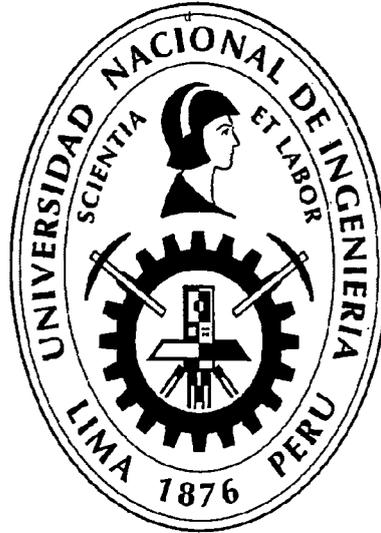


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE GEOCONTENEDORES DE
GEOTEXTIL TEJIDO COMO APLICACIÓN DE
ROMPEOLAS PARA LA FORMACIÓN DE PLAYA**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

EVERT RÓGER CÁCERES PÉREZ

Lima- Perú

Digitalizado por:

2013

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

Dedicatoria

En primer lugar a Dios, a la Santísima Cruz de Motupe y a la Virgen de Guadalupe; porque siempre guían mi camino, permitiéndome llegar hasta donde he llegado.

A mis padres, Roger y Lilian, por el infinito amor que me entregan y porque siempre estuvieron en los momentos más difíciles, ayudándome a perseverar en mis objetivos.

A mis hermanas, porque me exigen a mejorar cada día; y ser un camino a seguir.

A Viviana, por tu agradable compañía.

A todos mis familiares y amigos, en especial a los que ya no están; porque sé que ellos estarán orgullosos con cada objetivo cumplido.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuna de los mejores Ingenieros Civiles del Perú.

A todos los docentes que me ayudaron a mejorar el presente trabajo, en especial, al Dr. César Fuentes Ortiz, mi asesor de tesis, quién siempre demuestra y da a conocer el gran aprecio que siente por su alma mater; y está dispuesto a brindar mayor apoyo a los alumnos.

A la empresa Andex, la cual aporta y apoya a la investigación constante, para la mejora continua de productos innovadores en la ingeniería.

A mis amigos y compañeros de trabajo, por su solidaridad, estímulo y apoyo.

INDICE

RESUMEN	vi
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	ix
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1 BATIMETRÍA	1
1.1.1 Método de posicionamiento planimétrico	1
1.1.1.1 <i>Métodos Directos</i>	1
1.1.1.2 <i>Métodos Ópticos</i>	2
1.1.1.3 <i>Radiación</i>	2
1.1.1.4 <i>Bisección</i>	2
1.1.1.5 <i>Metodología GPS</i>	2
1.1.2 Método de posicionamiento altimétrico	3
1.1.2.1 <i>Escandallo</i>	3
1.1.2.2 <i>Sondas Mecánicas</i>	3
1.1.2.3 <i>Sondas Eléctricas</i>	3
1.1.2.4 <i>Sondas Acústicas</i>	4
1.1.2.5 <i>Sondas Ultrasónicas</i>	4
1.1.3 Método de posicionamiento en 3d	5
1.1.3.1 <i>Gps (fase) + Ecosonda</i>	6
1.1.3.2 <i>Gps (código) + Ecosonda</i>	6
1.1.4 Batimetría fotogramétrica	6
1.1.5 Batimetría por procesos fotográficos	7
1.1.6 Batimetría mediante sonar lateral	7
1.1.7 Batimetría mediante laser	7
1.1.8 Batimetría mediante satélites de teledetección	7
1.1.8.1 <i>Geosat</i>	8
1.1.8.2 <i>Landsat mss (Scanner Multiespectral – EEUU)</i>	8
1.2 MOVIMIENTOS DEL MAR	8
1.2.1 Corrientes	8
1.2.1.1 <i>Debidas a la Distribución de masas</i>	9
1.2.1.2 <i>Producidas por el viento</i>	9
1.2.1.3 <i>Generadas por las olas</i>	9

