos no cohesivos	Suelos no cohesivos	Rocas
Disgregación y remoción del material	*Compacidad relativa *Granulometría Densidad de sólidos Contenido de agua Contenido carbonato de calcio Contenido de materia orgánica.	*Cohesión *Peso volumétrico saturado *Límites de consistencia y contenido de agua *Viscosidad de la suspensión agua - suelo *Adhesión	*Origen geológico y estructura mineral *Resistencia a la compresión *Peso volumétrico Grado de alteración Dureza Tenacidad
Transporte del material	Peso volumétrico Granulometría Forma y dureza de los granos Contenido de carbonato de calcio Contenido de materia orgánica	*Peso volumétrico *Viscosidad de la suspensión agua - suelos Contenido de carbonato de calcio Contenido de materia orgánica Límites de consistencia	Peso volumétrico
Deposito y tratamiento del material	Deposito y tratamiento del material	*Límites de consistencia *Peso volumétrico seco máximo.	Peso volumétrico

Tabla 2.5 Propiedades determinadas en laboratorio con fines de dragado.

Fuente: Véase [6]

Lineamientos a seguir para ejecutar investigaciones geotécnicas

Para ejecutar investigaciones geotécnicas es necesario tomar en cuenta los siguientes lineamientos.

Intensidad de la Investigación

No hay reglas fijas en lo que hace a la intensidad de la investigación como por ejemplo, el número de perforaciones a realizar. Se debe realizar una buena investigación que permita un buen conocimiento del modelo geotécnico del área

bajo estudio en términos de los factores que tienen influencia en los procesos de dragado y transporte y consecuentemente, costos.

La intensidad con la cual un sitio en particular debe ser investigado depende principalmente de la complejidad geológica del lugar y de las distancias sobre las cuales se producen la variación de condiciones.

Al margen de la cantidad de muestreos es importante que la profundidad a alcanzar exceda la profundidad de proyecto y que el área a relevar sea mayor la de proyecto e incluya posibles alternativas.

El detalle que se requiere va a depender en las propiedades de los materiales existentes. Si los materiales son semejantes desde el punto de vista de la dragabilidad de los mismos no tiene demasiado sentido insistir en una gran cantidad de perforaciones que van a mejorar el conocimiento académico del subsuelo mientras desde el punto de vista del dragado se van a ejecutar con el mismo equipo dragado. Por otra parte, si la diversidad de materiales va a exigir diferentes equipos de dragado para su extracción o se va a producir una gran variación de rendimientos por la extracción de los mismos, está justificado realizar investigaciones más detalladas.

Ubicación, área y cantidad

Para realizar los estudios es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Tener especial cuidado en el control vertical. La precisión de las distancias en el sentido vertical es crítica para la determinación y representación del techo de los materiales duros o materiales no aptos, interfaces entre diferentes tipos de suelos y para la determinación de áreas y volúmenes de dragado. Las estimaciones de volúmenes de dragado son mucho más sensibles a los errores en el sentido vertical que a los errores en el sentido horizontal.
- Dentro de los problemas que aparecen frecuentemente en este sentido se encuentra que no se haya tomado correctamente la influencia de la marea o se apliquen lecturas no precisas de alturas de marea a las

indicaciones de profundidad de las perforaciones. Las nuevas tecnologías disponibles de posicionamiento electrónico pueden ayudar a resolver este problema. Es importante incluir una estimación de la precisión lograda en el control vertical en el informe geotécnico.

- Utilizar las investigaciones geofísicas con precaución y, como mínimo correlacionarlas con perforaciones.

Clasificación de materiales y propiedades físicas:

Para realizar la clasificación de los materiales y propiedades físicas es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Realice ensayos in situ y en laboratorio de acuerdo a normas ASTM y en un número suficiente de muestras de cada perforación.
- Incluya la descripción de las perforaciones y vibrocorings con una clasificación y descripción de los materiales de acuerdo con las normas ASTM e incluya los resultados de los ensayos realizados in situ y en laboratorio en el registro de los trabajos de campo.
- Investigue y documente el contenido de conchilla dentro de los materiales arenosos.
- Utilice las normas ASTM para los Ensayos de Penetración Standard (SPT).
- No continúe el Ensayo de Penetración Standard (SPT) más allá del rechazo (50 golpes /6 pulgadas). Saque testigos de suelos rocosos.
- En los casos que este obteniendo testigos de suelos rocosos, determine y registre en el informe de la perforación recuperación del testigo, la descripción de calidad de la roca y la fractura de la misma a los efectos de suministrar información sobre la calidad de la roca.

Los aspectos que diferencian la investigación geotécnica para dragado, de las obras de ingeniería civil son:

- Relación directa entre el tipo de suelo y costos de dragado: principalmente el tipo de suelo a ser dragado define el tipo de draga que debe utilizarse, los rendimientos a obtener con los equipos elegidos para realizar el dragado, las condiciones de transporte y otros aspectos fundamentales. Dado el alto valor de los equipos de dragado queda definido la mayor parte de los costos de las obras.
- El área a ser investigada es muy grande: las obras de dragado se realizan en las superficies significativas.
- Ambiente hostil que requiere técnicas especiales: las obras de dragado se realizan en ambientes acuáticos, fluviales o marítimos. En primer lugar las investigaciones se realizan desde una plataforma o desde un buque en un medio acuático y la distancia entre la superficie y el fondo puede ser importante. En situaciones normales la variación de los niveles de agua, las corrientes y el oleaje ponen condiciones difíciles a las tareas de campo.
- Los datos de suelos que se obtienen: se utilizan con diferente objetivo que las obras habituales, el objetivo principal es determinar las condiciones de dragabilidad de los suelos. El concepto de dragabilidad incluye la característica del suelo y la del equipo de dragado que se va a utilizar. En el caso de existir materiales de diferentes características en un mismo sitio el equipo elegido debe estar en las condiciones de dragar adecuadamente esa diversidad de materiales.

2.2.4. Transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos es difícil determinar ya sea mediante mediciones de campo y estudios de gabinete.

En el caso de obras de una cierta duración el conocimiento del transporte de sedimentos permite calcular el dragado de mantenimiento necesario realizar durante el dragado de apertura. Dependiendo de cada cuanto se realicen las mediciones y como este estipulado contractualmente la oportunidad de realizarlos, método de medición y pago puede tener una gran influencia sobre los costos.

El transporte de sedimentos en el mar o acarreo litoral es el fenómeno que se lleva a cabo en una playa, por medio del cual las partículas sólidas de que está compuesta se transportan a lo largo de ella; se sabe que el arrastre de sólidos se produce principalmente entre la línea de playa y zona de rompiente, aunque también fuera de esta existe transporte.

El estudio del transporte de sedimentos es importante para diferentes aspectos:

- En ingeniería de costas el acarreo litoral, determina el diseño de protecciones costeras.
- En el dragado es importante por los problemas de volumen acarreado en función del tiempo, ocasionado azolves (obstrucciones de lodo) en zonas previamente dragadas.

Por otra parte, es importante asentar que el principal objetivo en el estudio de transporte de sedimentos es predecir si se tendrá una condición de equilibrio o existirá erosión o depósitos y determinar las cantidades involucradas. La cantidad de transporte de sedimentos, expresada como masa, peso o volumen por unidad de tiempo, puede ser determinada por medio de mediciones de campo o por métodos analíticos.

Las causas que provocan el transporte de sedimentos en las costas son básicamente las corrientes y el oleaje; provocan esfuerzos cortantes sobre los sedimentos sólidos y hacen que sean transportados en suspensión o por el fondo a distancias más o menos grandes y depositados en zonas tranquilas. Por ello antes de emprender la realización de unas obras es preciso tomar en cuenta las posibles interacciones entre el fluido en movimiento y los sedimentos del fondo sobre los que este actúa.

2.2.5. Datos meteorológicos

Es habitual que exista información meteorológica para el sitio de trabajo o lugares cercanos obtenida por servicios meteorológicos. Debe efectuarse el procesamiento de los datos de acuerdo al interés específico del proyecto.

Viento

Los vientos de gran intensidad además de producir olas de viento pueden obligar a interrumpir las operaciones de dragado y desplazamiento hacia zonas protegidas. El viento hace que la maniobra de las naves sea más difícil, específicamente en áreas confinadas. El viento afecta más a las embarcaciones menores, específicamente las barcasas vacías.

Lluvia

Las lluvias intensas afectan la eficiencia de los equipos y personal. Las lluvias pueden afectar el material dragado puesto en tierra. Afectan también a los operarios a cargo de las tuberías en obras de relleno.

Niebla

La niebla obliga a navegar y operar con visibilidad reducida con lo que restringe los movimientos de las dragas y embarcaciones de apoyo produciendo demoras. En aguas con navegación comercial pueden llegar a interrumpir el dragado. Aunque la draga puede navegar con sistemas de posicionamiento pueden producirse colisiones con las naves, con sistemas de posicionamiento pueden producirse colisiones con las naves. Hay que tener en cuenta la demora de las operaciones por este motivo. En algunos lugares y épocas del año puede ser significativo.

Temperatura

Las temperaturas externas afectan la eficiencia de equipos y personal. Puede ser necesario contar con aire acondicionado en sala de máquinas u oficinas en tierra.

2.3. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

2.3.1. Definición del área de Influencia Directa (AID)

Se ha considerado como AID del Proyecto, la zona donde se realizara la prolongación del molón retenedor y la zona donde se realizara el dragado (área de acceso y área de maniobras del Puerto de Salaverry).

2.3.2. Definición del área de influencia Indirecta (AII)

El área de Influencia indirecta, es el territorio en el que los impactos ambientales se manifiesta en forma indirecta o inducidas. En tal sentido, considerando que el área del Proyecto Portuario es una zona ya intervenida por actividades portuarias y las actividades de operación tendrán las mismas características, comprende las zonas costeras del departamento de La Libertad.

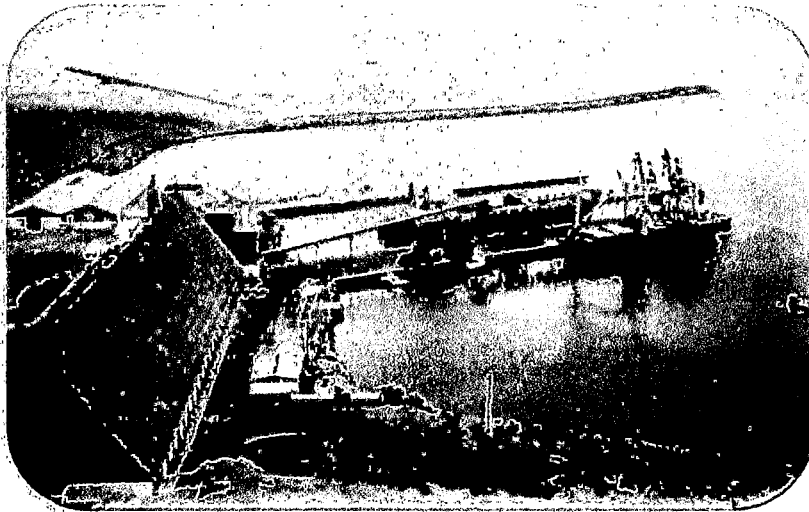


Figura Nº 2.1 Área de Influencia Directa.

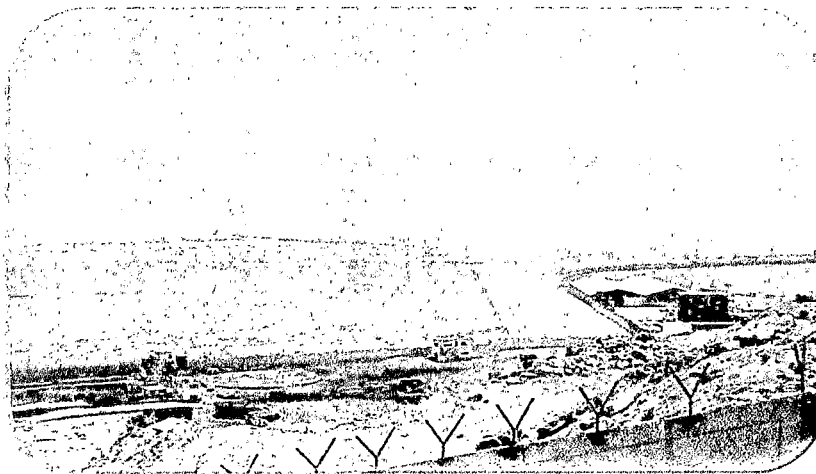


Figura Nº 2.2 Área de Influencia Indirecta (Sur del T.P. Salaverry).



Figura Nº 2.3 Área de Influencia Indirecta (Norte del T.P. Salaverry).

2.4. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables que se tienen en estudios costeros son las variables independientes, dependientes y las variables intervinientes.

-Variables independientes

La construcción de las obras de abrigo del Puerto de Salaverry y el Molo Retenedor de Arena, rompeolas, dragados.

-Variables dependientes

Modificación de la morfología costera al norte del Puerto de Salaverry, que se manifiesta en pérdida de litoral o erosión costera.

Variables intervinientes

-Oleaje

-Mareas

-Vientos

-Corrientes Marinas

-Corriente Inducida por el Oleaje

Sedimentos del Fondo Marino.



Figura 2.4 Las variables de la investigación.

2.4.1. Oleaje

El oleaje regular para una serie de crestas paralelas, todas de igual altura con distancias mutuas iguales, moviéndose con celeridad constante. En sección se obtiene la imagen de una ola regular como se muestra en la Figura 2.5.

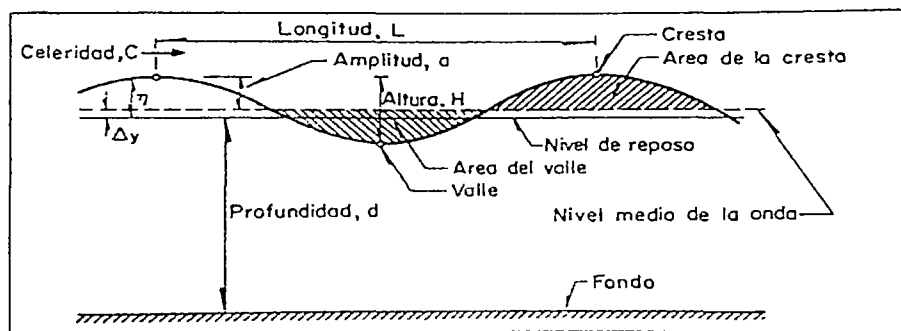


Figura 2.5 El perfil de una ola regular.

En aguas profundas el movimiento del oleaje describe una trayectoria circular, mientras que en aguas intermedias o someras el oleaje toca fondo y las trayectorias se deforman como lo muestra la Figura 2.6.

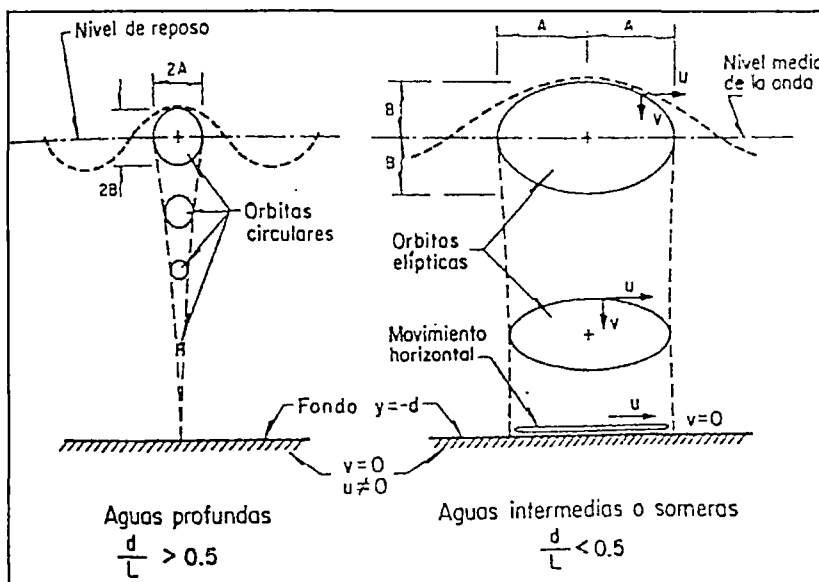


Figura 2.6 Desplazamientos orbitales de las partículas.

Olas Swell

Son olas generadas por el viento a gran distancia y son las que predominan en la costa peruana y son de interés en ingeniería costera.

Existen centros de alta presión en los paralelos 30°N y 30°S. El anticiclón es un centro de alta presión, que en el Pacífico Sur se encuentra en las costas de Chile y generan las olas Swell que llegan a la costa peruana con un alto porcentaje de ocurrencia.

En el hemisferio Sur el sentido del anticiclón es antihorario y es el que gobierna la dirección de los vientos alisios. Figura 2.7. Muestra la clasificación de las olas según su periodo T, en el caso de Salaverry es de 14 segundos.

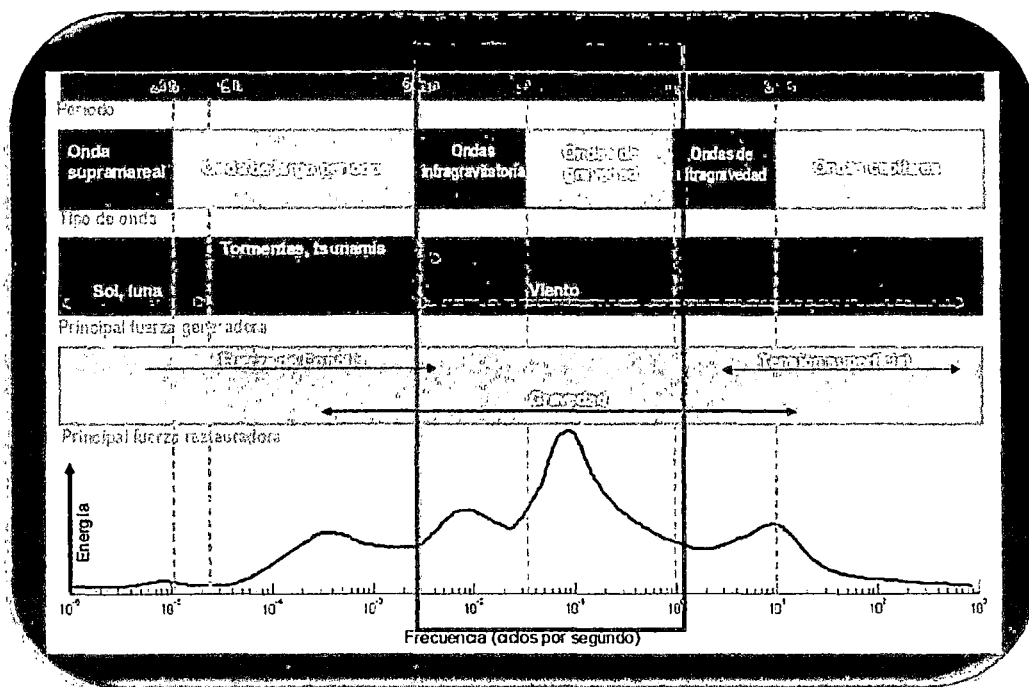


Figura 2.7 Clasificación del oleaje según el periodo T.

Deformación del Oleaje

Al avanzar el oleaje hacia aguas poco profundas, la presencia del fondo y obstáculos (islas y estructuras marítimas) producen modificaciones al oleaje, en altura, celeridad y longitud de onda.

Estas modificaciones se deben a los siguientes fenómenos: Efectos viscosos (fricción), Permeabilidad del fondo (pérdida de energía), Efecto de Bajos, refracción (cambio de celeridad), Difracción (transferencia lateral de energía) y Reflexión (perdida de energía en la frontera reflejante).

Altura de la Ola en la Costa

La altura H_0 del oleaje en un punto cercano a la costa puede obtenerse de:

$$H = K_R \times K_S \times H_0 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2.1)}$$

Dónde:

H_0 : Altura en aguas profundas.

K_S : Coeficiente de refracción.

K_R : Coeficiente de bajos (Shoaling).

Refracción del Oleaje

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 .

La refracción del oleaje es la deformación del oleaje que se acerca hacia la costa, con su cresta (frente de oleaje) en diferentes profundidades. Los rayos ortogonales denotaran una curvatura, dependiendo de cuán importante sea el

ángulo θ (entre la cresta de la ola y una determinada profundidad). La Figura 2.8. Muestra un patrón de refracción.

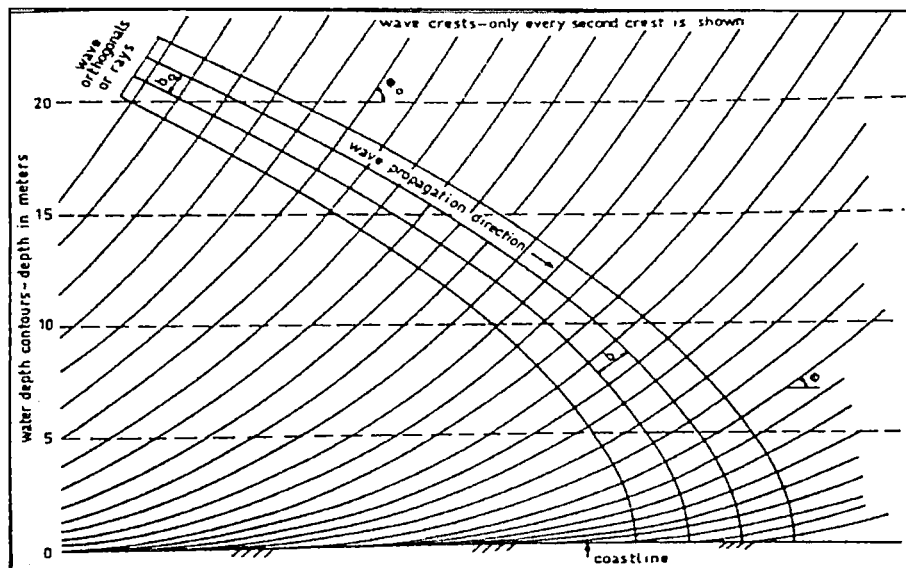


Figura 2.8 Patrón de refracción.

OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

La información del Sailing Directions Tabla 2.6, de la distribución de frecuencias y frecuencias acumuladas de ocurrencia de olas "Swell" en aguas profundas, para diferentes direcciones, frente al Puerto de Salaverry.

Bajo la consideración que el patrón de oleaje en aguas profundas, en la zona de interés, está gobernando 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. Las olas provenientes de otras direcciones tienen baja frecuencia de ocurrencia, o por su orientación, no ingresarán a la zona de estudio.

Para la macro distribución de alturas de olas, se ha considerado la mostrada en la Figura 2.9, Ocurrencia de Olas Significativas (H_s), correspondiente al registro de oleaje en el Puerto de Salaverry, en la batimétrica -15m, desde el 01-08-76 al 30-06.80.

En el gráfico de la lámina señalada, se ha trazado la distribución correspondiente a aguas profundas, 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 Hs para aguas profundas, la que ha sido aplicada en la presente tesis.

Distribución de frecuencias.

ALTURA (m)	NO	O	SO	S	SE	E	EN	TOTAL
0.30 - 1.80	---	0.5	9.80	36.30	7.30	0.10	---	54.00
1.80 - 3.60	---	---	6.50	25.50	8.00	0.20	---	40.20
Mayor a 3.60	---	---	0.30	2.00	0.50	---	---	2.80

Frecuencias acumuladas de ocurrencia.

ALTURA (m)	NO	O	SO	S	SE	E	EN	TOTAL
0.30 - 1.80	---	0.5	16.60	63.80	15.80	0.30	---	97.00
1.80 - 3.60	---	---	6.80	27.50	8.50	0.20	---	43.00
Mayor a 3.60	---	---	0.30	2.00	0.50	---	---	2.80

Tabla 2.6 Distribución de frecuencias y frecuencias acumuladas de ocurrencia de olas "SWELL" en aguas profundas para Salaverry según Sailing Directions.

Fuente: Véase [4]

El periodo del oleaje considerando en el estudio para fines de diseño es de 14", que es el período significativo y cuya información proviene también de los registros de mediciones en el Puerto de Salaverry.

Para fines de diseño se requiere conocer el oleaje en las cercanías de la zona del proyecto.

En la zona del estudio, el oleaje que se presenta en la costa es de tipo "Swell", es decir, que las olas en el litoral provienen desde aguas profundas y son generadas por vientos con cierta persistencia y patrones de dirección; y son

producidas mayormente por el anticiclón del Pacífico Sur, patrón que es válido para una gran parte del litoral peruano.

En la zona del proyecto, llegan las olas "Swell", afectadas por los efectos de difracción, desde aguas profundas de las direcciones Sur, Sur Oeste y Oeste. La Tabla 2.6 muestran las frecuencias de olas "Swell" en Salaverry.

Las magnitudes y frecuencias indicadas se tendrán en cuenta como la única fuente que nos indica la dirección de olas, mientras que para las alturas y periodos de olas se hará referencia al estudio de olas realizado en Salaverry, por ser la información más cercana al proyecto. No existen otros estudios con mayor tiempo de duración que se haya realizado en el área, hasta la fecha.

También se puede obtener la condición de oleaje del modelo de pronóstico (hindcast) de las olas Sea y Swell. La experiencia con observaciones de barcos nos han llevado a concluir que la energía de las olas Sea y Swell no debe ser sumada. Esto es porque es difícil sumar alturas de las olas separadas tanto para las olas Sea como para las olas Swell. Se puede obtener engañosamente altos resultados si las dos alturas de ola son resueltas.

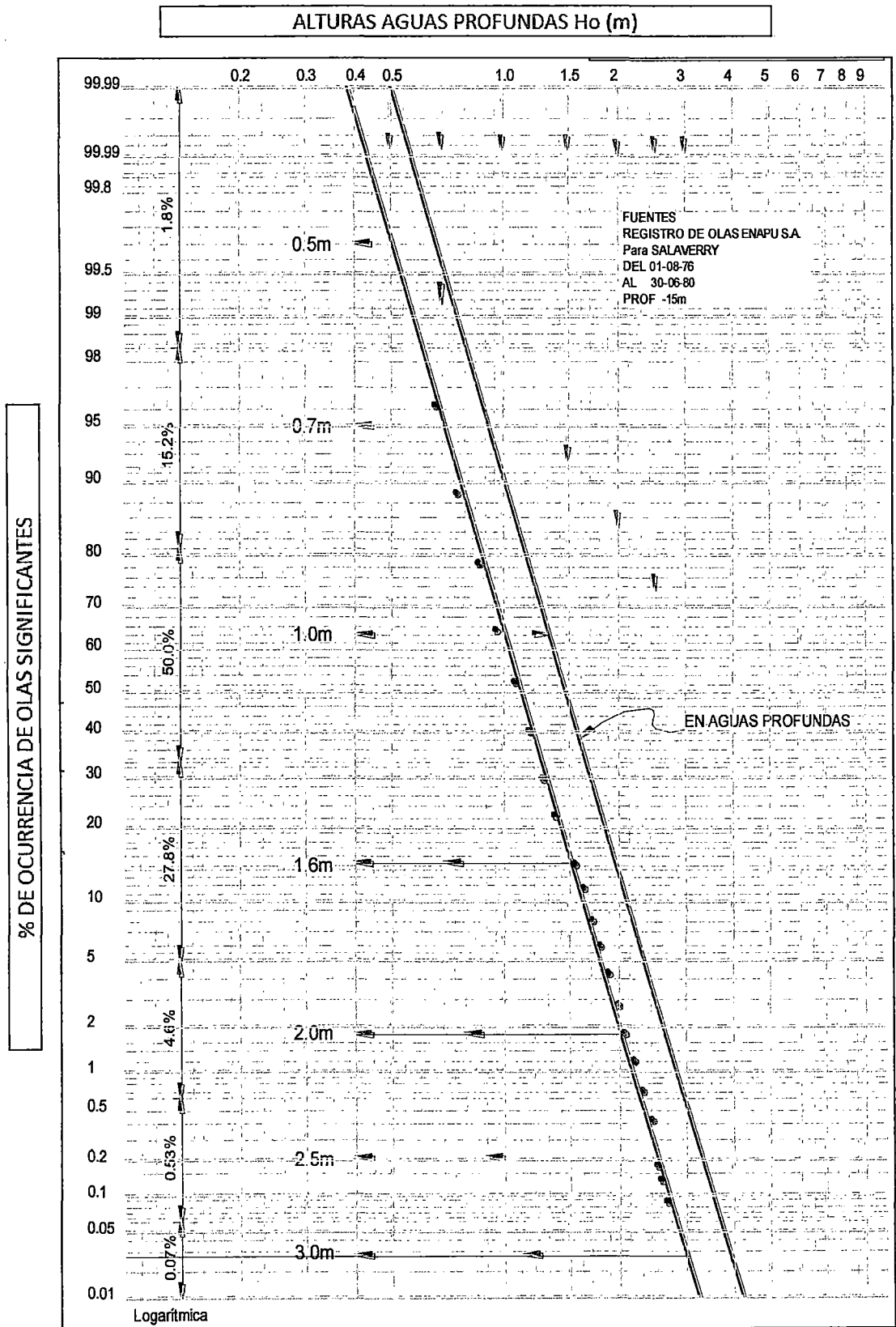


Figura 2.9 Macro distribución de oleaje para Salaverry.

Oleaje en las cercanías del área de interés

La consideración de aguas profundas está relacionada a la condición:

$$d_0 > L_0/2$$

Dónde:

- d_0 = condición de aguas profundas.
- $L_0 = 1.56 * T^2 = 1.56 * 14^2 = 305.76$ m
- Por lo tanto $d_0 > 152.88$ m.

En condiciones de aguas profundas, cuando estas son mayores a 152.88 m, las olas se propagan casi sin perder energía, más cuando las olas van entrando a menores profundidades, estas se deforman por efectos de refracción, de bajos y otras consideraciones. De este modo, con la información del oleaje en aguas profundas se puede determinar el oleaje en las profundidades del área de estudio.

El estudio de refracción en aguas profundas han sido realizados sobre Portulano a escalas 1:100000, para un periodo de 14".

Para la condición de aguas intermedias y de aguas poco profundas se ha utilizado el Portulano a escala 1:50,000 y 1:5,000 respectivamente.

Clasificación del oleaje según la altura

Olas de amplitud pequeña, con altura pequeña en comparación a su longitud. Es aplicable la teoría lineal, teoría de Airy (onda senoidal), teoría de Stokes, (primera aproximación).

Ola de amplitud finita, considera los desplazamientos que sufre la superficie libre y permite calcular algunas propiedades de la ola con mayor precisión. Es aplicable la teoría de Stokes (segunda aproximación).

Los límites de aplicación de la teoría lineal son:

$$\frac{L^2 * H}{d^3} \ll 100 \quad \text{y} \quad \rho \frac{H}{L} \ll 1$$

Oleaje según Profundidad Relativa

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

Movimiento del Agua en la Zona de Rompientes

La zona de rompientes es la zona donde rompe el oleaje y abarca desde la costa cero hasta profundidades variables, de acuerdo a las características del perfil costero. Esta zona es muy activa en el movimiento de los sedimentos. 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 de fondo en combinación con la turbulencia del fondo ponen al sedimento en suspensión. Este sedimento en suspensión puede ser transportado por la corriente inducida por el oleaje en el rompiente.

La Velocidad de la Corriente Inducida por el Oleaje (corriente litoral), V [1, Bijker cap. 13] es un concepto que propone una velocidad resultante en una zona de rompientes, cuando existe un ángulo de incidencia entre la cresta de la ola y la línea de costas.

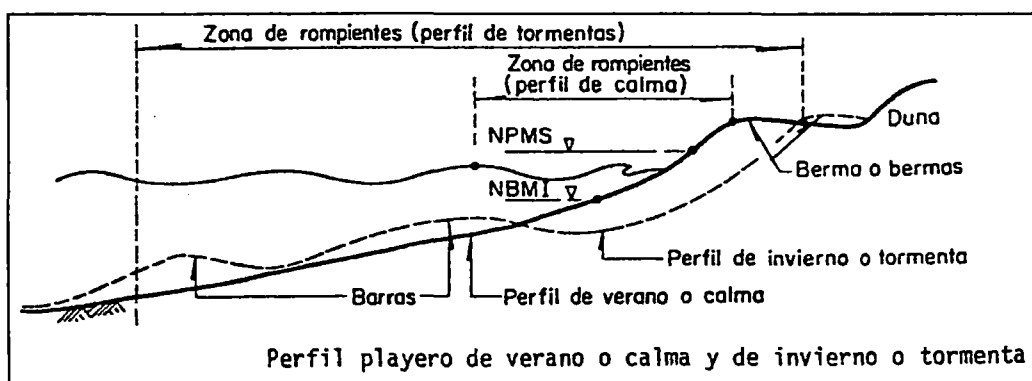


Figura 2.10 Esquema de un perfil de playa Verano - Invierno

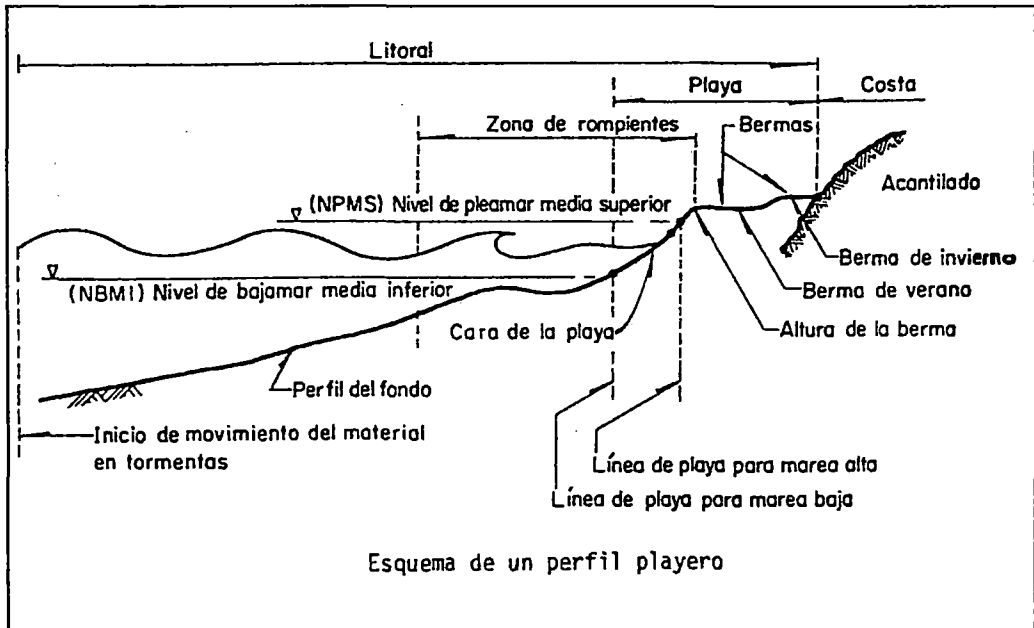


Figura 2.11 Esquema de un perfil de playa

$$V = \frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} * \frac{\text{sen}\phi_0}{c_0} * \gamma * \frac{C}{f_w} * d * m$$

- c_0 : es la celeridad de la ola en aguas profundas.
- γ : es el índice de rompiente = H_r / d_r .
- d : es la profundidad en la rompiente.
- m : es la pendiente de la playa.
- ϕ : es el ángulo entre la cresta de la ola y la batimétrica en aguas profundas.
- C : es el coeficiente de Chezy = $18 \log (12*d/r)$.
- f_w : es el parámetro adimensional de fricción.
 $f_w = \exp [-5.977 + 5.213 (a/r) -0.194]$.
- r : es la rugosidad del fondo a lo largo de la playa.
- a : máxima amplitud orbital en el fondo.
- L : longitud de la ola en la rompiente.

Para la velocidad de la corriente litoral existen otras fórmulas que a continuación se muestran:

Fórmula de Komar e Inman, [8] Fórmula I.200, calcula la velocidad litoral media V_l , entre la rompiente y la línea de costa.

$$V_l = 1.35 \times g^{\frac{1}{2}} \times \frac{H_r}{(d_r)^{\frac{1}{2}}} (\sin \alpha_r) \cos \alpha_r$$

- H_r : altura de la ola en rompiente, en m.
- d_r : profundidad en la rompiente, en m.
- α : ángulo de incidencia entre el frente de onda y la línea de rompiente.
- V_l : velocidad media de la corriente litoral, en m/s.

De acuerdo con Longuet - Higgings, [8] fórmula I.201, la velocidad máxima de la corriente litoral se alcanza entre la rompiente y la línea de costa y se indica como V_l , dicha velocidad es aproximadamente 2 o 3 veces mayor que la velocidad en rompiente:

$$V_l = (20.3) S (gH_r)^{\frac{1}{2}} (\sin 2\alpha_r)$$

- S : pendiente de la playa

Se puede emplear con cualquier sistema congruente de unidades

Altura de la ola en rompiente

En el diseño de estructuras como rompeolas, escolleras, etc. Es necesario conocer si estarán sujetas a la acción de olas, de ahí, el interés en el estudio de este valor. La distancia vertical entre la altura de la cresta de la ola en el rompiente y el valle inmediato delante de ella es lo que se conoce como altura en rompiente.

En aguas someras, para obtener la altura en rompiente H , se recomienda utilizar las curvas experimentalmente obtenidas por el CERC (Coastal Engineering Research Center, la cual está en función de la pendiente de la playa, altura de la ola en aguas profundas y la esbeltez de la ola.

Ecuación (2.2)

$$\frac{H_r}{H'_o} = f\left(\frac{H'_o}{L_o}, S\right)$$

Dónde:

- H'_o : altura de la ola en aguas profundas trasladada a aguas bajas entre ortogonales ($H'_o = K_r * H_o$)
- H_r : altura de la ola en rompiente.
- S : pendiente de la playa.
- L_o : Longitud de la ola en aguas profundas.

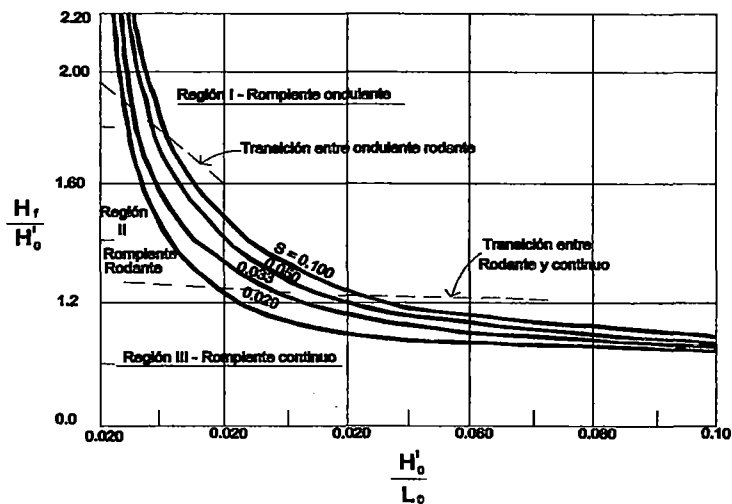


Figura 2.12 Altura de la rompiente y su clasificación, según CERC.

Profundidad en la rompiente

Para diseñar algunas obras marítimas se requiere conocer la profundidad a la cual las olas llegan a romper. Para ello se puede utilizar las curvas obtenidas por el CERC, la cual está en función de la pendiente de la playa la altura de la ola rompiente y periodo de la ola.

Ecuación (2.3)

$$\frac{d_r}{H_r} = f\left(\frac{H_r}{gT^2}, S\right)$$

Dónde:

- d_r : profundidad en la rompiente.
- H_r : altura de ola en rompiente
- S : pendiente de la playa
- T : periodo de la onda.

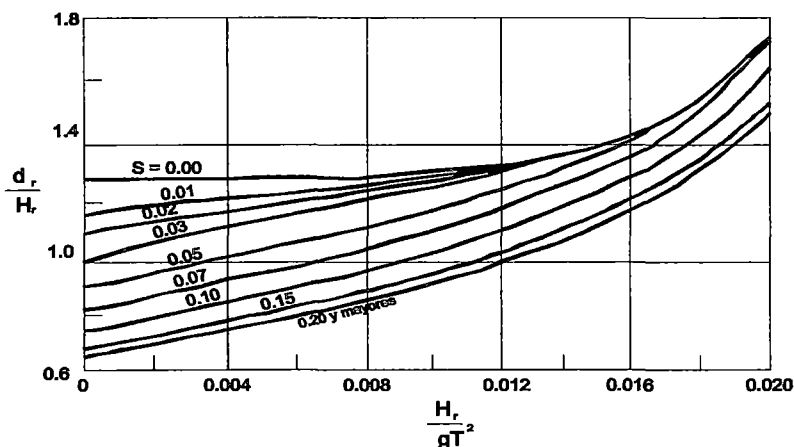


Figura 2.13 Profundidad en la rompiente, según CERC.

2.4.2. Mareas

Las variaciones diarias del nivel del mar se deben, entre otros factores, a las variaciones de la marea, ocasionadas a su vez por la fuerza de atracción de la luna y el sol. En la costa peruana, la marea es de la naturaleza semi-diurna, es decir, existen diariamente dos pleamares (ascenso) y dos bajamares (descenso). En la Figura 2.14, se muestran el gráfico de marea según la información de las tablas de pronósticos que edita la Dirección de Hidrografía de la Marina.

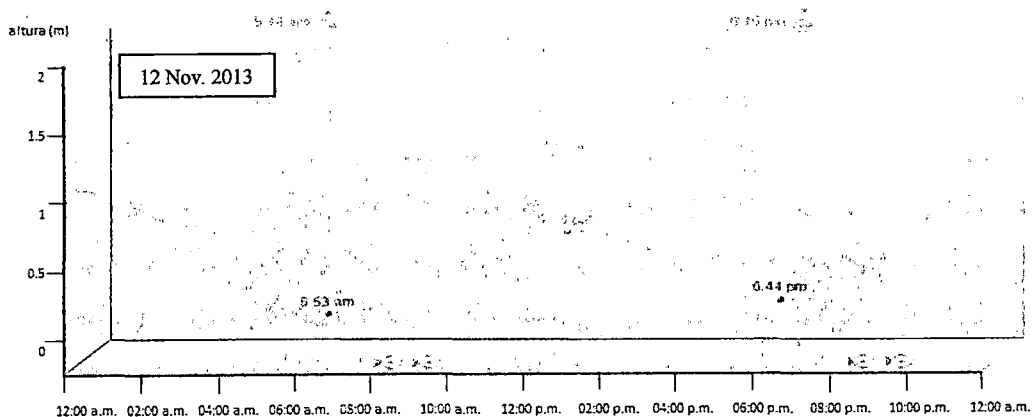


Figura 2.14 Gráfico de mareas en Salaverry, de la Tabla de Mareas, DHN-2013.