1.2.1.4	<i>Generadas por la marea</i>	10
1.2.2	Mareas	10
1.2.2.1	<i>Marea meteorológica</i>	11
1.2.2.2	<i>Marea astronómica</i>	11
1.3	DINÁMICA LITORAL	13
1.4	TEORÍA DE ONDAS	14
1.4.1	Movimiento oscilatorio	15
1.4.2	Parámetros adimensionales	19
1.4.3	Regímenes de ondas	20
1.4.4	Teoría lineal de ondas	21
1.4.4.1	<i>Simplificaciones por profundidades reducidas e indefinidas</i>	23
1.5	GEOSINTÉTICOS	25
1.6	GEOTEXTILES	28
1.6.1	Tipo de polímero	28
1.6.2	Tipo de fibra	29
1.6.3	Tipo de tejido	30
1.6.4	Propiedades y métodos de ensayos para los geotextiles	34
1.6.5	Propiedades físicas	36
1.6.5.1	<i>Gravedad Específica</i>	36
1.6.5.2	<i>Espesor</i>	37
1.6.5.3	<i>Rigidez</i>	37
1.6.6	Propiedades Mecánicas	37
1.6.6.1	<i>Compresibilidad</i>	38
1.6.6.2	<i>Resistencia a la tensión</i>	38
1.6.6.3	<i>Resistencia a la tensión confinada</i>	42
1.6.6.4	<i>Resistencia a la costura</i>	43
1.6.6.5	<i>Resistencia a la fatiga</i>	44
1.6.6.6	<i>Resistencia al estallido</i>	44
1.6.6.7	<i>Ensayos al rasgado</i>	45
1.6.6.8	<i>Ensayos al impacto</i>	45
1.6.6.9	<i>Ensayos al punzonamiento</i>	45
1.6.6.10	<i>Comportamiento a la fricción</i>	46
1.6.7	Propiedades Hidráulicas	48
1.6.7.1	<i>Porosidad</i>	48
1.6.7.2	<i>Tamaño de abertura aparente (TAA)</i>	48
1.6.7.3	<i>Permitividad</i>	48
1.6.7.4	<i>Transmisividad</i>	48

1.6.7.5	<i>Retención de suelo</i>	49
1.6.8	Propiedades de durabilidad	49
1.6.8.1	<i>Ensayos Creep (Esfuerzo Cortante)</i>	49
1.6.8.2	<i>Abrasión</i>	50
1.6.9	Propiedades de degradación	50
1.6.9.1	<i>Degradación por la luz Solar (Rayos Ultravioleta)</i>	50
1.6.9.2	<i>Degradación por temperatura</i>	52
1.6.9.3	<i>Degradación por hidrólisis</i>	52
1.6.9.4	<i>Degradación biológica</i>	52
CAPÍTULO II: ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS EN LA ZONA DE APLICACIÓN		53
2.1	UBICACIÓN DE LA ZONA DE APLICACIÓN	53
2.2	GEOMORFOLOGÍA COSTERA	54
2.2.1	Batimetría	54
2.3	MOVIMIENTOS DE MAR EN LA ZONA DE ESTUDIO	57
2.3.1	Olas	58
2.3.2	Modificaciones de las olas	61
2.3.2.1	<i>Calculo de olas poco profundas</i>	62
2.3.2.2	<i>Calculo de la altura de ola en la rompiente</i>	62
2.3.3	Mareas	65
2.3.3.1	<i>Determinación de línea de alta marea</i>	65
CAPÍTULO III: ENSAYOS PARA EL DISEÑO DE GEOCONTENEDORES		67
3.1	CARÁCTERÍSTICAS DEL GEOTEXTIL TEJIDO	67
3.1.1	Resistencia a la tensión del geotextil	68
3.1.2	Factores de reducción del geotextil	68
3.2	RESISTENCIA A LAS COSTURAS	70
3.2.1	Ensayo de resistencia a la tensión del hilo	71
3.2.2	Ensayo de resistencia a la costura	72
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL GEOCONTENEDOR		78
4.1	ANÁLISIS DE DISEÑO PARA EL ROMPEOLAS	78
4.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL DE LA ESTRUCTURA	83
4.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GEOBOLSAS	85
4.3.1	Estabilidad contra ataque de oleaje para Geobolsas	86
4.3.2	Tensión en el geotextil Tejido para Geobolsas	88
4.3.3	Estabilidad con corriente sobre la estructura de Geobolsas	90
4.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GEOCONTENEDORES	91
4.4.1	Estabilidad contra ataque de oleaje para Geocontenedores	91