Fuente: Véase [ANEXO1]

2.4.3. Vientos

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

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. La Figura 2.15 muestra un modelo de rosa de viento.

La Tabla 2.7 Proporciona el Promedio Mensual Multianual de Viento Prevalciente y la Tabla 2.8 muestra el Viento Máximo Absoluto de la Estación Salaverry de 1978 a 2005.

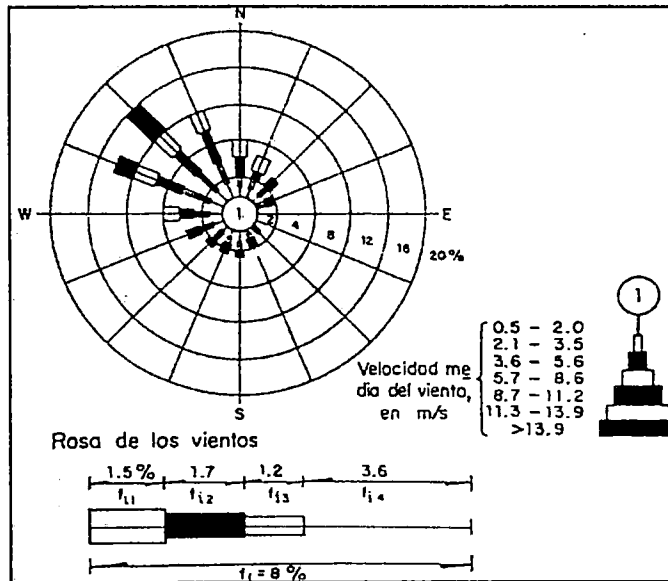


Figura 2.15 Modelo de Rosa de Viento.

Tabla 2.7: Promedio Mensual Multianual de Viento Prevalciente de la estación Salaverry 1978 - 2005

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV	DD VV
S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
5.1	4.6	4.3	5.0	4.6	4.2	4.5	4.5	5.6	5.5	5.4	5.1

Latitud 08°13'00"

Longitud 68°58'30"

Altitud 4.25 msnm.

Nota: DD = Dirección del Viento (RUMBO)

W = Velocidad de Viento (NUDOS)

Fuente: Véase [10]

Tabla 2.8: Viento Máximo Absoluto de la estación Salaverry 1978 - 2005

	Descr:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
VIENTO	ddd	120	180	180	110	130	210	190	190	190	190	190	180
MÁX. ABS	vvv	23	21	20	20	22	21	22	23	20	20	22	25

Latitud 08°13'00"

Longitud 68°58'30"

Altitud 4.25 msnm.

DD = dirección del viento (rumbo); VVV = velocidad del viento (nudos)

Fuente: Véase [10]

2.4.4. Corrientes Marinas

Las diferencias de temperatura en el océano originan las corrientes marinas, puede imaginarlas como ríos de agua dentro del mar. Existen corrientes cálidas como la del Golfo, y frías como la del Labrador. Otros factores que las causan son los vientos, las diferencias de salinidad y la rotación terrestre.

Las corrientes marinas más importantes son: La corriente de Humboldt, Figura 2.16 y las corrientes de mareas (llenante y vaciante). Estas corrientes son de baja intensidad y no intervienen en el transporte de sedimentos.

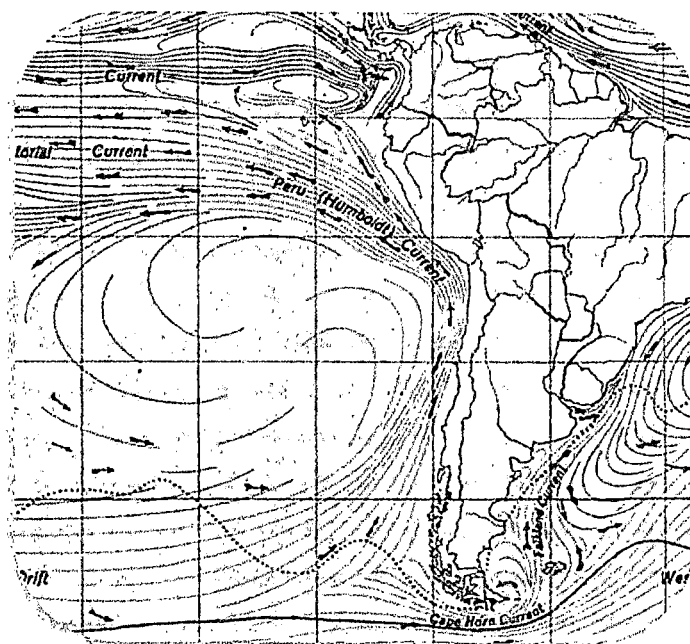


Figura 2.16 Corriente de Humboldt.

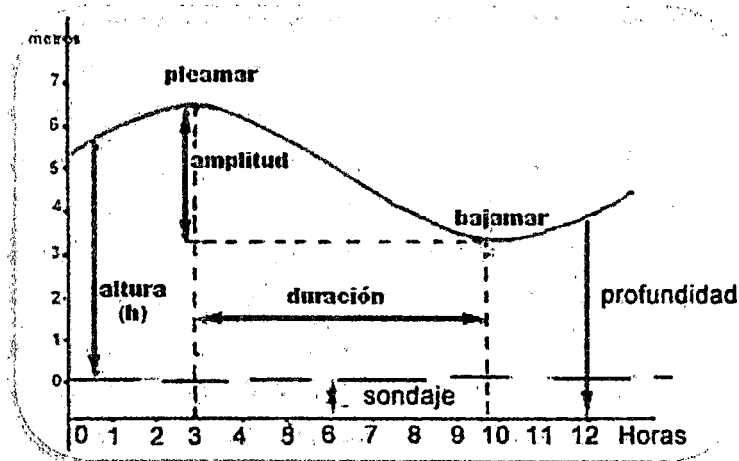


Figura 2.17 Marea llenante y vaciante.

2.4.5. Corriente Inducida por el Oleaje

La corriente (V) a lo largo del litoral se presenta entre la zona de rompientes y la línea costera. Esta corriente es generada por la componente longitudinal del flujo de energía del oleaje cuya cresta se aproxima con un ángulo ϕ de inclinación a la costa.

La variable más importante para determinar la corriente longitudinal a la costa es el ángulo ϕ entre la cresta de la ola y la línea de costas. El ancho de la zona activa del oleaje en una playa, va desde la línea de costas hasta la zona de rompientes. Este ancho crece con la altura del oleaje.

La velocidad de la corriente inducida por el oleaje (corriente litoral), es un concepto que propone una velocidad resultante en una zona de rompientes, cuando existe un ángulo de incidencia entre la cresta de la ola y la línea de costas.

Ecuación (2.4):

$$V = \frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} * \frac{\text{sen}\phi_0}{c_0} * \gamma * \frac{C}{f_w} * d * m$$

$$f_w = \exp \left[-5.977 + 5.213 \left(\frac{a_0}{r} \right)^{-0.194} \right]$$

$$a_0 = \frac{\left(\frac{H}{2} \right) \cosh \left[\frac{2\pi}{L} \left(\frac{H}{2} + d \right) \right]}{\sinh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)}$$

$$C = 18 * \log \left(12 * \frac{d}{r} \right)$$

Dónde:

- c_0 : celeridad de la ola en aguas profundas.
- γ : índice del rompiente.
- d : profundidad del rompiente.
- m : pendiente de la playa.
- ϕ_0 : ángulo entre la cresta de la ola y la batimétrica en aguas profundas.
- C : coeficiente de Chezy.
- f_w : parámetro adimensional de fricción.
- r : rugosidad del fondo a lo largo de la playa.

2.4.6. Configuración del Fondo Marino

La configuración del fondo marino en las proximidades del proyecto se obtiene con la ejecución de una batimetría local. Para el conocimiento de la configuración del fondo en profundidades mayores, es necesario recurrir a los Portuarios de la DHN.

De sumo interés es conocer la orientación de la costa (azimut) con la dirección de la cresta de la ola rompiente. La batimetría permitirá calcular la transformación del oleaje desde aguas profundas hacia aguas poco profundas.

2.4.7. Sedimentos del Fondo Marino

Los sedimentos se caracterizan por la distribución granulométrica. Es importante conocer los Diámetros característicos como el D50, D90; el peso específico del material y la velocidad de caída de determinadas partículas.

La información granulométrica permite calcular el transporte de sedimentos a lo largo de la costa.

Transporte de Sedimentos de Fondo según Bijker

Ecuación (2.5)

$$S_b = \frac{BDV\sqrt{g}}{C} \exp \left[\frac{-0.27\Delta DC^2}{\mu V^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{U_b}{V} \right)^2 \right]} \right]$$

$$C' = 18 \times \log \left(12 \times \frac{d_r}{D_{90}} \right)$$

$$\mu = \frac{C}{C'}$$

$$\varepsilon = \frac{C\sqrt{f_w}}{\sqrt{2g}}$$

Dónde:

- S_b : Transporte de sedimentos del fondo.
- B : Es un parámetro adimensional determinado en 1977, con un valor de 5.

- D : Es el diámetro medio de la partícula de sedimento.
- μ : Es el factor de rizos = C/C' .
- D_{90} : Diámetro representativo del sedimento con 90% que pasa.
- V : Velocidad inducida por el oleaje.
- C : Es el coeficiente de Chezy
- U_b : Es la máxima velocidad orbital en el fondo.
- d_r : Profundidad de la rompiente.
- Δ : Densidad relativa $\Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$
- ρ_s y ρ : Son las densidades del sedimento y agua.

Transporte de Sedimentos en Suspensión Adaptación de Einstein

Intervienen dos parámetros independientes A y Z' .

Ecuación (2.6)

$$Z' = \frac{W\sqrt{\rho}}{k\sqrt{\tau_c} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\epsilon \frac{U_b}{V} \right)^2 \right]}$$

$$\tau_c = \frac{\rho g V^2}{C^2}$$

Ecuación (2.7)

$$A = \frac{r}{d}$$

Dónde:

- W : Velocidad de caída de la partícula de diámetro D del sedimento.
- k : Constante adimensional de Von Karman=0.40.
- τ_c : Cortante de fondo.

Los demás términos ya fueron definidos.

Con ayuda de los parámetros se obtiene la relación S_s/S_b , con los datos de A y Z' , obteniendo así el valor de S_s (fórmula para el transporte en suspensión).

Dónde:

- S_b = Transporte de fondo.
- S_s = Transporte en suspensión.
- $S_s = 1.83 * Q * S_b$
- $S_{total} = S_b (1 + 1.83Q)$

El coeficiente de shoaling se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación (2.8)

$$K_{SH} = \sqrt{\frac{1}{(\tanh kd) \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd}\right)}}$$

Ecuación (2.9)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad , \quad \sigma = \frac{2\pi}{T}$$

Dónde:

- k : Numero de ola.
- d : Profundidad de la rompiente.
- L : Longitud de la ola.
- T : Periodo de la ola.
- σ : Frecuencia angular.

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE EROSIÓN

3.1. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO-TOPOGRÁFICO

El levantamiento de la batimetría actual se la zona de Buenos Aires, fue realizado con la Ecosonda Electrónica, mediante líneas de sondaje de registro continuo.

El levantamiento batimétrico fue realizado por secciones, desde la desembocadura del río Moche hasta 6.5 km, hacia el norte. Se llevó a cabo el posicionamiento de los Puntos de Sondaje y la ubicación de los puntos de sondaje se efectuó mediante el GPS.

Se coordinó por intermedio de las radios "walkietalkie" la lectura de los antiguos y el registro de profundidades con el ecosonda.

Sondajes

Tanto al inicio y al final de cada sondaje se realizó la respectiva calibración de ecosonda utilizando un escandallo graduado.

Los registros de profundidades con la ecosonda fueron debidamente coordinados con las lecturas de ángulos azimutales vía radios "walkietalkie", de modo que las mediciones fueron simultáneas.

3.1.1 MEDICIÓN DE LADOS

La medición de lados de las poligonales y del estacado de las secciones transversales, se realizó con la Estación Total Geodimeter.

El módulo de medición de distancia del Geodimeter opera dentro del área de infrarroja del espectro electromagnético. Transmite un rayo de luz infrarroja. El rayo de luz reflejado es recibido por el instrumento y con ayuda de un comparador, se puede medir el desfase entre la señal transmitida y la recibida.

Gracias a un microprocesador incorporado, la medida de tiempo del desfase se convierte en medida de distancia y se muestra en la pantalla del instrumento como tal, con precisión de mm, en la pantalla de cristal líquido de 4 líneas.

La precisión de la medida de distancia del Geodimeter es de $\pm (3\text{mm} + 3\text{ppm})$. El factor ppm puede ser asumido en términos de milímetros por un kilómetro; 3 ppm significa mm/km. ó 0.3 mm / 100 m.

3.1.2 MEDICIÓN DE ÁNGULOS

Los ángulos medidos en los vértices de las poligonales fueron realizados mediante la Estación Total Geodimeter. La medición de ángulos es electrónica. El principio de medida está basado en la lectura de una señal integrada sobre la superficie completa del dispositivo electrónico horizontal y vertical y la obtención de un valor angulas medio, la precisión de las mediciones es al segundo.

Nivelación de Vértices

La nivelación de los vértices de las poligonales se realizó con el nivel WILD NAK-1 y mira de 4m de longitud. La nivelación se ejecutó en circuitos cerrados, aplicándose el error de cierre máximo tolerable de $E = 0.02 (k)^{1/2}$, donde k esta en kilómetros y E está en metros.

Con la información de la tabla de mareas se dibujan las respectivas mareas para los días en que se realizó los levantamientos batimétricos. De este modo todos los registros de sondajes están referidos al plano del nivel medio de bajamares de sicigias ordinarias (MLWS).

En la zona de rompientes, en donde la embarcación no pudo ingresar, las líneas batimétricas fueron obtenidas por interpolación de los puntos medidos desde el mar y de tierra.

Con la finalidad de dibujar el plano del Levantamiento Topográfico Batimétrico en CIVIL 3D versión 2010, se calculó las coordenadas de todos los puntos sondeados.

El Levantamiento Topográfico se apoya en una Poligonal: como se muestra en el P-1 (Figura 3.1), con los vértices que son mostrados en la Tabla 3.1, estos puntos son los presentados como puntos de control en la imagen satelital.

Tabla 3.1 Coordenadas de la Poligonal de apoyo, UTM 17S; Datum WGS

84.

VÉRTICE	COORDENADAS UTM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	NORTE	ESTE	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
T-1	9,098,033.132	715,568.973	08°08'42.405"	79°02'36.438"
T-2	9,098,801.002	714,603.989	08°08'27.955"	79°03'08.719"
T-3	9,099,166.813	714,131.276	08°08'05.171"	79°03'23.558"
T-4	9,099,588.389	713,659.400	08°08'02.681"	79°03'39.035"
T-10	9,100,081.328	713,140.728	08°08'11.727"	79°03'56.067"
T-11	9,100,667.451	712,841.056	08°08'25.649"	79°03'05.917"
T-12	9,100,179.431	713,493.433	08°08'32.889"	79°03'44.547"
T-13	9,099,938.132	714,120.612	08°08'56.177"	79°03'24.037"
T-14	9,099,602.080	714,106.032	08°08'18.432"	79°03'24.437"

Fuente: Elaboración Propia.

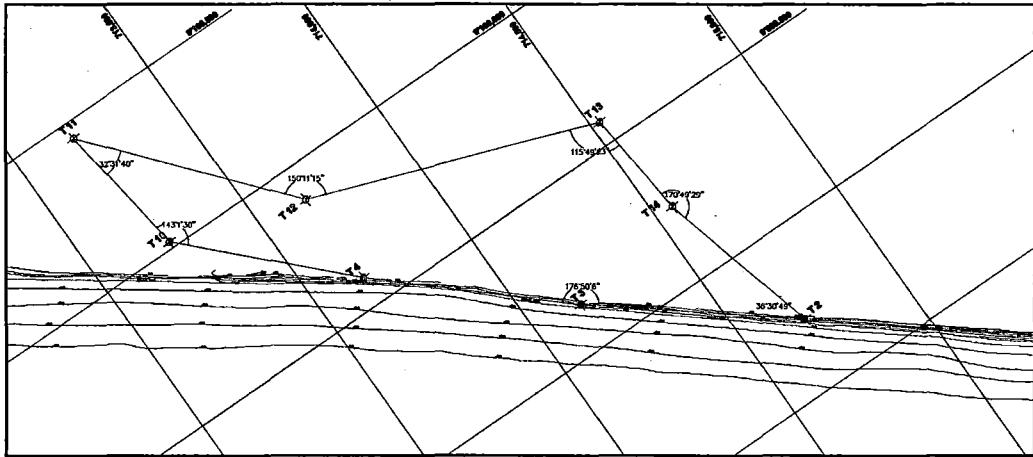


Figura 3.1 Ubicación de las coordenadas de la poligonal de apoyo.

Para ubicar los vértices de la Poligonal se realizó previamente un reconocimiento del terreno. Se estableció una poligonal cerrada considerando los vértices T-1, T-2, T-3, T-4, T-10, T-11, T-12 mientras que los vértices T-13 y T-14 conforman una poligonal abierta, lo cual posibilitó el cálculo de las coordenadas UTM de sus vértices.

Se procedió el levantamiento taquimétrico mediante secciones cada 100 m, con el empleo de la Estación Total Geodimeter, teodolito y el nivel; para con ello trabajar los vértices de la poligonal T-1, T-2, T-3, T-4, T-10, T-11, T-12.

3.1.3 TAQUIMETRÍA

La taquimetría efectuada en las poligonales fue realizada con la Estación Total Geodimeter y con el Teodolito Autoreductor marca Kern (K1-RA).

Mediante el levantamiento taquimétrico se procedió a seccionar los perfiles establecidos en periodos de mareas bajas, con la finalidad de tener mayor acceso al mar y conseguir cotas negativas. Y se estableció la línea cero.

Curvas de Nivel; se ploteó los puntos de las poligonales y del relleno topográfico, procediéndose a interpolar las cotas entre estos, en la forma convencional.

En el plano P-1 del Anexo A -1, se muestra la Poligonal, a escala 1:5000. (Figura 3.2).

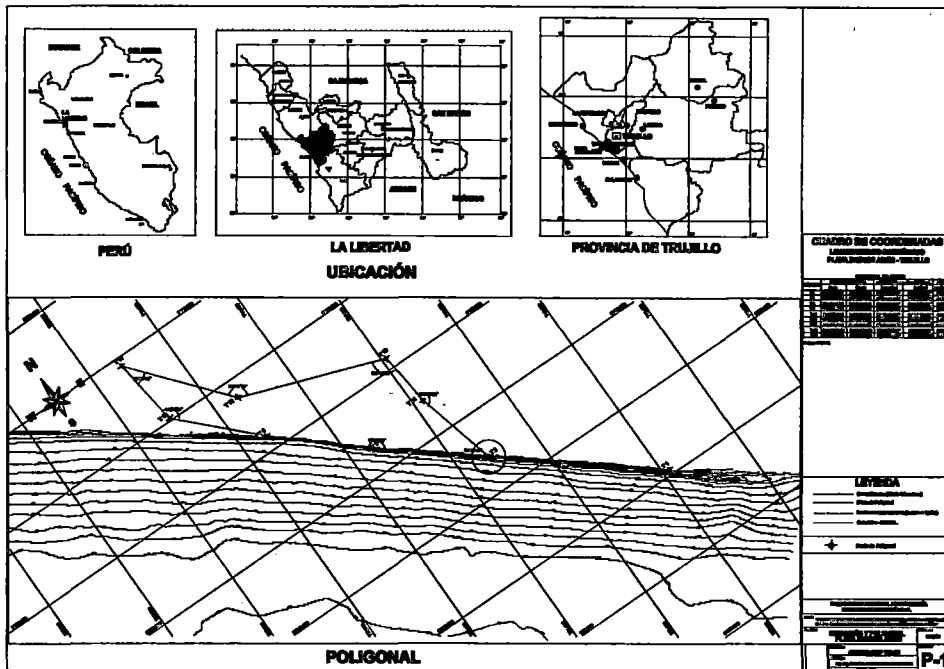


Figura 3.2 Plano P-1 Poligonal de Buenos Aires, escala 1/5000.

3.2. CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para los cálculos realizados en este subcapítulo se tomaron los datos obtenidos mediante ensayos y levantamientos batimétricos.

3.2.1. Fórmulas de Bijker

Bijker (1967) propuso que el efecto combinado de todas las posibles fuerzas componentes del transporte litoral puede ser determinado y que se puede determinar la corriente litoral y transporte litoral sobre esta base.

La aproximación de Bijker fue la introducción de la influencia del oleaje vía una modificación del esfuerzo cortante de fondo, tal como se conoce en las fórmulas de transporte de sedimentos para corrientes.

Bijker escogió la fórmula de Kalinske - Frijlink para el transporte de fondo, y uso la fórmula de Einstein para el transporte de sedimentos en suspensión.

3.2.2. Cálculo de la Altura y Profundidad de la Rompiente

Se tienen los siguientes parámetros iniciales conocidos.

$$T=14'' \quad g= 9.81 \frac{m}{s^2} \quad L_0 = 305.76 \text{ m} \quad d_0 = 152.88 \text{ m}$$

De la macro distribución de oleaje de Salaverry de la Figura 2.9, se obtiene las alturas en aguas profundas y de los planos presentados se obtienen los coeficientes de refracción tanto en aguas profundas, intermedias y someras.

Ocurrencia (%)	H ₀ (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

K	Sur	Sur-Oeste
K _{r1}	0.845060	1.059067
K _{r2}	0.803192	0.953729
K _{r3}	0.990740	0.99074
K _r	0.672483	1.0007443

Tabla 3.3 Coeficientes de refracción.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.2 Alturas aguas profundas.

Para el cálculo de la altura y profundidad de la rompiente (H_b y d_b) se utilizan las fórmulas (2.2) y (2.3), con los valores obtenidos se ingresan a las Figuras 2.12 y 2.13 para una pendiente dada de S= 0.0193.

Del cálculo se obtuvieron las Tablas 3.4 y 3.5 donde se muestran los resultados de la altura en rompiente y profundidad de rompiente para las respectivas ocurrencias en la Dirección Sur.

Tabla 3.4 Cálculo de la altura en la rompiente.

Ocurrencia (%)	H'_0 (m)	H'_0 / L_0	S	H_b / H'_0	H_b (m)
1.60	0.5043	0.00165	0.0193	2.024	1.28
18.40	0.7061	0.00230	0.0193	1.871	1.66
47.00	0.9415	0.00308	0.0193	1.738	2.06
28.00	1.2844	0.00420	0.0193	1.634	2.64
4.40	1.7148	0.00560	0.0193	1.532	3.30
0.54	2.1519	0.00703	0.0193	1.459	3.95
0.06	2.5218	0.00825	0.0193	1.411	4.47

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.5 Cálculo de la profundidad de rompiente.

Ocurrencia (%)	H_b (m)	$H_b/g \cdot T^2$	S	d_b/H_b	d_b (m)
1.60	1.28	0.0007	0.0193	1.073	1.38
18.40	1.66	0.0009	0.0193	1.079	1.79
47.00	2.06	0.0011	0.0193	1.085	2.23
28.00	2.64	0.0014	0.0193	1.090	2.88
4.40	3.30	0.0017	0.0193	1.094	3.61
0.54	3.95	0.0021	0.0193	1.098	4.33
0.06	4.47	0.0023	0.0193	1.113	4.98

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3. Cálculo de la Longitud de Ola y Coeficiente de Shoaling.

Se tienen los siguientes parámetros iniciales conocidos.

$$T=14'' \quad g=9.81 \frac{m}{s^2} \quad L_0 = 305.76 \text{ m} \quad d_0 = 152.88 \text{ m.}$$

De los planos R-1, R-2 y R-3 obtenemos los respectivos valores de coeficientes de refracción para el oleaje en dirección Sur y Sur – Oeste, los valores son:

Dirección Sur	Dirección Sur - Oeste
$K_{R1} = 0.845060$	$K_{R1} = 1.059067$
$K_{R2} = 0.803192$	$K_{R2} = 0.953729$
$K_{R3} = 0.990740$	$K_{R3} = 0.990740$

Para el cálculo de la longitud de la ola se utiliza la fórmula (2.9) donde se asume un valor inicial de L_0 y se iterara hasta obtener el valor real, para el cálculo del coeficiente de Shoaling se utiliza la formula (2.8). Se obtiene los resultados de las Tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.

Tabla 3.6 Cálculo de la longitud de la ola.

Ocurrencia (%)	d_b (m)	L_0 (m)	L (asum.) (m)	$2\pi x d_b / L$	tanh	L (calc.) (m)
1.60	1.38	305.76	51.21	0.1689	0.1673	51.21
18.40	1.79	305.76	58.34	0.1930	0.1906	58.34
47.00	2.23	305.76	65.00	0.2157	0.2124	65.00
28.00	2.88	305.76	73.63	0.2454	0.2406	73.63
4.40	3.61	305.76	82.31	0.2758	0.2690	82.31
0.54	4.33	305.76	89.92	0.3028	0.2939	89.92
0.06	4.98	305.76	96.17	0.3253	0.3143	96.17

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.7 Cálculo del coeficiente de Shoaling.

Ocurrencia (%)	d_b (m)	k (m^{-1})	$kx d_b$	$\sinh(2kd_b)$	$\tanh(kd_b)$	$K_{shoaling}$
1.60	1.38	0.1227	0.1689	0.3443	0.1673	1.736
18.40	1.79	0.107	0.1930	0.3956	0.1906	1.629
47.00	2.23	0.0967	0.2157	0.4449	0.2124	1.546
28.00	2.88	0.0853	0.2454	0.5108	0.2406	1.455
4.40	3.61	0.0763	0.2758	0.5799	0.2690	1.380
0.54	4.33	0.0699	0.3028	0.6433	0.2939	1.324
0.06	4.98	0.0653	0.3253	0.6974	0.3143	1.283

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.4. Cálculo de la Velocidad Inducida por el Oleaje

Se tiene los siguientes parámetros iniciales obtenidos mediante ensayos y levantamientos batimétricos.

$$\begin{array}{llll}
 T=14'' & g=9.81 \frac{m}{s^2} & L_0=305.76 \text{ m} & d_0=152.88 \text{ m} \\
 r=0.05 \text{ m} & D_{50}=0.19 \text{ mm} & D_{90}=0.34 \text{ mm} & S=m=0.0193 \\
 C_0=21.5883 \frac{m}{s} & \rho=1.025 \frac{Kg}{m^3} & \rho_s=2.650 \frac{Kg}{m^3} & \phi_0=27.30^\circ
 \end{array}$$

Para el cálculo se utiliza el Método de Bijker, según la fórmula (2.4) obteniéndose los resultados presentados en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Cálculo de la velocidad inducida por el oleaje.

Ocurrencia (%)	H_b (m)	d_b (m)	$2\pi/L$ (m^{-1})	a_b (m)	f_w	$C(m^2/s)$	γ	$V(m/s)$
1.60	1.28	1.38	0.1227	3.896	0.0238	45.343	0.9320	0.6641
18.40	1.66	1.79	0.1077	4.447	0.0225	47.403	0.9268	0.9243
47.00	2.06	2.23	0.0967	4.967	0.0215	49.119	0.9217	1.214
28.00	2.64	2.88	0.0853	5.666	0.0203	51.101	0.9174	1.664
4.40	3.30	3.61	0.0763	6.396	0.0194	52.884	0.9141	2.208
0.54	3.95	4.33	0.0699	7.052	0.0187	54.306	0.9107	2.763
0.06	4.47	4.98	0.0653	7.520	0.0182	55.391	0.8985	3.233

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.5. Cálculo del Transporte de Sedimentos de Fondo

Se tienen los siguientes parámetros iniciales obtenidos mediante ensayos y levantamientos batimétricos.

$$\begin{array}{llll}
 T=14'' & g=9.81 \frac{m}{s^2} & L_0=305.76 \text{ m} & d_0=152.88 \text{ m} \\
 r=0.05 \text{ m} & D_{50}=0.19 \text{ mm} & D_{90}=0.34 \text{ mm} & S=m=0.0193 \\
 C_0=21.5883 \frac{m}{s} & \phi_0=27.30^\circ & \rho=1.025 \frac{Kg}{m^3} & \rho_s=2.650 \frac{Kg}{m^3} \\
 \Delta=1.59 & W=0.03 \frac{m}{s} & B=5.0 & k=0.4
 \end{array}$$

Para el cálculo del transporte de sedimento de fondo se utiliza el Método de Bijker, según la fórmula (2.5) obteniéndose los resultados presentados en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Cálculo del transporte de sedimentos de fondo.

Ocurrencia (%)	H _b (m)	d _b (m)	V (m/s)	u _b (m/s)	ε	C' ₁ (m ² /s)	μ	S _b (m ³ /s/m)
1.60	1.28	1.38	0.6641	1.720	0.3566	84.358	0.5375	2.658E-05
18.40	1.66	1.79	0.9243	1.954	0.3624	86.418	0.5485	4,292E-05
47.00	2.06	2.23	1.214	2.172	0.3669	88.134	0.5573	6,040E-05
28.00	2.64	2.88	1.664	2.460	0.3715	90.115	0.5671	8,610E-05
4.40	3.30	3.61	2.208	2.755	0.3753	91.899	0.5755	1,155E-04
0.54	3.95	4.33	2.762	3.013	0.3781	93.321	0.5819	1.440E-04
0.06	4.47	4.98	3.233	3.193	0.3809	94.406	0.5867	1,670E-04

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.6. Cálculo del Transporte de Sedimentos en Suspensión

Se tienen los siguientes parámetros iniciales obtenidos mediante ensayos y levantamientos batimétricos.

T=14"	$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$	L ₀ = 305.76 m	d ₀ = 152.88 m
r = 0.05 m	D ₅₀ = 0.19 mm	D ₉₀ = 0.34 mm	S = m = 0.0193
C ₀ = 21.5883 $\frac{m}{s}$	∅ ₀ = 27.30 °	ρ = 1.025 $\frac{Kg}{m^3}$	ρ _s = 2.650 $\frac{Kg}{m^3}$
Δ = 1.59	W = 0.03 $\frac{m}{s}$	B = 5.0	k = 0.4

Para el cálculo se utilizó el Método de Bijker, según la fórmula (2.6) y (2.7), con los resultados obtenidos se tiene la relación S_s/S_b, los resultados se presentan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Cálculo del transporte de sedimentos en suspensión.

Ocurrencia (%)	H _b (m)	d _b (m)	V (m/s)	u _b (m/s)	ε	τ _c	Z ⁺	A	S _s /S _b
1.60	1.28	1.38	0.6641	1.720	0.3566	2.156	1.384	0.036	2.60
18.40	1.66	1.79	0.9243	1.954	0.3624	3.823	1.091	0.028	3.80
47.00	2.06	2.23	1.214	2.172	0.3669	6.143	0.888	0.022	7.10
28.00	2.64	2.88	1.664	2.460	0.3715	10.665	0.693	0.017	13.50
4.40	3.30	3.61	2.208	2.755	0.3753	17.539	0.550	0.014	24.50
0.54	3.95	4.33	2.762	3.013	0.3781	26.026	0.456	0.012	35.50
0.06	4.47	4.98	3.233	3.193	0.3809	34.265	0.400	0.010	51.20

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.7. Cálculo del Transporte de Sedimentos Total

Con todos los cálculos realizados se obtiene el transporte de sedimentos total en la zona de rompiente como la suma del transporte de sedimentos de fondo y suspensión.

Ecuación (2.10):

$$S = S_b + S_s$$

S : Transporte de sedimentos totales.

S_b : Transporte de sedimentos de fondo.

S_s : Transporte de sedimentos en suspensión.

Tabla 3.11 Cálculo del transporte de sedimentos totales.

Ocurrencia (%)	H _b (m)	d _b (m)	Long. (m)	S _b (m ³ /s/m)	S _s (m ³ /s/m)	S (m ³ /s/m)	S ^r (m ³ /s)	S _{total} (m ³ /s)
1.60	1.28	1.38	72,15	2.65E-05	6.91E-05	9.56E-05	6.90E-03	0.00011046
18.40	1.66	1.79	21.45	4.29E-05	1.63E-04	2.06E-04	4.42E-03	0.00081312
47.00	2.06	2.23	23.00	6.04E-05	4.29E-04	4.89E-04	1.12E-02	0.00529088
28.00	2.64	2.88	34.05	8.61E-05	1.16E-03	1.24E-03	4.25E-02	0.01191168
4.40	3.30	3.61	38.18	1.15E-04	2.83E-03	2.94E-03	1.12E-01	0.00494866
0.54	3.95	4.33	38.23	1.44E-04	5.11E-03	5.25E-03	2.01E-01	0.00108529
0.06	4.47	4.98	34.94	1.67E-04	8.56E-03	8.72E-03	3.05E-01	0.00011830

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.12 Transporte de sedimentos en (m3/año).

Ola Rompiente, H _b	Profundidad Rompiente, d _b	S _{total} (m3/s)	S _{total} (m3/año)
0.75	1.38	0.00011046	3,483.46
1.05	1.79	0.00081312	25,642.55
1.40	2.23	0.00529088	166,853.19
1.91	2.88	0.01191168	375,646.74
2.55	3.61	0.00494866	156,060.94
3.20	4.33	0.00108529	34,225.72
3.75	4.98	0.00011830	3,730.71

TOTAL (m3/seg.)	0.02434310
Total Anual (m3/año)	767,684.000

Finalmente la capacidad de transporte de sedimentos anual en la zona de estudio es:

$$S = 767,684.000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

La variación de la velocidad con la altura de rompiente H_b , se presenta en la Tabla 3.11, el máximo valor del transporte de sedimentos ocurre con un valor de H_b igual a 1.91 m.

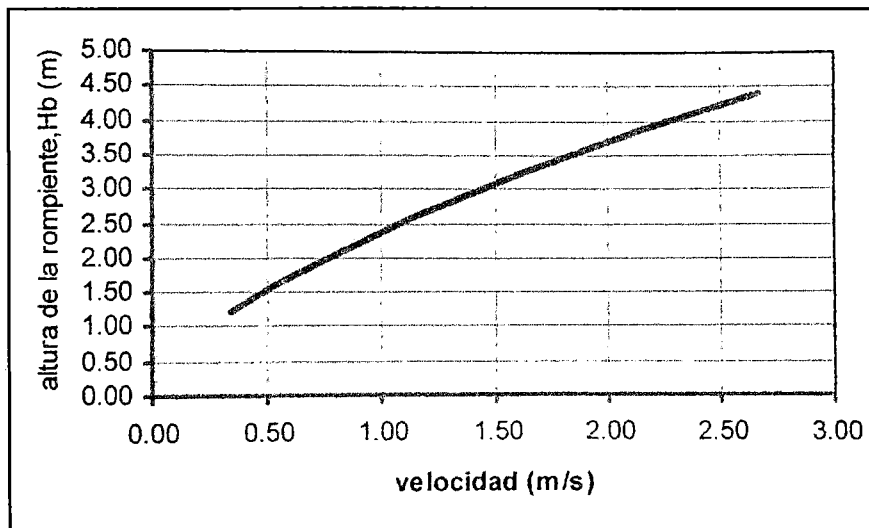


Figura 3.3 Variación de la Velocidad vs. Altura de rompiente.

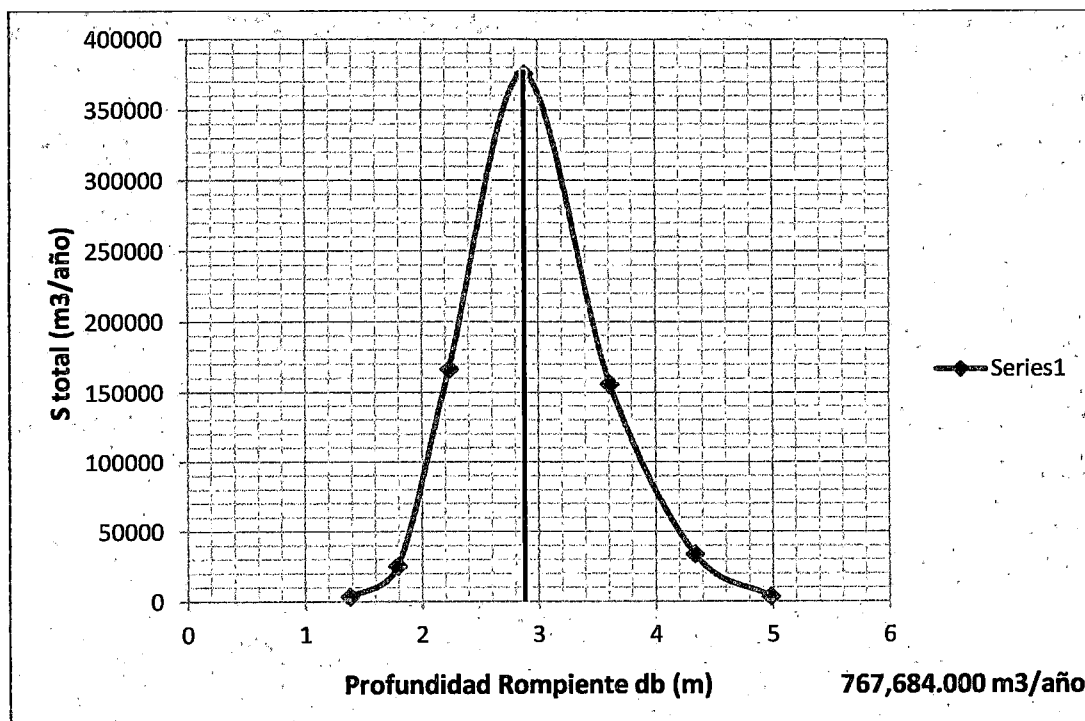


Figura 3.4 Transporte del sedimento en la Rompiente.

La información del transporte de sedimentos por profundidades nos permite definir el límite de la profundidad a la que puede emplazarse un diseño de protección sin interrumpir el transporte. En el diseño de un espigón se propone llegar a una profundidad máxima de 2.23 m y permitir que el transporte de sedimento resultante fluya hacia el norte.

Todo esto se da, porque de acuerdo con los cálculos de la capacidad de transporte de sedimentos el 79.94 % del transporte de sedimentos se origina entre la batimétrica -2.23 m y -4.33 m, dentro de la zona de rompiente.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS MORFOLÓGICO Y DISEÑO DE PROTECCIÓN COSTERA.

4.1. ESTUDIO DE REFRACCIÓN DE OLAJE

En los planos R-1, R-2 y R-3 que muestran las batimétricas en Aguas profundas, Aguas Intermedias y Aguas poco profundas donde determinamos los respectivos coeficientes de refracción.

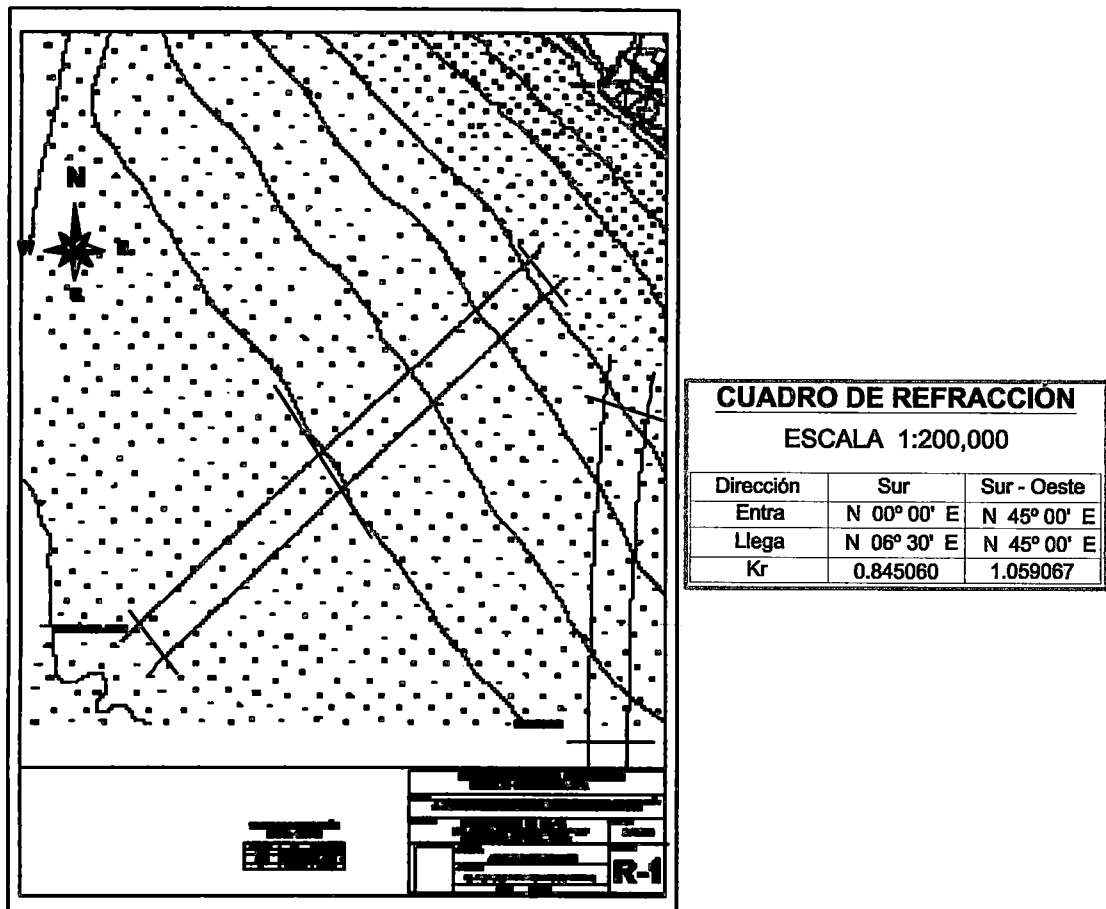


Figura 4.1 Refracción de las olas en aguas profundas, T=14”.