4.4.2	Estabilidad con corriente en la parte superior de la estructura	92
4.5	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GEOTUBOS	93
4.5.1	Estabilidad contra ataque de oleaje para Geotubos	93
4.5.2	Estabilidad con corriente sobre la estructura de Geotubos	94
4.6	ANÁLISIS DE DISEÑO DEL TUBO DE GEOTEXTIL	96
4.6.1	Geometría del Geocontenedor	96
4.6.2	Relación alto/ancho (h/B)	102
4.7	DISEÑO CON EL SOFTWARE GEOCOPS	102
4.8	DISEÑO DEL TIPO DE GEOTEXTIL	108
4.8.1	Resistencia efectiva del Geotextil	108
4.8.2	Tamaño de abertura aparente (TAA) del Geotextil	111
4.9	DISEÑO DEL MANTO ANTISOCAVANTE	113
4.9.1	Recomendaciones de GRI	114
4.10	CONSOLIDACIÓN DE LA ALTURA DEL GEOCONTENEDOR	117
4.11	CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE BOCAS	120
4.11.1	Velocidad de entrada del flujo al Geocontenedor	121
4.11.2	Cálculo del caudal que ingresa al Geocontenedor	122
4.11.3	Cálculo del ancho del Flujo	122
4.11.4	Velocidad de Asentamiento de la Partículas	122
CAPÍTULO V: PROCEDIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GEOCONTENEDORES		124
5.1	CONFECCIÓN Y COSTURA DEL GEOCONTENEDOR	125
5.1.1	Materia Prima	125
5.1.2	Herramientas	127
5.1.3	Procesos en la Confección de los Geocontenedores	128
5.1.3.1	<i>Proceso de Corte</i>	128
5.1.3.2	<i>Proceso de Armado</i>	130
5.1.4	Costura de los Geocontenedores	131
5.1.4.1	<i>Eficiencia de la Costura</i>	132
5.1.4.2	<i>Localización de las Costuras</i>	133
5.1.4.3	<i>Tipos de Puntos</i>	134
5.1.4.4	<i>Número de Puntos</i>	135
5.1.4.5	<i>Máquina de Costura</i>	135
5.2	EJECUCIÓN EN OBRA DEL SISTEMA DE GEOCONTENEDORES	136
5.2.1	Preparación del Sitio	136
5.2.2	Alineamiento de los Geocontenedores	136
5.2.3	Anclaje y fijación de los Geocontenedores	138

5.2.4	Traslape entre Geocontenedores	139
5.2.5	Llenado de los Geocontenedores	139
5.2.5.1	<i>Llenado con Bomba</i>	140
5.2.5.2	<i>Llenado con Tolva</i>	144
5.2.6	Reparación de Geocontenedores	145
	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
6.1	CONCLUSIONES	146
6.2	RECOMENDACIONES	147
	BIBLIOGRAFÍA	148
	ANEXOS	149

RESUMEN

La región costera está expuesta a la interacción de fuerzas del mar, las cuales van disipándose en tierra firme, alterando naturalmente la morfología de la misma. Los seres humanos con el fin de proteger las estructuras aledañas, ganar terreno al mar, o crear nuevas playas; realizan estructuras de protección, con el fin de disipar las diferentes fuerzas provenientes del mar.

Observando la Costa peruana, surge la necesidad de la construcción de estructuras para defensa costera, las cuales servirán tanto para contrarrestar las fuerzas del mar, y permitir la conservación de playas; así como también, con un adecuado estudio de las fuerzas que modifican el equilibrio marino, realizar la creación de las mismas.

Dentro de las aplicaciones de defensas costeras en el Perú, se tiene que principalmente se realizaron espigones o protecciones con roca, lo cual en muchas ocasiones es difícil encontrar dicho material en la zona del proyecto, resultando muchos de estos proyectos, inviábiles por los grandes costos que ello implica.

Es por ello que en el presente trabajo, a fin de mejorar los costos en la ejecución de las estructuras de protección costera, se plantea el uso de técnicas innovadoras utilizadas en países desarrollados, en los cuales se tiene gran interés por la aplicación de productos novedosos, como los Geosintéticos, dichos materiales pueden suplir diferentes funciones en la ingeniería con menores costos en su ejecución.

Se ha tomado como referencia la aplicación en una playa del Baneario de Punta Hermosa, al sur de Lima para el diseño de defensa costera relacionada con uso de Geosintéticos, específicamente Geoestructuras elaboradas a base de Geotextil tejido; las cuales tienen gran funcionalidad, debido a que estas pueden ser rellenas con el mismo material de playa, confinándolo en el geotextil tejido, con lo cual el material puede reacomodarse libremente, mostrando de ese modo gran flexibilidad ante posibles cambios en el fondo del mar y adaptándose al perfil costero; supliendo así el uso de elementos convencionales como son las rocas de gran tamaño y densidad, difíciles de manipular.