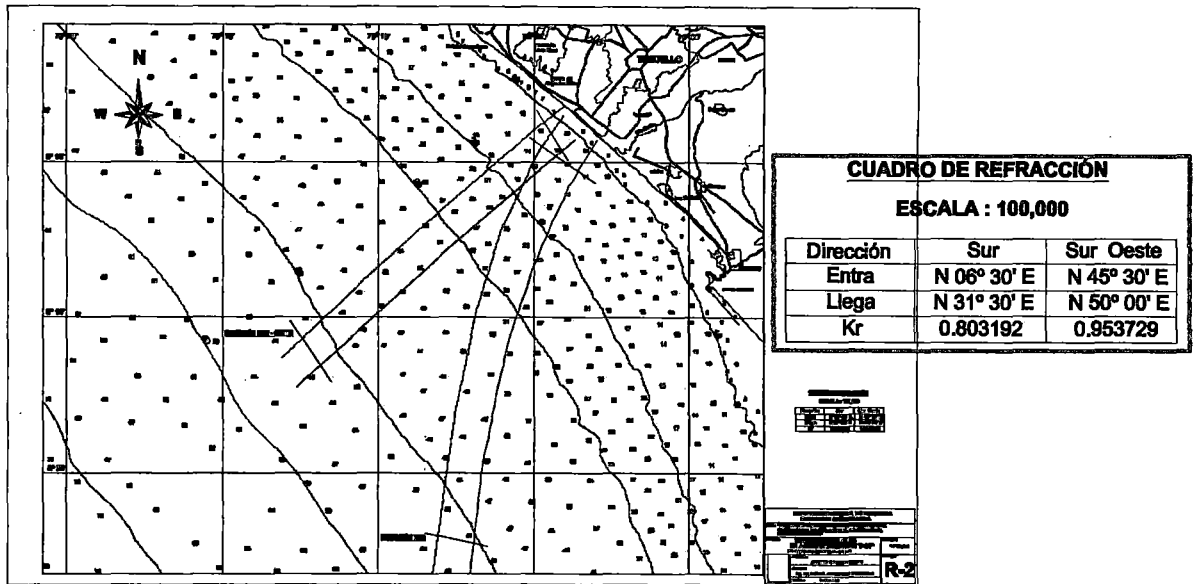


Figura 4.2 Refracción de las olas en aguas intermedias, T=14".

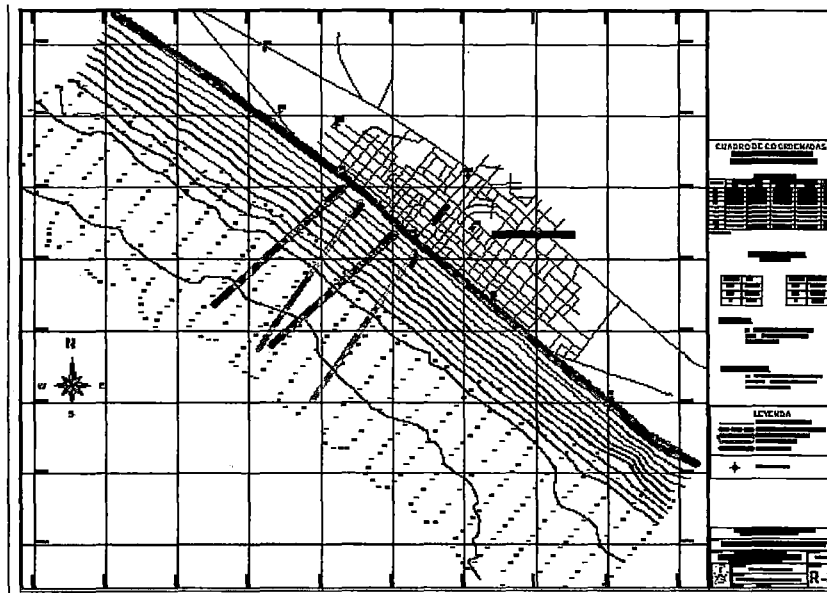


Figura 4.3 Refracción de las olas en aguas poco profundas, T=14".

CUADRO DE REFRACCIÓN			
ESCALA 1: 2,500			
Dirección	Sur	Dirección	Sur - Oeste
Entra	N 38° 05' E	Entra	N 52° 30' E
Llega	N 43° 28' E	Llega	N 59° 00' E
Kr	0.89074	Kr	0.99074
DIRECCIÓN SUR			
KrT = Kr 200,000 x Kr 100,000 x Kr 2,500			
KrT Sur = 0.845060 x 0.803182 x 0.99074			
KrT Sur = 0.672483			
DIRECCION SUR - OESTE			
KrT = Kr 200,000 x Kr 100,000 x Kr 2,500			
KrT Sur-Oeste = 1.059067 x 0.953729 x 0.99074			
KrT Sur-Oeste = 1.0007443			

Figura 4.4 Cálculo de los coeficientes de refracción.

Dirección Sur

$$K_{R1} = 0.845060$$

$$K_{R2} = 0.803192$$

$$K_{R3} = 0.990740$$

Dirección Sur - Oeste

$$K_{R1} = 1.059067$$

$$K_{R2} = 0.953729$$

$$K_{R3} = 0.990740$$

4.2. ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Análisis de imágenes satelitales en la zona delimitada por el río Moche y 5km. hacia el norte fueron adquiridas por TELEMATICA en el año 2013 y G-MATIC SAC en el año 2007 gracias a la ayuda de estas imágenes se realizaron los avances del perfil costero.

Para poder realizar los análisis se eligió tres grupos de imágenes mostrados en los planos del Anexo, para dar mayor precisión a los resultados.

4.2.1. PROCEDIMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Para el proceso se tuvo que comprar una imagen satelital de la empresa TELEMATICA S.A. del año 2013 de la zona de Buenos Aires – Trujillo (25.38 km²). Se requería de una imagen satelital actual para poder comparar los avances del perfil costero desde el año 1978 hasta la actualidad.

TELEMATICA S.A. es una empresa peruana fundada en el año 1986, dedicada a la provisión de software y soluciones avanzadas, ofreciendo igualmente servicios de asesoría, desarrollo, implementación y puesta en marcha de proyectos empleando tecnología SIG integrada a dispositivos especializados y software afín.

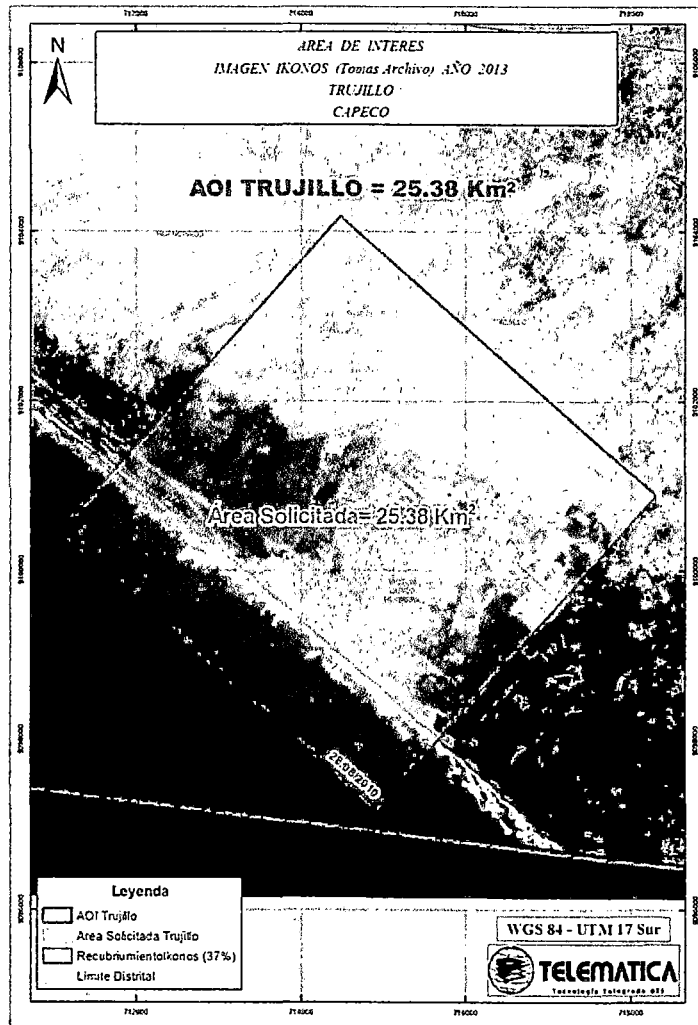


Figura 4.5 Imagen Satelital de alta resolución Ikonos, Nivel Geo, 1MT.

Las imágenes satelitales no son proporcionadas directamente a personas naturales, por ello en convenio del Instituto CAPECO me fue factible la adquisición de la imagen satelital (Figura 4.5):




“IMAGEN SATELITAL DE ALTA RESOLUCION IKONOS, NIVEL GEO, 1MT. DE RESOLUCION GEOREFERENCIADO POR UN AREA TOTAL DE 25.37 Km² – AREA DE INTERES TRUJILLO”

Toda imagen satelital tiene extensiones de 25 km² (cuadrado de 5km de cada lado). La imagen satelital cotizada tiene un área de 25.38km² aproximadamente; dicha área tiene extensiones mayores a las requeridas

y se tuvo que cortar hasta obtener una superficie (12.489 km²) donde se visualiza exactamente el perfil costero y de la zona de Buenos Aires – Trujillo.

La imagen satelital comprada a TELEMATICA S.A. tiene las siguientes características:

BANDAS:

- Red (Band-1), 
- Green (Band_2) 
- Blue (Band_3). 

	
<p>ORDEN DE PEDIDO</p>	
PRODUCTO SOLICITADO: IKONOS / Nivel Geo	
COMBINACION DE BANDAS REQUERIDA: Color: 4-Bands, 1-File	
TIPO DE IMAGEN: De Archivo > 30 días	
ANGULO DE TOMA: De 60° a 90°	
FECHAS o IDs DE LAS ESCENAS SELECCIONADAS (SOLO PARA IMAGENES DE ARCHIVO) 2010082815551590000011632098	
PARAMETROS DEL PRODUCTO – Completar	
Proyección del Mapa: UTM Zona: 17s (Ejemplo: 18s ó 19s)	
Datum / Elipsoide: WGS84	
Dynamic Range Adjustment (DRA): SI	
Bits / Pixel : 11 bits	
Método de Resample: Convolución Cúbica (Cubic Convolution)	
Medio magnético de entrega : DVD	

Tabla 4.1 Cuadro de la Orden de Pedido TELEMATICA SA.

Luego con ayuda del programa ArcMap versión 9.2 y el programa Civil 3D se procedió a georeferenciar los lotes de Trujillo y la imagen satelital.

Una vez obtenida la georeferenciación se dio tres bandas y se procedió de la siguiente manera:

- ✓ Primero exportamos la imagen del DVD 20131118121428_00002 para crear un shape.
- ✓ Tenemos que obtener la ubicación de 4 puntos exactos de mi imagen satelital para ello esos puntos se encuentran en un Excel llamado "puntos de control" con ubicación de Este y Norte.
- ✓ Damos un sistemas de coordenadas a la hoja de ArcMap, la zona WGS 1984 UTM zona 17 S.
- ✓ Estos puntos de control se exportan desde el ArcMap se agregan y especifica las coordenadas que se va a ingresar, luego ya se obtienes los cuatro puntos de control.
- ✓ Esos puntos de control se exportan como un shape, se guarda y se obtiene el shape de puntos de control, el siguiente paso es agregar la imagen 20131118121428_00002 del DVD.
- ✓ Luego de agregada la imagen 20131118121428_00002 para poder visualizar los puntos de control y la imagen satelital es ir al menú georeferencing e ir a "Fit To Display" y se puede ver que tiene la imagen y el shape de puntos en una misma área para poder trabajar.
- ✓ Utilizamos la herramienta agregar puntos de control, y ubicamos los puntos del Excel de la imagen, y es importante tener en cuenta que la ubicación de los puntos de control se realizan en el sentido horario.

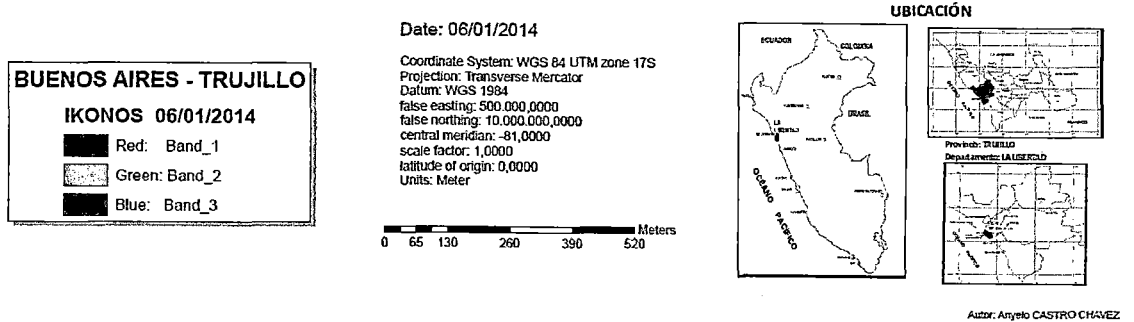


Figura 4.6 Imagen de Bandas, Coordenadas y Localización.

Acabados de la Imagen Satelital

- ✓ Se entra a propiedades y se le da un borde 0.5, también se le da un fondo blanco y un marco color plomo.
- ✓ Se crea un mapa de localización y ubicación, y se ubica en la parte inferior derecha.
- ✓ Se agrega Coordinate System, Projection, Central Meridian, Latitude of origin y Units, y se ubica en la parte central.
- ✓ Las bandas Band_1, Band_2 y Band_3 se ubican en la parte inferior izquierda.

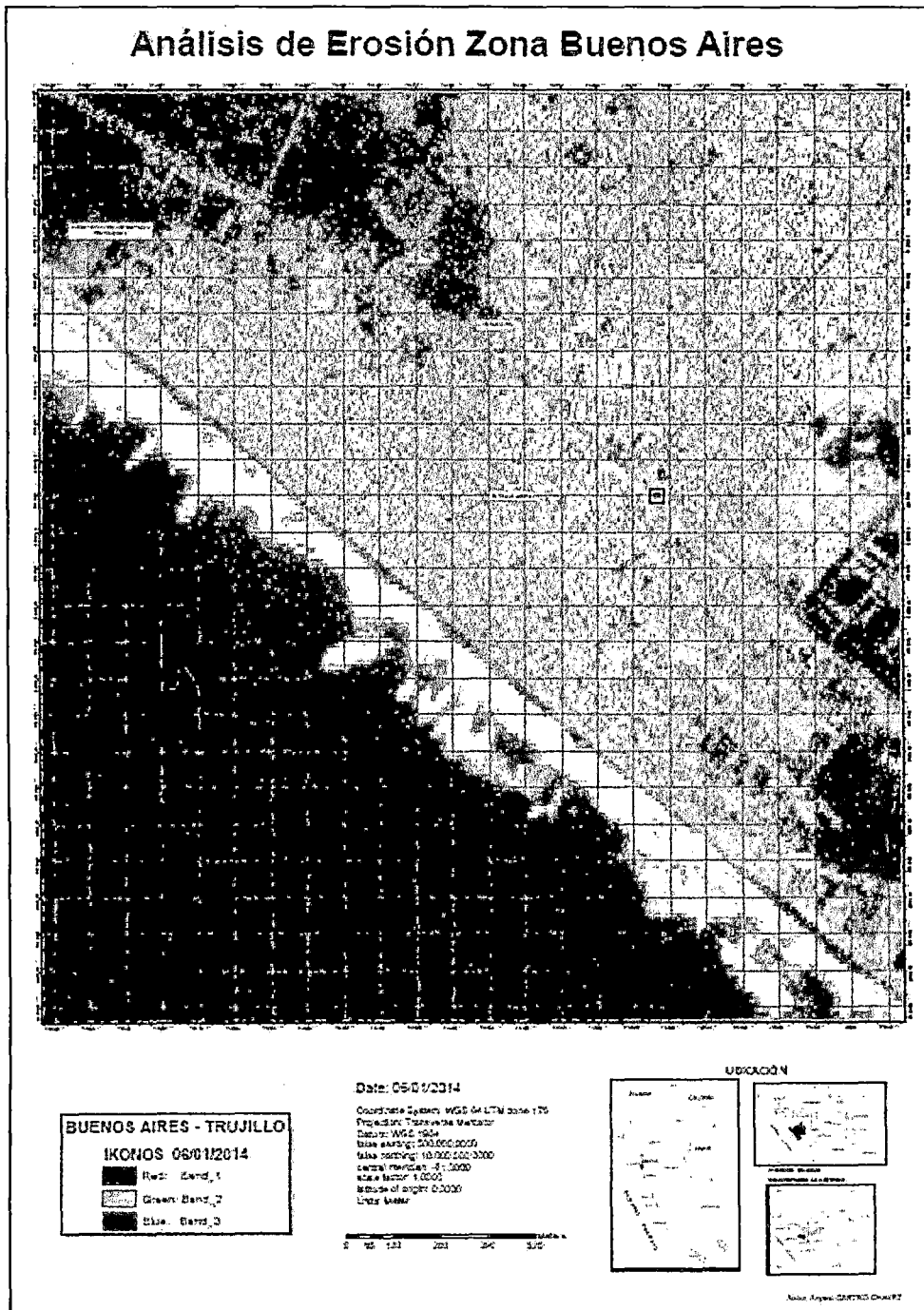


Figura 4.7 Imagen Satelital Buenos Aires – Trujillo – 2014.

El segundo corresponde a la base histórica (Figura 4.8). Para ello se optó imágenes Landsat, ya que éstas (que es de resolución espacial media) dispone del mayor archivo histórico de imágenes y permiten tener una visión más clara de los cambios ocurridos.

Estas se realizaron para elevar la resolución de las imágenes históricas, dentro de lo posible, al combinarlas utilizando el algoritmo HSV en el proceso denominado "IMAGEN PANSHARPENING". También se utilizaron como base para elaborar la cartografía la rectificación de las imágenes de menos resolución, utilizando el método denominado "IMAGE TO IMAGE", para ello se identificaron un mínimo de 20 puntos de control (CP) y un máximo de 50.

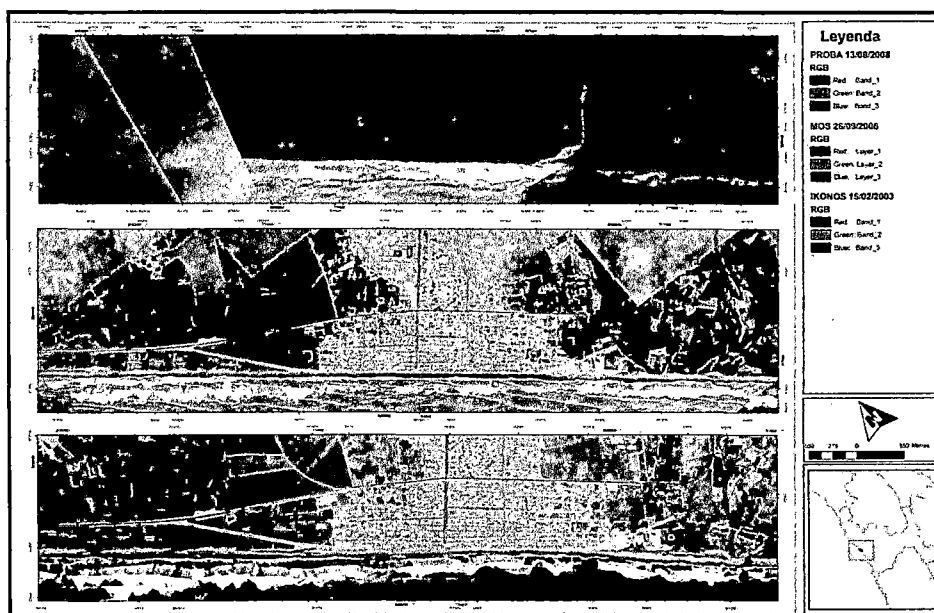


Figura 4.8 Erosión en la zona costera de Buenos Aires – Trujillo.

4.2.2. RESULTADO DE LAS IMÁGENES

Luego del trabajo del ArcGis versión 9.2 y el Civil 2010 se concluye que la pérdida en m² del perfil costero es de 13,160.98 m², esto se da del año 2009 al 2014 (total 5 años), ver en ANEXO Plano B-1.

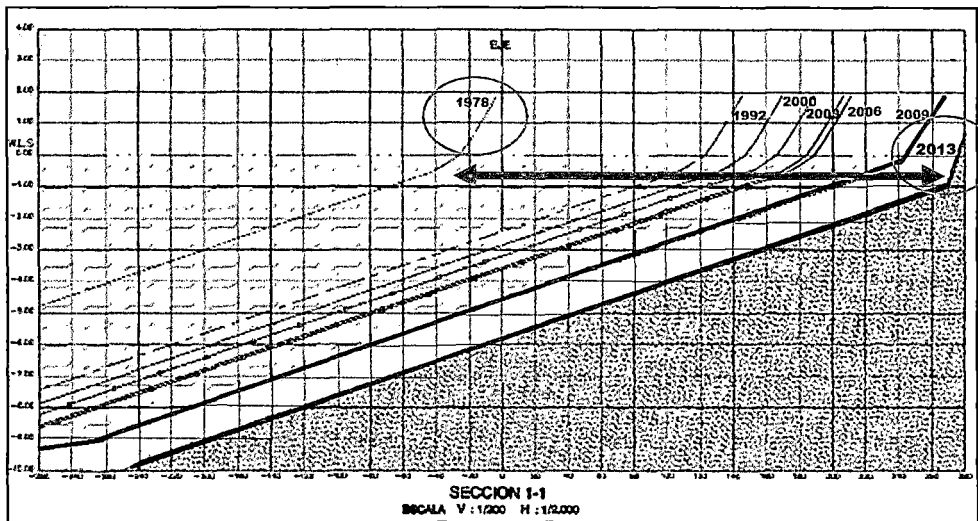


Figura 4.9 Erosión costera de la playa Buenos Aires, Trujillo.

PERDIDAS DE PERFIL COSTERO (m ²)	
1978 - 2014	
AÑOS	ÁREA
1978 - 1981	23,638.93 m ²
1981 - 1992	4,628.78 m ²
1992 - 2000	3,779.70 m ²
2000 - 2003	3,950.49 m ²
2003 - 2006	968.26 m ²
2006 - 2009	11,840.82 m ²
2009 - 2014	13,160.98 m ²

Tabla 4.2 Perdida del Perfil Costero (m²).

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN COSTERO PARA MITIGAR EL PROCESO EROSIVO

Los espigones se construyen con roca de manera que interrumpa el transporte de sedimentos para conformar el sistema de protección.

La cantidad del transporte de sedimentos que es obstruida depende de la longitud de los espigones.

El plano R-3 muestran la refracción del oleaje con un periodo de 14", en las cercanías del área de interés, para las direcciones S y SO (en aguas profundas) respectivamente y se realizaron sobre el levantamiento topográfico batimétrico actual.

En los estudios de refracción se ha llevado las ortogonales del oleaje hasta la batimétrica -2.5 m, que es donde estará construido el cabezo del espigón, habiéndose obtenido los coeficientes de refracción $K_r=0.99074$ y 0.99074 para las direcciones S y SO respectivamente.

Se ha hecho intervenir la influencia del oleaje que se aproxima al emplazamiento de la estructura a proyectar. La mayor ocurrencia de olas son las de tipo "Swell", provenientes de las dirección S y SO.

Tomando la información de la Tabla 2.6 (Distribución de Frecuencias Acumuladas – Sailing Directions), se ha ponderado la influencia del oleaje según cada dirección obteniéndose la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Coeficiente refracción acumulada

Dirección	Frecuencia Acumulada	K_r
Sur	93.30	0.99074
Sur Oeste	23.70	0.99074
	Coeficiente Ponderado	0.9969

Fuente: Véase [4]

El coeficiente de refracción ponderado resultante es $K_r= 0.9969$, para emplazamiento del cabezo del espigón.

Para calcular el coeficiente de bajos (K_s) se ha calculado previamente la longitud

$$K_{SH} = \sqrt{\frac{1}{(\tanh kd_b) \left(1 + \frac{2kd_b}{\sinh 2kd_b}\right)}} \quad ; \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d_b}{L}\right) \quad ; \quad k = \frac{2\pi}{L}$$

Teniendo en consideración la condición de profundidad poco profunda. De este modo se ha calculado:

$$L_{2.5} = 110 \text{ m} \quad \text{y} \quad K_s = 1.546 \text{ (ver Tabla 3.7)}$$

La transformación del oleaje de aguas profundas a la profundidad de -2,23 m, frente al cabezo del espigón es:

$$H_{2.23 \text{ m}} = H_o * K_r * K_s = H_o * 0.9969 * 1.5546 = H_o * 1.54978$$

Siendo: $H_{-2.23 \text{ m}}$ = altura de la ola en la profundidad -2.23 m.

H_o = altura de la ola en aguas profundas.

4.3.1. ESTABLECIMIENTO DE LA OLA DE DISEÑO

La ola de diseño para aguas profundas ha sido tomada de la macro distribución (H_s) mostrada en la Figura 2.9.

En consideración a lo anteriormente detallado, se ha considerado para el cabezo del espigón la probabilidad de que en un periodo de vida útil de 10 años, se producirá una ola que será excedida solo un día, y para el cuerpo del espigón la probabilidad de un periodo de vida útil de 5 años, se producirá una ola que será excedida solo un día.

Se tiene:

$$P(\text{cabezo}) = 100/(1.5*360) = 18.51 \% \approx 19\%$$

$$P(\text{cuerpo}) = 100/(1*360) = 27.77 \% \approx 28\%$$

De acuerdo a la Figura 2.9, estos porcentajes corresponden a las alturas de ola significativa en aguas profundas, de 1.70 m para el cabezo y de 1.30 m para el cuerpo de la estructura.

$$H_{o(\text{cabezo})} = 1.70 \text{ m}$$

$$H_{o(\text{cabezo})} = 1.30 \text{ m}$$

Considerando los efectos de refracción y de bajos, estas olas a la profundidad de -2.23 m serán:

$$H_{-2.23 (\text{cabezo})} = 1.90 * 1.54978 = 2.945 \text{ m}$$

$$H_{-2.23 (\text{cuerpo})} = 1.70 * 1.54978 = 2.634 \text{ m}$$

Por lo tanto, la ola de diseño frente al cabezo de batimétrica -2,23m, es de 2.945 m para el diseño del cabezo y 2.634m para el diseño del cuerpo de la estructura.

La profundidad de la ola rompiente es mostrada en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Altura de la ola rompiente y profundidad de rompiente.

H_b (m)	d_b (m)
2.945	4.12
2.634	3.74

Fuente: Véase [4]

Esto quiere decir que según los cálculos, la ola de diseño romperá a la profundidad de 3.74 m y la altura de la ola al romper ser de 2.634 m, por lo tanto la ola de diseño no romperá sobre el talud del cabezo del espigón.

4.3.2. DISEÑO DEL ESPIGÓN

Peso de los Elementos de Coraza, las Figuras 4.10 y 4.11 muestran la variación del peso del elemento de coraza (W) y del cuerpo con el coeficiente de daño (K_d) y la altura de ola (H) de acuerdo a la fórmula de Hudson.

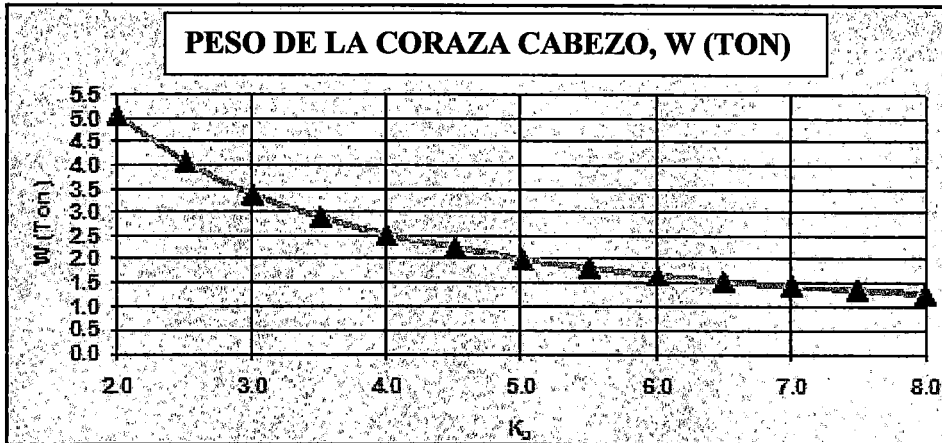


Figura 4.10 Gráfico para determinar el peso de roca en la coraza cabezo.

Se ha asumido para el cabezo un coeficiente de daño $K_d = 3.5$ y para el cuerpo del espigón se considero un coeficiente de daño $K_d = 3.5$.

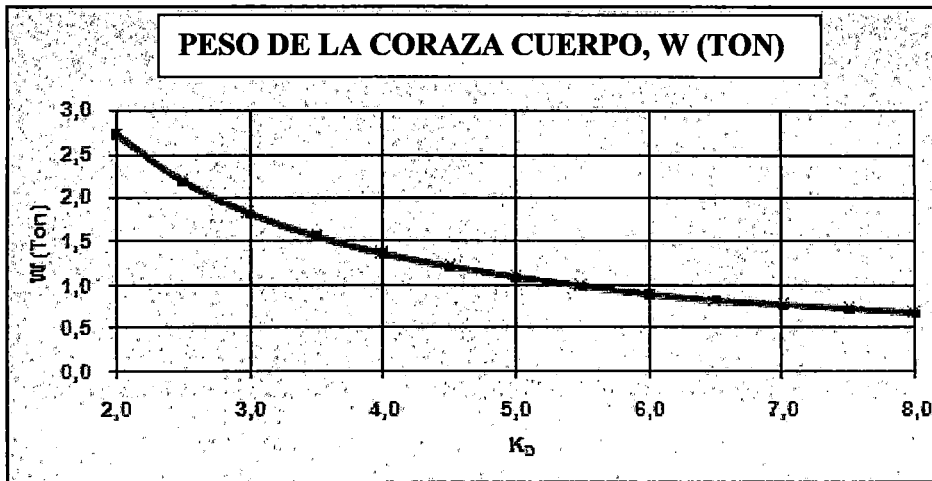


Figura 4.11 Gráfico para determinar el peso roca en la coraza del cuerpo.

Se ha obtenido los resultados mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Peso de las rocas del cabezo y cuerpo.

Elemento	Ola de Diseño (m)	Coefficiente de Daño K_d	$W_{(t)}$
CABEZO	2.631	3.5	2.90
CUERPO	2.015	3.5	1.56

Fuente: Véase [4]

El peso de la roca es calculado por la fórmula de Hudson:

$$W = \frac{H^3}{K_D (S_s - 1)^3 \cot \theta}$$

Dónde:

- W : Peso de un elemento en la coraza, en kg-f
- γ_s : Peso específico del elemento de coraza, en $\text{kg-f/m}^3 = 2,650$
- H : Altura de la ola de diseño, en m.
- K_D : Coeficiente relativa, adimensional = 2.585
- θ : Ángulo del talud de la estructura (con la horizontal), en grados
 $\cot \theta = 1.5$
- $\gamma_{\text{agua mar}}$: 1025 kg/m^3

W representa el peso promedio por unidad de elemento de coraza.

Se recomienda la siguiente variación en los elementos de la coraza o capa primaria:

Cabezo (3 capas): $2.20 \text{ ton} < W < 3.70 \text{ ton}$

Cuerpo (3 capas): $1.25 \text{ ton} < W < 2.00 \text{ ton}$

En la capa secundaria:

Capa secundaria con un peso entre $218 \text{ kg} < W < 360 \text{ kg}$.

El uso de filtro no se consideró, porque la energía del oleaje al llegar al emplazamiento del espigón se ha disipado en el cabezo que considera 3 capas

de roca de $D_{50} = 2.90$ t. Además hay que considerar que existe transporte de sedimentos de Sur a Norte de la costa.

4.3.3. NIVEL DE TRABAJO, TALUDES

En Salaverry el rango de mareas es del orden de 1.20 m, tomando los niveles de -1.10m MLWS (valor mínimo) y +1.10m MLWS (valor máximo). La cota de inicio en el tramo horizontal debe corresponder al nivel de pleamar máxima es decir a la cota del nivel de la línea de alta marea (LAM) que tiene un valor de 1.88 m, esta cota esta sobre el nivel medio de bajamares de sicigia ordinaria, este tramo es horizontal en la costa (berma), hasta donde se requiera anclar el espigón para evitar que la acción del mar lo separe de la costa.

El tramo intermedio del espigón debe ser aproximadamente paralelo a la pendiente de la playa y llegar a la elevación de -2.23m.

Los taludes recomendados son:

- 1:1.5 para el cuerpo del espigón
- 1:2.0 para el cabezo.

Ambos taludes están en concordancia con el talud del ángulo de reposo del material de enrocado, que se considera igual a 40° . En el caso del espigón los ángulos varían entre 27° a 33° , que es menor al ángulo de fricción interna de $40-45^\circ$.

4.3.4. SECCIÓN TÍPICA DEL ESPIGÓN

La Figura 4.12 muestra la sección longitudinal típica del espigón y la Figura 4.13 muestra la sección transversal.

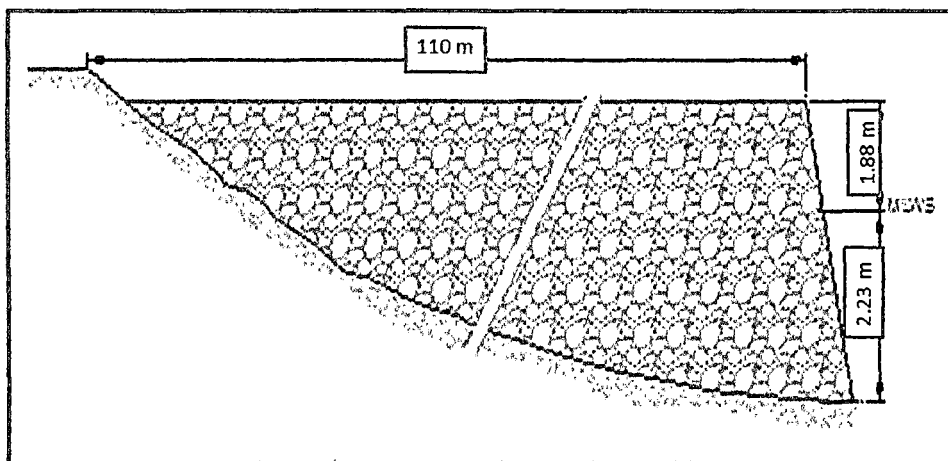


Figura 4.12 Sección Longitudinal

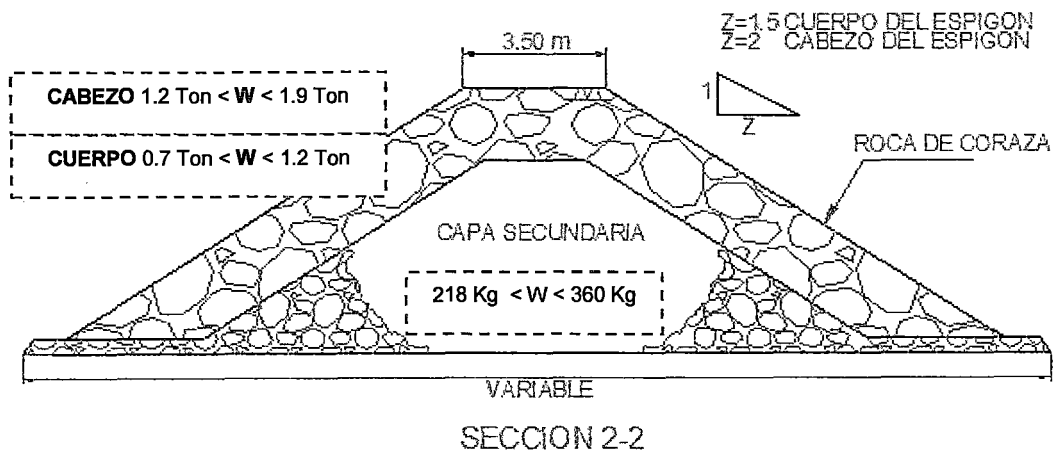


Figura 4.13 Sección transversal del espigón.

Los volúmenes de roca empleado en la construcción del espigón son mostrados en la Tabla 4.6 teniendo un total de 7, 105 m³ de roca.

Tabla 4.6 Peso y volumen de roca a ser empleado en la construcción del espigón.

Peso de Roca	Volumen, m ³
218 kg a 360 kg	4,543
1.25 t a 2.00 t	2,040
2.20 t a 3.70 t	522

Fuente: Véase [4]

Es posible que al norte del espigón la erosión puede continuar, por lo tanto deben evitarse las construcciones cercanas a la playa y además que la construcción del espigón debe estar al norte de la playa de Buenos Aires. La ubicación del emplazamiento es mostrado en la Figura 4.14, con coordenadas (9095665.63, 718157.64).

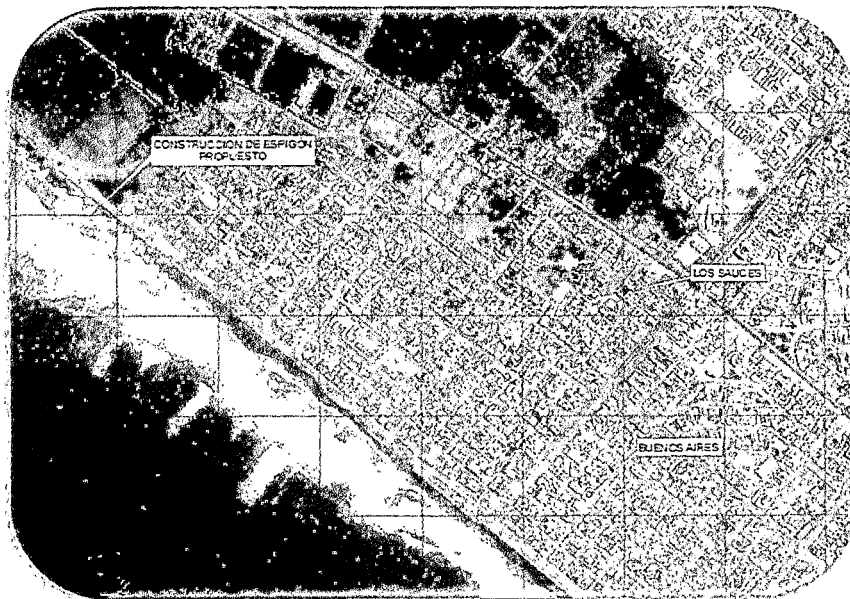


Figura 4.14 Ubicación del espigón propuesto en la playa Buenos Aires - Trujillo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Según el estudio realizado en la presente tesis en los últimos 5 años (2009-2014) se perdió una extensión aproximada de 13,000.00 m² en Buenos Aires (12.08 km al norte del T.P. Salaverry), la variación de la línea de la playa en el 2018 será mucho mayor y dañaran a las viviendas, carreteras y malecones mientras en el sur seguirá ocurriendo sedimentación.
- La profundidad a la que debe llegar el espigón es -2.23 m, la sección transversal es trapezoidal con los elementos de coraza y capa primaria de rocas cuyo peso deben estar entre los rangos de 2.18 a 3.63 toneladas para el cabezo colocados en tres capas, mientras que para el cuerpo entre 1.17 a 1.95 toneladas colocadas en dos capas. Los taludes están en la relación 1:2 en el cabezo y 1:1.5 en el cuerpo del espigón.
- El frente marítimo presenta características de inestabilidad marina, en la zona comprendida entre Salaverry y Buenos Aires. Este impacto se debió a la instalación del Terminal Marítimo de Salaverry que, a partir de 1956, inició la construcción de una serie de espigones y rompeolas con el propósito de facilitar las operaciones portuarias; y estas estructuras bloquearon los sedimentos que alimentaban las playas hacia el norte y, sin estos aportes la playa tiene un retroceso costero.
- El grado de equilibrio de una playa puede modificarse cuando en ella se construyen obras de ingeniería. Si se comprende el grado de equilibrio que tiene la playa y los procesos que intervienen en él, se pueden construir obras previendo sus consecuencias y diseñando las obras complementarias que tienden a que la alteración introducida sea mínima.
- Los procesos costeros son el resultado de la interacción entre el sedimento y oleaje principalmente, aunque hay que añadir también las corrientes, mareas, vientos, o configuración batimétrica. Dependiendo de

ellos, las playas pueden estar en equilibrio o bajo un proceso erosivo o de sedimentación.

- En el Norte del puerto en la zona Las Delicias y Buenos Aires, se ha producido un retroceso de la línea de la costa por falta de aporte de sedimentos retenidos por el rompiente y el molón retenedor de arena, por ello las zonas con abrigo natural son ideales para la construcción de un puerto. Por ello el estudio y evaluación para la construcción de un puerto son muy importantes para no alterar el equilibrio de la costa.