Del mismo modo se plantea procedimiento para la confección, llenado, y manteniendo de este tipo de estructuras; con el fin de facilitar los trabajos, evitar daños en la estructura y reducir los imprevistos al momento de la ejecución.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1 Tipos de ondas principales de acuerdo a su periodo.	15
Cuadro N°1.2 Régimen de ondas.	20
Cuadro N° 1.3 Régimen de ondas largas	21
Cuadro N° 1.4 Simplificaciones por profundidades reducidas e indefinidas	23
Cuadro N° 1.5 Algunas Propiedades de los Polímeros.	29
Cuadro N° 2.1 Coordinadas límites de la zona de aplicación.	53
Cuadro N° 2.2 Movimientos del mar en la zona de aplicación.	57
Cuadro N° 2.3 Ubicación de estaciones de registro de olas	60
Cuadro N° 3.1 Especificaciones técnicas de los Geotextiles Tejidos.	67
Cuadro N° 3.2 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido	69
Cuadro N° 3.3 Factores de Reducción por Creep.	70
Cuadro N° 3.4 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido	70
Cuadro N° 3.5 Valores para el hilo según ensayo ASTM D 2256.	72
Cuadro N° 3.6 Valores para las costuras según ensayo ASTM D 1683	75
Cuadro N° 3.7 Valores de resistencia a las costuras por metro.	76
Cuadro N° 3.8 Valores de Eficiencia y Factor de seguridad por costuras.	77
Cuadro N° 4.1 Características del tipo de Estructura	79
Cuadro N° 4.2 Resultados obtenidos con el programa GeoCopPS	107
Cuadro N° 4.3 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido	111
Cuadro N° 4.4 Valores MARV para el Geotextil del Tubo en Condiciones Agresivas	115
Cuadro N° 4.5 Valores MARV para el Geotextil de la Pantalla Antisocavante en Condiciones Agresivas	115
Cuadro N° 4.6 Valores MARV para el Geotextil del Tubo en Condiciones Típicas No Agresivas	116
Cuadro N° 4.7 Valores MARV para el Geotextil de la Pantalla Antisocavante en Condiciones Típicas – No Agresivas	116
Cuadro N° 5.1 Propiedades del Geotextil Tejido	126

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Sondas ultrasónicas de última generación	5
Figura N° 1.2 Equipo completo para ecosonda (Sensor, transductor, impresora, PC, batería).	5
Figura N° 1.3 Estado de atracción del Sol y la Luna	11
Figura N° 1.4 Tipos de onda y sus características.	14
Figura N° 1.5 Parámetros asociados a la onda.	16
Figura N° 1.6 Parámetros de propagación de ondas	18
Figura N° 1.7 Propagación del perfil de la onda.	22
Figura N° 1.8 Funciones hiperbólicas y sus asíntotas	24
Figura N° 1.14 Respuesta del ensayo de tensión de Geotextiles Fabricados por diferentes procesos.	39
Figura N° 1.15 Diferentes Especímenes de Ensayo a la Tensión para obtener resultados de resistencia de la tela.	40
Figura N° 1.16 Diferentes Tipos de sujetadores para ensayo de Geotextiles (Adaptado de Miles y Caswell).	41
Figura N° 1.17 Geotextil colocado bajo confinamiento lateral, en el ensayo de tensión	42
Figura N° 1.19 Disposición y Procedimiento de ensayo para determinar los esfuerzos de corte en la Interface involucrando Geotextiles.	47
Figura N° 2.1 Vista Panorámica de la zona de aplicación.	53
Figura N° 2.2 Vista de los Espigones en la Zona de Aplicación	55
Figura N°2.3 Sección transversal tipo de la zona a proteger.	56
Figura N°2.4 Distribución de oleaje en aguas profundas de la Costa Peruana.	59
Figura N°2.5 Índice de altura de rompiente H_b/H_o , contra valores H_o/gT^2 , (Goda, 1970).	64
Figura N° 2.6 Curvas α y β , contra hb/H_b , (Wegel, 1972).	65
Figura N° 3.1 Vista del proceso del ensayo del hilo.	72
Figura N° 3.2 Tipo de costura a ensayar.	74
Figura N° 3.3 Muestras a ensayar.	74
Figura N° 3.4 Vista del proceso del ensayo para muestras de dos y tres líneas de costura.	75
Figura N° 4.1 Datos de Niveles de Marea y Oleaje	82
Figura N° 4.2 Sección Transversal de un Geocontenedor como base del análisis.	97

Figura N° 4.3 Vista de las Tensiones actuantes en el Geotextil del Geocontenedor.	102
Figura N° 4.4 Datos de ingreso para material de relleno y condiciones iniciales.	104
Figura N° 4.5 Ingreso de factores de Seguridad para el Geotextil a utilizar.	104
Figura N° 4.6 Tipo de análisis a realizar.	105
Figura N° 4.7 Resultados del análisis.	106
Figura N° 4.8 Resultados gráficos de la forma del Geocontenedor.	106
Figura N° 4.9 Método de Llenado del Geocontenedor por Medio de Tolva	108
Figura N° 4. 10 Dimensiones de la pantalla Antisocavante.	114
Figura N° 4.11 Disminución de la Altura del Tubo en Función de la Densidad del Suelo	118
Figura N° 4.12 Espaciamientos entre bocas de entrada	120
Figura N° 4.13 Diferentes Clasificaciones de Suelo de Acuerdo al Tamaño de sus Partículas	121
Figura N° 5.1 Geotextil tejido de Poliéster de alta tenacidad, PES 108/108.	126
Figura N° 5.2 Presentación en cono de Hilo de Poliéster.	127
Figura N° 5.3 Máquina de Coser tipo Cadeneta doble.	127
Figura N° 5.4 Cautíl tipo Hacha de 400 W de potencia.	128
Figura N° 5.5 Marcado del Geotextil Tejido.	129
Figura N° 5.6 Corte del Material de Geotextil Tejido.	129
Figura N° 5.7 Costura del material de Geotextil, doble costura tipo mariposa.	130
Figura N° 5.8 Tipos de Costuras	132
Figura N° 5.9 Distribución de tensiones en los Geocontenedores de Geotextil tejido (Lawson 2006 adaptado por Martins 2006)	133
Figura N° 5.10 Diferencia en la Formación de Costuras en el Geocontenedor.	134
Figura N° 5.11 Diferencia en la Formación de Costuras en el Geocontenedor.	135
Figura N° 5.12 Colocación de los Geocontenedores, en la cual se pueden apreciarse el emplazamiento de los alineamientos laterales	137
Figura N° 5.13 Colocación de Geocontenedores con las estacas laterales, para alineamiento y fijación	138
Figura N° 5.14 Esquema de amarre de las Geocontenedores.	138
Figura N° 5.15 Fijación y anclaje de los Geocontenedores.	139
Figura N° 5.16 Sección Longitudinal Típica Durante el Proceso de Llenado del Geocontenedor.	140
Figura N° 5.17 Mecanismo de llenado por Bomba Hidráulica.	141
Figura N° 5.18 Lancha Típica con Bomba Dragadora Acoplada	142

Figura N° 5.19 Inicio del Llenado del Geocontenedor.	143
Figura N° 5.20 Término del Llenado del tubo principal del Geocontenedor.	144
Figura N° 5.21 Llenado por Medio de Tolva-Embudo.	144

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

A	: Área de la sección transversal del Geocontenedor	m ²
A _{Boca}	: Área de la sección transversal del círculo (Boca)	m ²
A _c	: Amplitud de la Cresta	m
A _c	: Área de la sección "C"	m ²
A _D	: Área de la sección "D"	m ²
A _{abca}	: Área de la sección abca	m ²
A _o	: Amplitud de la ola	m
A _s	: Amplitud del Seno	m
A _{Aplicación}	: Área de aplicación de las fuerzas	m ²
α _r	: Oblicuidad del oleaje con la línea de rompientes	grados
b	: Base plana del Geocontenedor en contacto con el suelo de fundación.	m
β	: Relación entre la velocidad de la ola y la del viento que la genera.	-
B	: Ancho máximo del Geocontenedor	m
C	: Velocidad a la que se traslada sobre la superficie del mar una fase de la ola, cresta o seno.	m/seg
C _o	: Celeridad de la Ola en aguas profundas	m/seg
C _(xc, yc)	: Centro del sector circular para un d _s .	-
C _g	: Celeridad en aguas someras	m/seg
d _i	: Profundidad a la cual se inicia el movimiento de las partículas bajo acción del oleaje	m
d _r	: Profundidad de ola rompiente	m
d _s	: Diferencial del perímetro	-
d _i	: Profundidad a la cual se inicia el movimiento de las partículas bajo acción del oleaje	m
d ₅₀	: Diámetro medio de las partículas del suelo	mm
e	: Distancia de caída del flujo, desde la tolva hasta la parte superior del Geocontenedor	m
E	: Energía total media de la onda	joules
E _c	: Energía total cinética de la onda	joules
E _f	: Eficiencia de la costura	%
E _p	: Energía total potencial de la onda	joules
ε	: Peralte de la onda	-
δ	: Pendiente de la ola	-