- El arenamiento que se produce en el puerto de Salaverry hace necesario un permanente dragado para mantener las condiciones operativas del puerto.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la construcción de espigones en dirección opuesta al molón retenedor de arena para aminorar el impacto negativo que causa este; debido a que se observa que en los últimos 5 años (2009 - 2014) la zona de Buenos Aires perdió un área de 13,160.98 m² en total. Por ello se muestra un diseño de espigón a construir cuya construcción favorecerá notablemente a la zona Buenos Aires principalmente.
- Todas las estructuras que se construyan dentro del mar necesitaran un estudio más detallado en el sentido evolutivo marítimo y de la dinámica costera como también conocer los cambios históricos que ocurrieron, para evitar problemas a futuro.
- Deben de crearse unas demarcadoras en zonas donde esté prohibido cualquier tipo de obra portuaria, mientras que en otras deben permitirse pequeñas construcciones que no produzcan daños en el perfil costero, para ello se deberá hacer un estudio costero y establecer áreas de preservación.
- Evaluar cuantos espigones deben colocarse para cumplir con la protección costera y también evaluar la distancia de separación que se colocará cada espigón, con ello, mitigar el proceso erosivo.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Grupo N°3 – Estudio de Pre Inversión a Nivel Perfil – “*Protección de la Costa Norte del Puerto Salaverry*” – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería – Perú, 2010.
- [2] Agencia de Promoción de la Inversión Privada – PROINVERSIÓN, “*Proyectos de Inversiones Estratégicas*” – Terminal Portuario de Salaverry [En línea] <http://www.proyectosapp.pe>.
- [3] Informe Técnico – “*Estudio en Modelo Hidráulico del Arenamiento del Puerto de Salaverry*” – Laboratorio Nacional de Hidráulica, Informe técnico No. 3-040, Junio – Perú, 1981.
- [4] 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 (Mg.). Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú, 2009.
- [5] Macdonel Martinez, Guillermo/ Pindter Vega, Julio/ Herrejón de la Torre, Luis/ Pizá Ortiz, Juan/ Lopéz Gutiérrez, Hector; Ingeniería Marítima y Portuaria; Ediciones Alfaomega; Mexico 1999.
- [6] “International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (I.S.S.M.F.E.) y por “International Association of Dredging Companies (A.I.D.C.) e impresos por P.I.A.N.A. en el boletín N° 11, vol. 1 del año 1972, Ediciones Alfaomega; México 1999.
- [7] Gobierno Regional de la Libertad; Informe Técnico N° 017-2010-GR-LL/CR Estudio para la prevención de Desastres en el Ámbito Trujillo Mar; La Libertad – Perú 2010.

- [8] Instituto de Investigaciones Eléctricas –Manual de Diseño de Obras Civiles - “A.2.13 Hidráulica Marítima: Recomendaciones y Comentarios” Comisión Federal de electricidad – México, 1983.
- [9] Volúmenes dragados con equipos de ENAPU en puerto de Salaverry, periodo 1990-2007 (Volumen en m3). Registro ENAPU S.A.
- [10] DHN Dpto. de Medio Ambiente, división de Meteorología – Dirección de Viento y Velocidad de Viento, Vientos Máximos Absolutos de la Estación Salaverry.

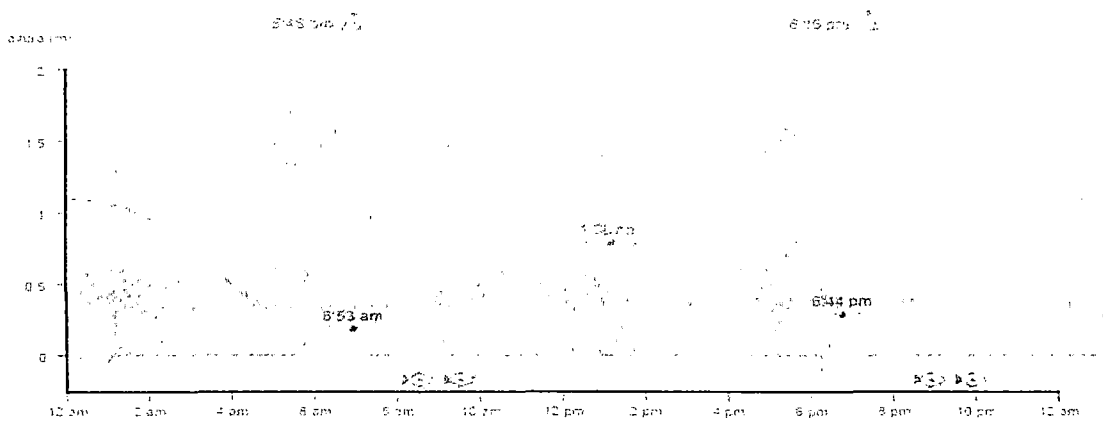
ANEXOS

TABLA DE MAREAS Y TABLAS SOLUNARES

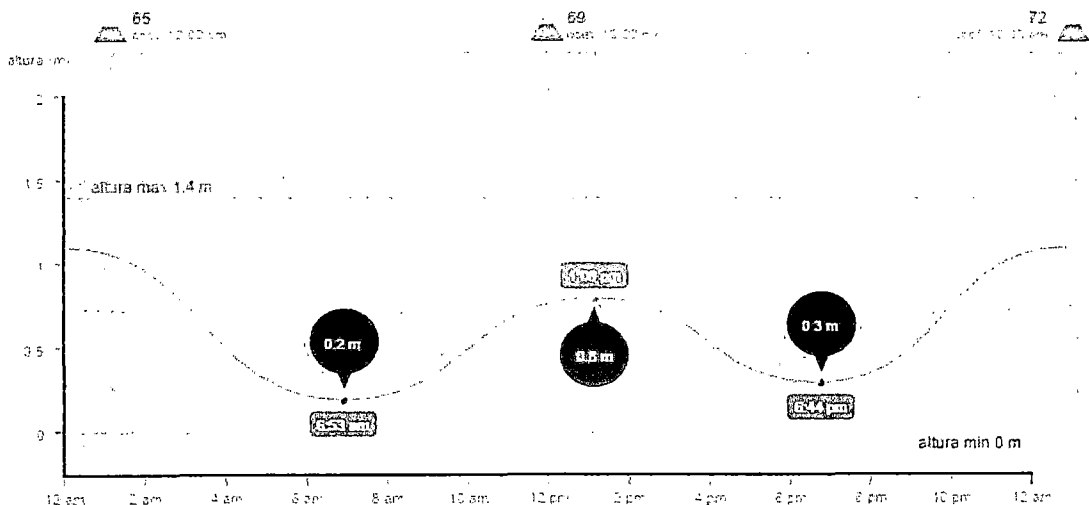
El martes, 12 de noviembre de 2013, amaneció en Salaverry a las 5:46 am y la puesta de sol fue a las 6:15 pm. La luna se puso a la 1:53 am a 268° oeste. Después, la salida de la luna tuvo lugar a 89° este a las 2:18 pm.

En el gráfico de pleamares y bajamares, podemos observar que la primera bajamar fue a las 6:53 am y la siguiente bajamar a las 6:44 pm. La única pleamar del día fue a la 1:08 pm.

Hacia 2 días que la luna estaba en la fase de cuarto creciente. El sol estuvo visible durante 12 horas y 29 minutos. El tránsito solar se produjo a las 12:00pm y el tiempo que la luna estuvo visible fue de 11 horas y 35 minutos.



El coeficiente de mareas fue 65 (medio). Las alturas de las mareas fueron 0.2 m, 0.8 m y 0.3 m. Podemos comparar estos niveles con la pleamar máxima registrada en las tablas de mareas de Salaverry que es de 1,4 m y la altura mínima 0,0 m.



TABLAS SOLUNARES DE SALAVERRY – 12 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Según la teoría solunar, fue un mal día para pescar en Salaverry, la **actividad** prevista de los peces fue **baja**. Los mejores momentos del día para la pesca fueron:

- De **1:53 am a 2:53 am**, actividad baja Periodo menor: **puesta de la luna**.
- De **8:05 am a 10:05 am**, actividad media Periodo Mayor: **transito lunar opuesto** (luna bajo nuestros pies).
- De **2:18 pm a 3:18 pm**, actividad baja Periodo menor: **salida de la luna**.
- De **8:28 pm a 10:28 pm**, actividad media Periodo Mayor: **transito lunar** (luna sobre nuestras cabezas).

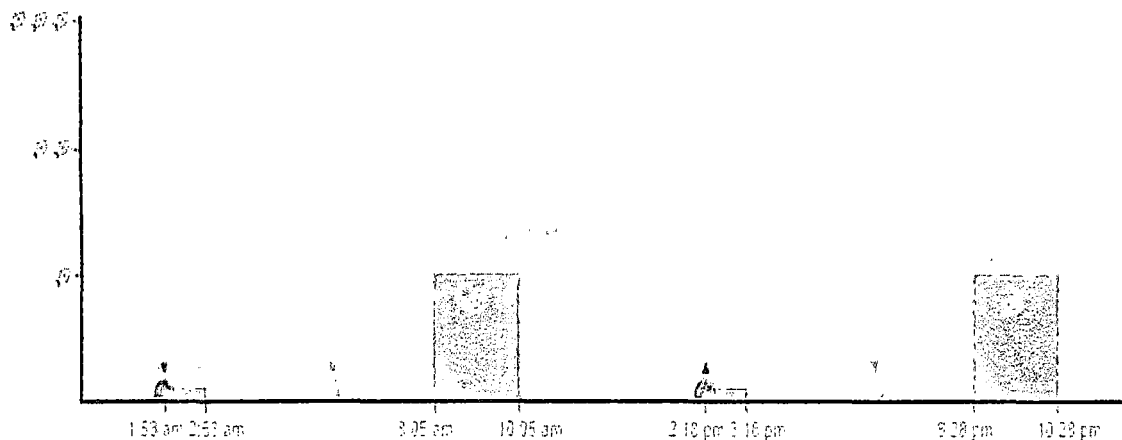


TABLA DE MAREAS DE SALAVERRY – 12 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Tabla de mareas de Salaverry. Las horas son generadas en horario local de La Libertad. También aparece la fase lunar, las horas de salida y puesta de sol, el coeficiente de mareas y la actividad media de los peces prevista para cada día según las tablas solunares:

DÍA			MAREAS				ACTIVIDAD MEDIA
			1ª MAREA	2ª MAREA	3ª MAREA	4ª MAREA	
1 V			02:16 am pleamar (0.1 m)	08:43 am bajamar (0.1 m)	3:13 pm pleamar (0.1 m)	9:12 pm bajamar (0.3 m)	88 alto
2 S			02:52 am pleamar (0.1 m)	09:13 am bajamar (0.1 m)	3:50 pm pleamar (0.1 m)	9:56 pm bajamar (0.3 m)	96 muy alto
3 D			03:29 am pleamar (0.1 m)	09:46 am bajamar (0.1 m)	4:30 pm pleamar (0.2 m)	10:43 pm bajamar (0.3 m)	100 muy alto
4 L			04:07 am pleamar (0.1 m)	10:22 am bajamar (0.1 m)	5:12 pm pleamar (0.1 m)	11:32 pm bajamar (0.3 m)	100 muy alto
5 M			04:48 am pleamar (0.3 m)	11:01 am bajamar (0.2 m)	5:58 pm pleamar (0.2 m)		96 muy alto
6 X			12:25 am bajamar (0.1 m)	05:33 am pleamar (0.1 m)	11:43 am bajamar (0.1 m)	6:49 pm pleamar (0.2 m)	88 alto
7 J			01:24 am bajamar (0.0 m)	06:25 am pleamar (0.0 m)	12:30 pm bajamar (0.1 m)	7:43 pm pleamar (0.2 m)	77 alto
8 V			02:32 am bajamar (0.1 m)	07:28 am pleamar (0.2 m)	1:25 pm bajamar (0.1 m)	8:43 pm pleamar (0.2 m)	67 medio
9 S			03:47 am bajamar (0.3 m)	08:50 am pleamar (0.7 m)	2:33 pm bajamar (0.2 m)	9:49 pm pleamar (1.1 m)	59 medio
10 D			05:00 am bajamar (0.9 m)	10:29 am pleamar (0.7 m)	3:56 pm bajamar (0.4 m)	10:56 pm pleamar (1.1 m)	56 medio
11 L			06:02 am bajamar (0.9 m)	11:58 am pleamar (0.7 m)	5:24 pm bajamar (0.0 m)	11:58 pm pleamar (1.1 m)	58 medio
12 M			06:53 am bajamar (0.0 m)	1:08 pm bajamar (0.1 m)	6:44 pm bajamar (0.0 m)		65 medio
13 X			12:54 am pleamar (1.1 m)	07:36 am bajamar (0.1 m)	2:03 pm pleamar (1.1 m)	7:52 pm bajamar (0.0 m)	72 alto
14 J			01:43 am pleamar (1.1 m)	08:15 am bajamar (0.1 m)	2:50 pm pleamar (1.1 m)	8:49 pm bajamar (0.0 m)	79 alto
15 V			02:27 am pleamar (1.1 m)	08:51 am bajamar (0.1 m)	3:33 pm pleamar (1.1 m)	9:42 pm bajamar (0.0 m)	83 alto
16 S			03:07 am pleamar (1.1 m)	09:25 am bajamar (0.1 m)	4:14 pm pleamar (1.1 m)	10:30 pm bajamar (0.0 m)	86 alto
17 D			03:45 am pleamar (0.0 m)	09:58 am bajamar (0.1 m)	4:53 pm pleamar (1.0 m)	11:16 pm bajamar (0.0 m)	86 alto
18 L			04:21 am pleamar (0.8 m)	10:30 am bajamar (0.1 m)	5:32 pm pleamar (1.0 m)		83 alto
19 M			12:01 am bajamar (0.4 m)	04:56 am pleamar (0.7 m)	11:02 am bajamar (0.1 m)	6:10 pm pleamar (1.0 m)	78 alto
20 X			12:48 am bajamar (0.4 m)	05:31 am pleamar (0.7 m)	11:33 am bajamar (0.1 m)	6:48 pm pleamar (1.0 m)	72 alto
21 J			01:37 am bajamar (0.4 m)	06:07 am pleamar (0.7 m)	12:03 pm bajamar (0.0 m)	7:27 pm pleamar (1.0 m)	65 medio
22 V			02:31 am bajamar (0.4 m)	06:47 am pleamar (0.8 m)	12:35 pm bajamar (0.0 m)	8:08 pm pleamar (1.0 m)	57 medio
23 S			03:30 am bajamar (0.4 m)	07:40 am pleamar (0.6 m)	1:09 pm bajamar (0.0 m)	8:50 pm pleamar (1.0 m)	49 bajo
24 D			04:28 am bajamar (0.1 m)	08:58 am pleamar (0.4 m)	1:53 pm bajamar (0.0 m)	9:34 pm pleamar (1.0 m)	44 bajo
25 L			05:16 am bajamar (0.4 m)	10:36 am pleamar (0.8 m)	2:59 pm bajamar (0.4 m)	10:20 pm pleamar (1.0 m)	41 bajo
26 M			05:51 am bajamar (0.0 m)	11:55 am pleamar (0.7 m)	4:28 pm bajamar (0.0 m)	11:07 pm pleamar (1.0 m)	43 bajo
27 X			06:22 am bajamar (0.3 m)	12:49 pm pleamar (0.6 m)	5:51 pm bajamar (0.0 m)	11:53 pm pleamar (1.0 m)	51 medio
28 J			06:51 am bajamar (0.2 m)	1:31 pm pleamar (0.7 m)	7:01 pm bajamar (0.0 m)		60 medio
29 V			12:38 am pleamar (1.1 m)	07:24 am bajamar (0.2 m)	2:11 pm pleamar (1.1 m)	8:00 pm bajamar (0.4 m)	72 alto
30 S			01:24 am pleamar (1.1 m)	07:59 am bajamar (0.1 m)	2:51 pm pleamar (1.1 m)	8:53 pm bajamar (0.0 m)	83 alto

ESTUDIO EN MODELO HIDRÁULICO

El área de interés en el prototipo tiene 8 Km de longitud de costa con el puerto más o menos en el centro y mar adentro se extiende hasta unos 5 Km llegando a las profundidades de 13 a 15 m. La Disposición en planta del modelo se ve en la figura 1.14.

Se escogió una escala de longitudes $n_L=240$ atendiendo a la disponibilidad de espacio en el Laboratorio Nacional de Hidráulica [3], lo cual da una área de modelo de 35 x 20 m, una vista del modelo hidráulico se puede observar en la Figura 1.13.

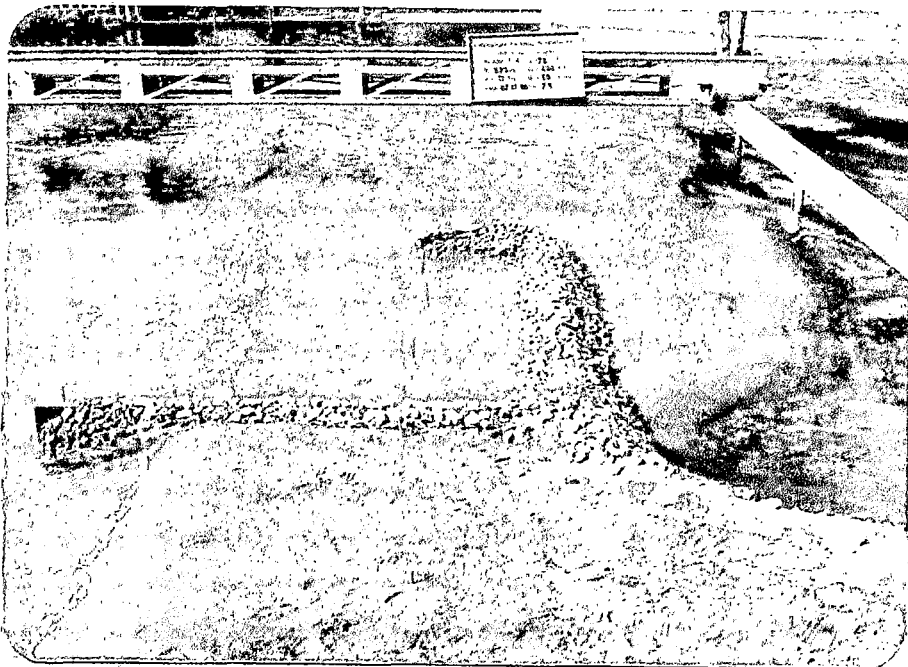


Figura 1.13 Investigación en modelo hidráulico del Puerto de Salaverry.

Por otra parte se hicieron pruebas para seleccionar el material de fondo. Se estudiaron los perfiles resultantes de la distribución del oleaje bajo determinadas condiciones. Así se seleccionó la cantera de arena y se encontró una distorsión del orden de 3 ó 4. En el transcurso de la investigación se adoptó el valor 4. Ello permitió obtener perfiles de playa comparables con los del prototipo.

El planchón de la máquina de oleaje condiciona uno de los bordes. Su orientación corresponde al frente de olas en el emplazamiento correspondiente.

Los datos de oleaje del prototipo fueron esquematizados por una ola proveniente del Sur (en aguas profundas), con un ángulo de incidencia de 5° con respecto a la línea de costa. La velocidad para el mismo porcentaje de tiempo = 0.27 m/s (Valor calculado); altura de la ola a la profundidad de 15m = 1.65m; valor promedio del parámetro del sedimento = $190\mu\text{m}$. Se calculó en el prototipo un transporte de sedimentos del orden de $1 \cdot 10^8 \text{m}^3/\text{año}$ en una zona correspondiente al extremo curvas de calibración del modelo.

De esta forma se realizaron las pruebas de calibración, con la siguiente escala tomada como punto de partida.

Escala de longitud	:	n_L	=	240
Escala de altura	:	n_h	=	60
Escala de tiempo	:	n_T	=	7.75
Escala de velocidad	:	n_C	=	7.75

Además se consideró usar un periodo suficientemente largo para obtener una gran distancia entre bancos y logro ubicar la zona de playas entre un banco y un valle lo que fue muy favorable para el crecimiento de la costa. De esta manera, se seleccionó $T_m = 2.23''$.

En la calibración se encontró experimentalmente $n_V = 2$; $n_H = 15$; $n_{fw} = 1.8$ y $n_c = 0.7$.

Por la comparación del crecimiento de línea costera en modelo y prototipo para magnitudes homólogas, se encontró la escala morfológica del tiempo para diversos ejes, se encontró la relación 1 año = 1.8 horas.

Finalmente con el modelo, se llevan a cabo las investigaciones que darán la solución del problema.

La Tabla 1.8 se da una vista general de las catorce pruebas de calibración con las condiciones de borde concernientes al periodo de la ola, descarga líquida y alimentación de arena.

La Figura 1.14 nos muestra el sedimento usado en la investigación del modelo hidráulico del Puerto Salaverry, con un flujo de sedimentos de 400 l/s.

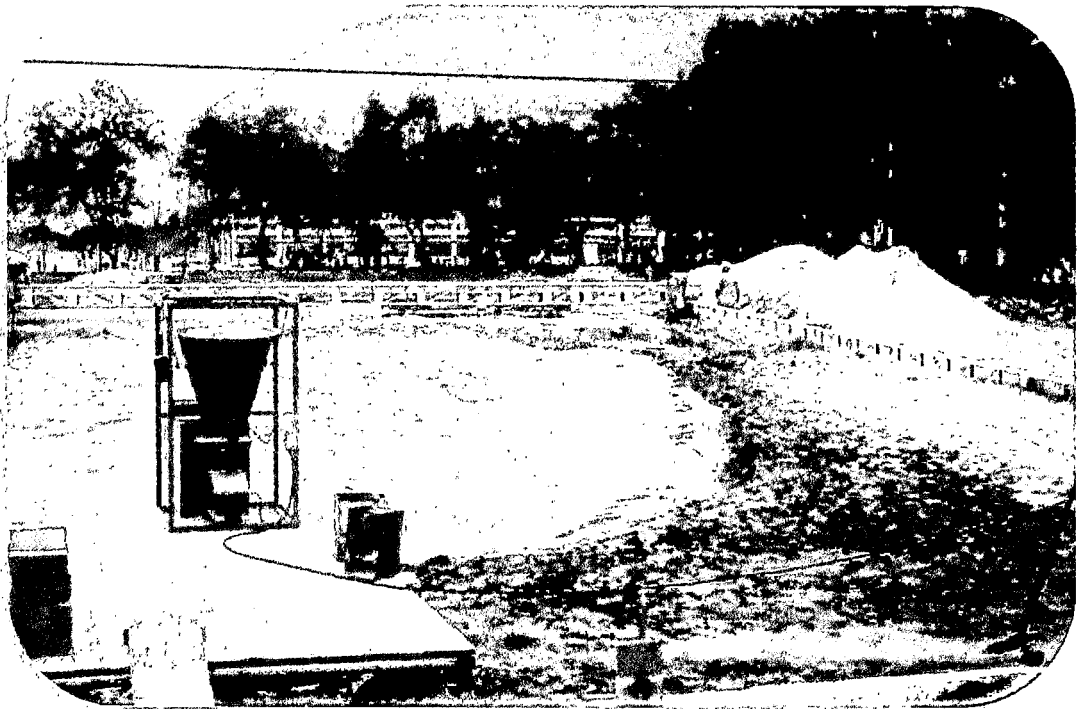


Figura 1.14 Sedimento usado en el modelo hidráulico del T.P. Salaverry.

Tabla 1.8 Particularidades de las 14 pruebas.

PRUEBA Nº	DURACIÓN (HORAS)	CAUDAL DE AGUA (l/s)	CAUDAL DE AGUA (l/s)	ALIMENTACIÓN DE ARENA	PARTICULARIDADES
1	20	1.84	0	0	Determinación de transporte de arena puerto ubicado en zona central.
2	20	1.84	0	20	
3	27	1.84	0	100	
4	10	1.84	20	145	Introducción de mejoras; instalación de vertedero; puerto ubicado en zona central.
5	36	1.84	10 - 50	0-200	Variación de la alimentación de arena y del caudal de agua. A partir de la prueba 5 se ubica el puerto en la zona Norte.
6	71	1.84	20-35	40-160	
7	35	1.60	35	160	Cambio del periodo de ola y variación del nivel de agua entre 0 y +2 cm.
8	25	1.60	35	160	
9	34	1.60	30-40	160-480	
10	49	1.43	30	200-300	Determinación de la influencia del periodo de ola.
11	11	1.18	40	160-240	
12	5	1.97	40	320	
13	71	2.23	40-50	200-500	Determinación de la posición óptima de costa.
14	66	2.23	50	400	Prueba final de calibración Ver figura 2.1.8

El propósito de las investigaciones en el modelo de arenamiento del puerto de Salaverry, era encontrar la posición y longitud óptima del espigón a ser construido en el cabezo o en el quiebre del rompeolas principal del puerto de Salaverry, en relación a la forma del banco en el puerto y la agitación del oleaje dentro del puerto causada por la presencia del banco.

Para poder determinar la situación óptima se efectuaron 5 pruebas (ver Tabla 1.9) los esquemas son mostradas en las figuras 1.16 al 1.20.

Los resultados en la formación del banco, se ha dado la línea de profundidad 5m. De la formación del banco, para la situación final de cada prueba.

Tabla 1.9 Tipos de pruebas llevadas a cabo por el LNH.

Prueba N°	Longitud del espigón desde la línea de agua del rompeolas (m)		Ubicación del Espigón
	Prototipo	Modelo	
T-1	360	1.50	Cabezo
T-2	480	2.00	Cabezo
T-3	600	2.50	Cabezo
T-4	480	2.00	Cabezo
T-5	720	3.00	Cabezo

Fuente: Véase [3]

El ancho de la barra medido en la dirección Nor-Oeste no cambia significativamente para las diferentes posiciones y longitudinales del espigón. La longitud de la barra, medida en una dirección Sur - Oeste, es por supuesto mayor en la situación para la cual se construye un espigón en el cabezo (T-1, T-2, y T-3).

La formación del banco cerca del cabezo del rompeolas en el modelo, se encuentra más cerca de esta estructura y es menos extendido con respecto al prototipo. Este fenómeno es causado por el hecho de que la velocidad de caída de la arena del modelo es relativamente mayor que la del prototipo. En consecuencia el transporte de arena en suspensión es menor en el modelo que en el prototipo.

Esta diferencia de longitudes es, según los resultados del modelo físico, del orden de 40 a 70 m, y según el modelo matemático, del orden de 100 m.

Considerando que el espigón actual tiene una longitud de 1.30m.

Esta diferencia de longitudes es causada por el hecho de que el punto de partida del espigón en el quiebre, está más retirado (hacia tierra) que el punto partida para el espigón en el cabezo.

Morfología general

Si el espigón se construye en el quiebre del rompeolas principal, se debe advertir que ocurrirá erosión en el área del espigón. Esta erosión causara una adicional sedimentación en el puerto y además existe la posibilidad de que se pueda

dañar el espigón actual en el cabezo del rompeolas principal. Este espigón ha sido construido en 1973, sobre la barra que estuvo formada entonces. Si ocurre erosión en el área norte la cimentación del espigón actual puede sufrir socavación. Si esto sucede, también la arena actualmente atrapada por el espigón podría ingresar al puerto.

El área de captura en el caso de un espigón en el quiebre es cerca del 10% más pequeña que la que producirá en el cabezo y en consecuencia la línea costera en el caso de un espigón en el quiebre, crecerá en un 10% más rápido.

Oleaje dentro del puerto

En la situación para la cual se construye un espigón en el cabezo, la mayor longitud de la barra influenciará en la penetración de oleaje en el puerto. Debido a esta mayor longitud, las olas estarán más afectadas por el fenómeno de refracción. Debido a este fenómeno los rayos de las olas se curvarán más en la dirección del puerto. Para la situación en que se tiene el espigón en el quiebre del rompeolas, el hecho de las líneas de profundidades coinciden bien, con aquellas correspondientes a la situación actual (T-0), la penetración de oleaje al interior del pueblo no cambiara significativamente si se compara con la actual situación del prototipo.

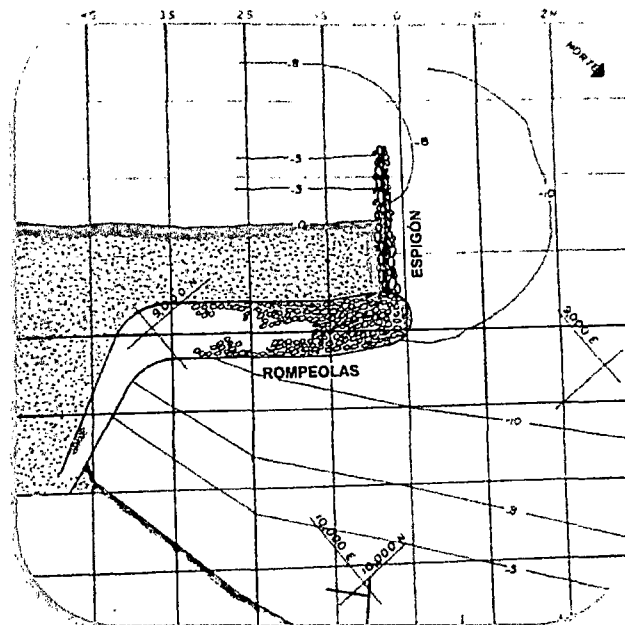


Figura 1.15 Prueba T-1. Formación del banco en el puerto. $Tac=0^h$.

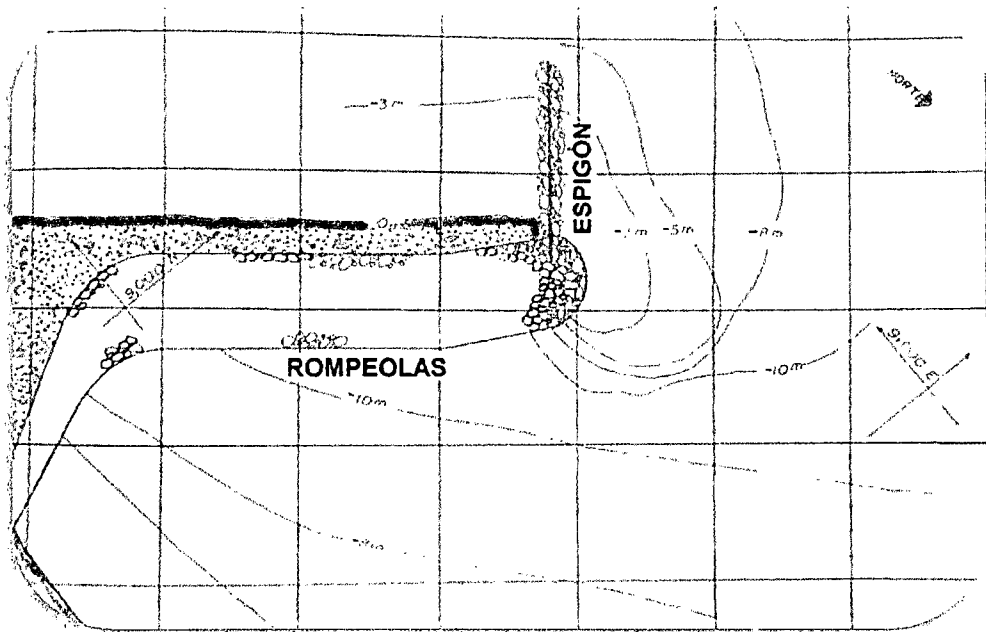


Figura 1.16 Prueba T- 2. Formación del banco en el puerto. Tac=0h.

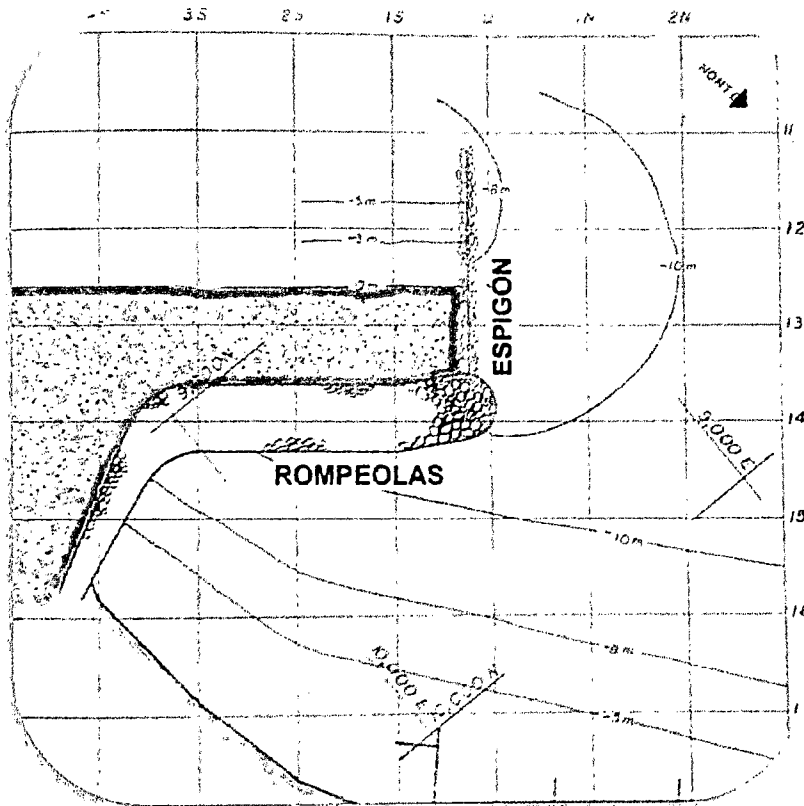


Figura 1.17 Prueba T- 3. Formación del banco en el puerto. Tac=0h.

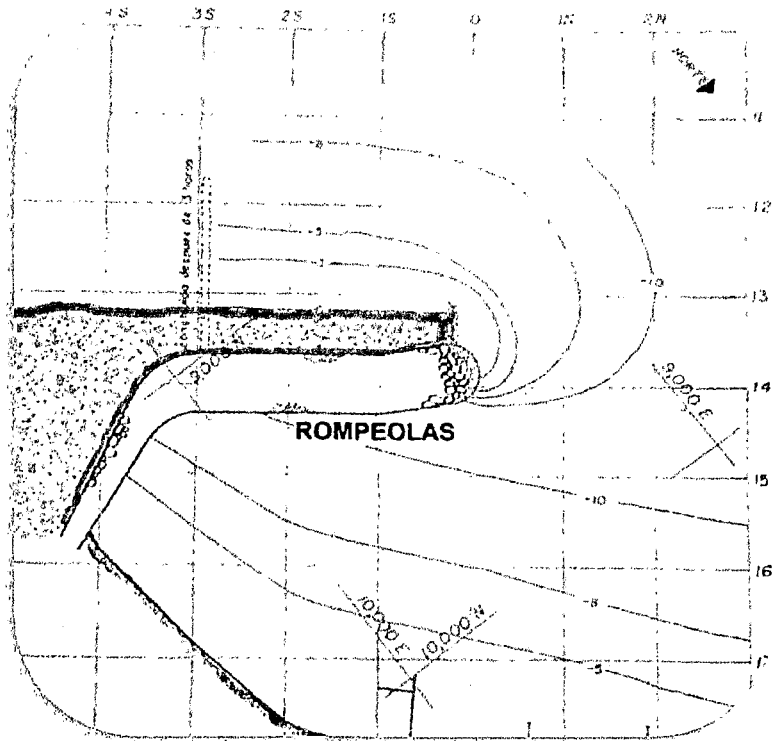


Figura 1.18 Prueba T- 4. Formación del banco en el puerto. Tac=0^h.

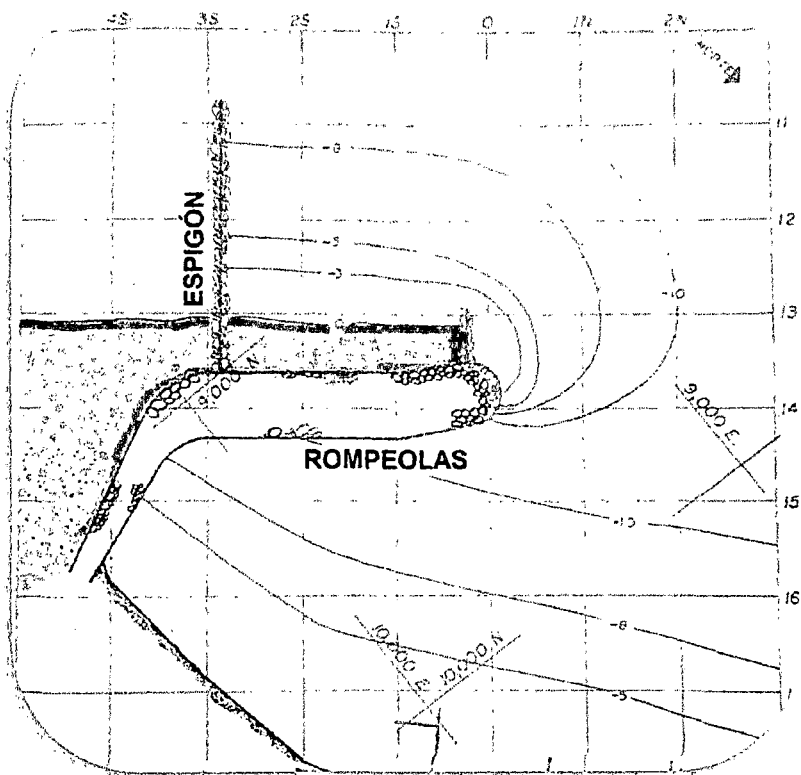


Figura 1.19 Prueba T- 5. Formación del banco en el puerto.

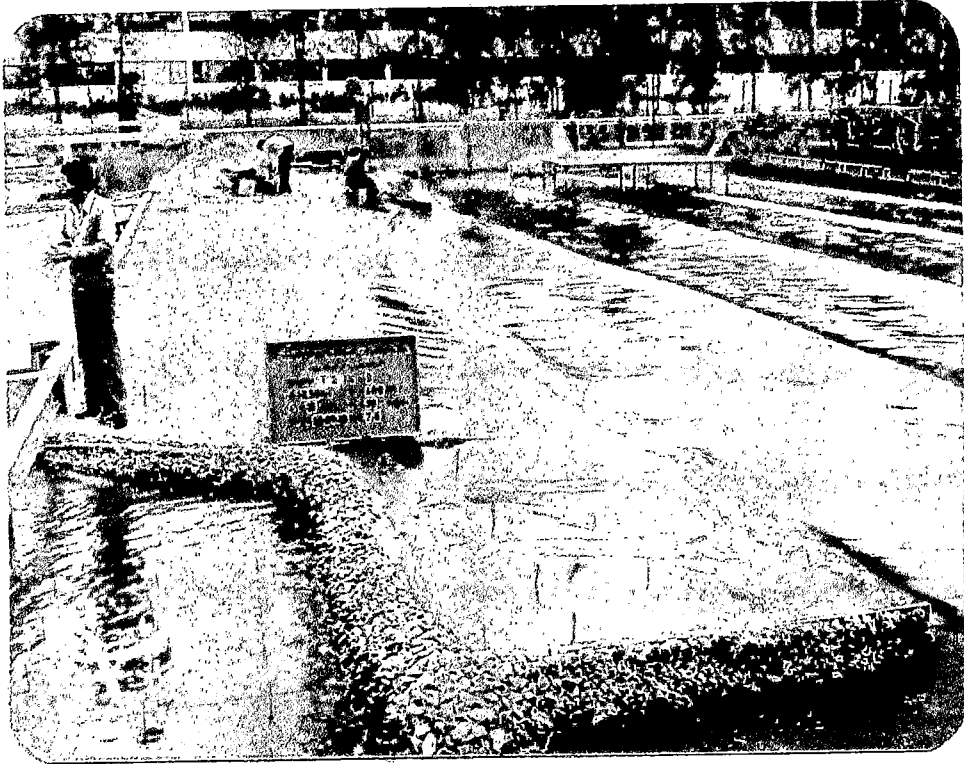


Figura 1.20 Ensayo 14 del modelo hidráulico del TP Salaverry.

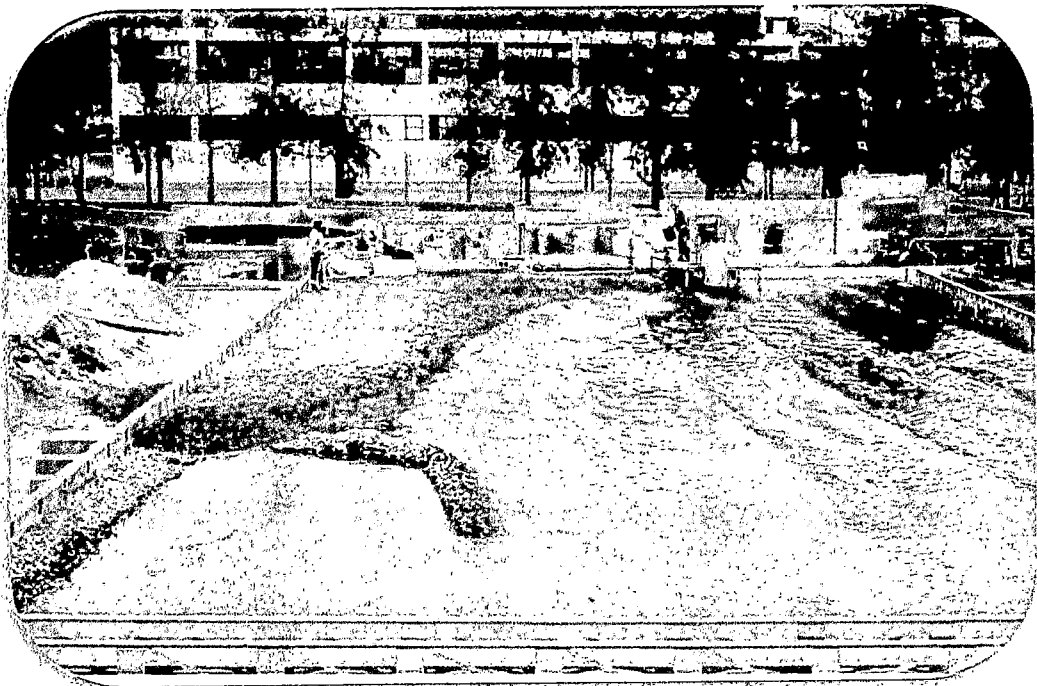


Figura 1.21 Ensayo 14 del modelo hidráulico del TP Salaverry.