E_{Bocas}	: Espaciamiento entre bocas de entrada en el Geocontenedor	m
E_{suelo}	: Empuje del suelo	KN
E_{Agua}	: Empuje del agua	KN
f	: Frecuencia cíclica	hertz
F_f	: Fuerza de rotura en costura	KN
F_{ins}	: Flujo de energía de la ola	W/m ²
$F_{Rozamiento}$: Fuerza de rozamiento	KN
f_v	: Factor de velocidad de ola rompiente	-
FS_{DI}	: Factor de Seguridad por Daños de Instalación.	-
FS_{DQ}	: Factor de Seguridad por Daños Químicos.	-
FS_{DB}	: Factor de Seguridad por Daños Biológicos	-
FS_{RF}	: Factor de Seguridad por Resistencia a la Fluencia, Creep.	-
FS_{RCU}	: Factor de Seguridad por Resistencia a las Costuras y Uniones.	-
F_{TH}	: Fuerza total horizontal	KN
F_{TV}	: Fuerza total vertical	KN
Φ	: Angulo de fricción	Grados
g	: Aceleración de la gravedad	m/s ²
G_s	: Gravedad específica relativa de los sólidos. (constante para el mismo tipo de partículas de suelo, independientemente del cambio en el contenido de agua)	-
γ	: Peso Especifico del Flujo de relleno del Geocontenedor	KN/m ³
γ_w	: Peso específico del agua de mar	KN/m ³
γ_o	: Peso Especifico del relleno de los geotubos al inicio de la consolidación primaria	KN/m ³
γ_f	: Peso Unitario del relleno, al final de la consolidación secundaria.	KN/m ³
h	: Altura de diseño del Geocontenedor de geotextil	m
h_m	: Altura de Marea	m
h_o	: Altura inicial del tubo	m
Δh	: Disminución de la altura del tubo	m
H	: Altura de ola en aguas profundas	m
H_i	: Altura en la profundidad a la cual se inicia el m	

	movimiento de las partículas	
H_{ola}	: Altura de la ola que rompe sobre la estructura.	m
H_r	: Altura de la ola en rompiente	m
H_s	: Profundidad de Socavación, Producto de estudios de campo.	m
H_{s_o}	: Altura de ola significativa en aguas profundas	m
θ	Dirección de la ola	grados
K	: Número de onda	m^{-1}
K_i	: Número de onda en el lugar que se inicia el movimiento de las partículas	m^{-1}
K_d	: Coeficiente de difracción	-
K_p	: Factor de respuesta de la presión	-
K_r	: Coeficiente de refracción	-
K_s	: Coeficiente de cambio de profundidad	-
L	: Espaciamiento entre bocas de entrada	m
L_o	: Es la distancia horizontal entre dos crestas, o dos senos próximos de una ola.	m
L_{PA}	: Ancho total de la pantalla antisocavante a lo largo de toda la defensa.	m
L_{onda}	: Longitud de onda.	m
M	: Flujo de masa medio	-
M_p	: Momento por presión horizontal	KN-m
M_{TV}	: Momento por presión horizontal	KN-m
p	: Presión horizontal	KPa
P_o	: Presión de llenado	KPa
P_x	: Presión hidrostática del relleno a cualquier profundidad "x", medido desde el punto "O".	KPa
Q	: Caudal del material que ingresa al Geocontenedor.	m^3/seg
QL	: Volumen de sedimentos Transportados	$m^3/seg/m$
$r(x)$: Radio de Curvatura en función de x	m
R_{Boca}	: Radio de la boca de entrada	m
S	: Pendiente media del litoral	-
$S(x, y)$: Punto de la Superficie del Geocontenedor	-
S_f	: Resistencia de la unión cosida	KN/m
S_g	: Sólidos suspendidos	ppm
S_s	: Relación densidad de material entre densidad del agua	-

SS_a	: Costura tipo orador	-
SS_b	: Costura tipo J	-
SS_c	: Costura tipo Mariposa	-
σ	: Presión que soporta el suelo de fundación	KPa
T	: Tensión de membrana del geotextil del tubo	KN
T_{axial}	: Tensión Axial del geotextil del Geocontenedor	KN
T_{circ}	: Tensión Circunferencial del geotextil del Geocontenedor	KN
$T_{costura}$: Tensión de la costura	KN/m
$T_{geotextil}$: Tensión del geotextil usado en la costura	KN/m
T_M	: Período medio de la ola	s
T_o	: Intervalo de tiempo que transcurre entre dos apariciones sucesivas por un punto fijo respecto del agua, de dos crestas o dos senos.	s
T_P	: Período pico de la ola	s
T_{PERM}	: Resistencia a la Tensión del geotextil Permitida a largo Plazo	KN/m
T_{ULT}	: Resistencia a la Tensión última del Geotextil.	KN/m
T	: Esfuerzo cortante sobre el fondo generado por la corriente	
μ_T	: Viscosidad del agua a la Temperatura T,	KN-s/m ²
$\mu_{20^\circ C}$: Viscosidad del agua a 20°C	KN-s/m ²
μ	: Coeficiente de Fricción	-
V_{in}	: Velocidad incidente	m/s
V_{lf}	: Velocidad límite de fondo	m/s
V_o	: Velocidad al inicio de la boca de entrada	m/s
V_s	: Velocidad de asentamiento de los sedimentos	m/s
V_f	: Velocidad al final de la boca de entrada	m/s
W_{GT}	: Peso del Geocontenedor	KN
W_{GT1}	: Peso del Geocontenedor "1"	KN
W_{GT2}	: Peso del Geocontenedor "2"	KN
W_C	: Peso de la sección "C"	KN
W_D	: Peso de la sección "D"	KN
W_o	: Contenido de agua del material de relleno al inicio de la consolidación primaria.	%
W_f	: Contenido de agua del material de relleno al final de la consolidación secundaria.	%

W	: Ancho del flujo dentro del Geocontenedor	m
W_{Rollo}	: Ancho estándar del rollo de geotextil	m
W_s	: Ancho del espécimen para costura en geotextiles	m
W_{Costuras}	: Ancho de costura.	m
ω	: Frecuencia angular	s^{-1}

INTRODUCCIÓN

En el mundo se tiene el constante desarrollo de nuevas técnicas ingenieriles, y es esas técnicas innovadoras, de las cuales son partícipes o tienen conocimiento tanto países desarrollados como subdesarrollados, gracias al gran desarrollo del sistema de comunicaciones y al alcance masivo del Internet.

Dentro de los sistemas innovadores que se han presentado en la Ingeniería Civil, es el uso de nuevos materiales, como es el caso de los Geosintéticos, que gracias a los controles de calidad a los que son expuestos, están logrando revolucionar el diseño de obras y estructuras. Es por tanto que los geosintéticos, en especiales los geotextiles, pueden ser aplicados para la creación de estructuras de protección costera; como es el caso de la aplicación del presente trabajo. Para el presente trabajo, se ha determinado una zona de aplicación; en la cual se han realizado estudios previos, con el fin de diseñar unidades de geotextil tejido como estructuras contenedoras de arena, también describir procedimientos para la fabricación y ejecución de las mismas.

En el Capítulo I, hace referencia a los conceptos y conocimientos básicos, que son necesarios para el entendimiento y diseño de las estructuras que se construyen en el mar; se hace una descripción de los factores que alteran la Morfología Costera; el estudio de las ondas que influyen en las estructuras; el conocimiento general de los Geosintéticos, las diferentes propiedades, que presentan y el control de calidad a través de ensayos para garantizar su buena aplicabilidad.

En el Capítulo II, se realiza una descripción de la zona de aplicación, determinándose la ubicación y batimetría del lugar o los factores que intervienen en el desequilibrio de su morfología; como el estudio de mareas, corrientes, oleajes, y la modificación de los mismos.

En el Capítulo III, se centra en los materiales de los cuales estará compuesta la estructura de Geocontenedores; describiendo y analizando los ensayos necesarios a usar en el diseño, los cuales serán útiles para la fabricación y ejecución de las unidades de Geotextil Tejido.

En el Capítulo IV, se diseña la estructura, garantizando la estabilidad global de misma, por métodos convencionales aplicados a estructuras de defensa costera; asimismo se realiza el diseño de la unidad de geotextil, para tal fin nos apoyamos en software de ingeniería, como es el caso del Geocops, con lo cual encontramos la tensión a la que estará expuesto el geotextil tejido, para compararla a la que presente, según especificaciones de los proveedores del material.

En el último capítulo relacionado a la aplicación, se describe el procedimiento para la fabricación de las unidades de geotextil, Geocontenedores; asimismo también se analiza la ejecución de los mismos sugiriendo métodos para el llenado en campo.

Por último se dan una serie de recomendaciones y conclusiones determinadas del presente trabajo, con lo cual se busca dar un aporte a los trabajos futuros.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 BATIMETRÍA

El diccionario de la real academia de la lengua lo define como: “el arte de medir las profundidades”.

En topografía es el levantamiento del relieve de superficies sub-acuáticas; como el levantamiento topográfico del fondo del mar, fondo de lagos, de cursos de agua, embalses, otros. Para representar el relieve del fondo en un plano batimétrico, se realiza al igual que en el plano topográfico a través de curvas de nivel, conocidas con el nombre de curvas batimétricas o veriles.

La finalidad en la batimetría será la obtención de coordenadas (X,Y,Z) para referenciar los puntos; pero la parte más compleja es la determinación de la profundidad, o llamada operación de sondeo, esta medición directa tendrá que ser referida al nivel medio del mar o también al nivel de bajas mareas, lo cual es más usual. Para tener la cota verdadera de los puntos levantados se deben realizar una serie de correcciones, entre ellas la corrección por mareas, las cuales son variaciones periódicas de la altura del nivel del mar, generadas por las atracciones gravitacionales y otros efectos de los cuerpos celestes.

1.1.1 Método de posicionamiento planimétrico

El problema es la determinación de la posición planimétrica de un punto en el mar, cuya profundidad se quiere determinar, por tal motivo se hace uso de procedimientos especiales.

Existen varios métodos para la determinación de las coordenadas (X,Y) de los puntos en el mar, de los cuales se presentan de modo general los siguientes:

1.1.1.1 Métodos Directos

Se utiliza para poca precisión, ya que es un método básico; se fundamenta a tener una alineación, por medio de una cuerda atada a cada extremo de la orilla, a distancias determinadas. El método consiste

en colocar un buque en cada marca de la cuerda y determinar en dichos puntos la profundidad.

1.1.1.2 Métodos Ópticos

El método consiste en medir por medio de sextantes, el ángulo que forman en el punto dos referencias conocidas y así deducir la posición del bote intersección inversa desde el bote. Este método obtiene precisiones del orden de 3 a 5m, siendo un sistema poco costoso en comparación a otros.

1.1.1.3 Radiación

Se realiza con una estación total situada en tierra en un punto de coordenadas conocidas. Para ello, se plantea un perfil previo sobre el cual va recorriendo el barco y se van observando topográficamente los puntos de la embarcación, desde los cuales a su vez se mide la profundidad. La medición se realiza con equipo de topografía, como teodolito o estación total tomando ángulos horizontales, y distancia para poder tener las coordenadas de dichos puntos.

1.1.1.4 Bisección

En tierra se tienen dos teodolitos, los cuales están ubicados en dos puntos de coordenadas conocidas; luego por intersección directa simple (bisección) se determina la posición del punto visado en la embarcación. La toma de la profundidad y los datos angulares deben realizarse de manera simultánea.

1.1.1.5 Metodología GPS

Con el uso de los equipos GPS se tienen la posición de los puntos en la superficie terrestre o en embarcaciones; este método utiliza satélites, requiriendo escaso tiempo para la observación; por ello, permite alcanzar grandes precisiones, evitando la excesiva influencia del movimiento de la embarcación.

1.1.2 Método de posicionamiento altimétrico

La determinación altimétrica consiste en determinar la cota de los puntos, midiendo la distancia vertical que existe entre la superficie del agua y el punto en el fondo. A esta operación altimétrica del relieve por debajo de la superficie del mar, se le denomina operación de sondeo.

Cuando se trabaja por perfiles, se usan generalmente dos sistemas para llevar a cabo el sondeo; uno de ellos es por líneas rectas paralelas, que suelen presentarse en direcciones normales a la costa, el inconveniente de este método es que oculta información entre líneas, por ello para reducir la pérdida de información se densifica la malla mediante perfiles transversales; el otro método es por líneas radiales, el cual se emplea en aquellos lugares donde el perfil de la costa varía bruscamente de dirección y alrededor de pequeñas islas.

Los instrumentos de sondeo han ido evolucionando con el tiempo, dentro de los cuales podemos encontrar los siguientes:

1.1.2.1 Escandallo

Este instrumento de sondeo consiste en un simple peso de plomo de forma troncocónica (escandallo) atado a una cuerda, cabo, driza o cadeneta graduada en metros (sondaleza), que se deja caer hasta tocar el fondo.

1.1.2.2 Sondas Mecánicas

Consistente en una bobina de cuerda de acero y un dispositivo para registro de profundidades; está influenciado por las corrientes marinas, lo que le hace perder verticalidad, pudiendo afectar los resultados; otra dificultad es que los puntos se eligen a ciegas, pudiendo pasar desapercibida una gran elevación o una fosa.

1.1.2.3 Sondas Eléctricas

En este tipo de método se aplica principalmente la electricidad, reemplazando ventajosamente a las sondas mecánicas. Consiste en un

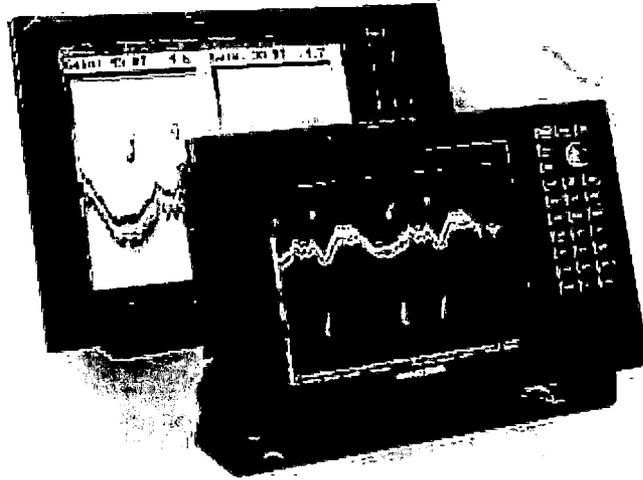
cilindro completamente cerrado, lleno de mercurio hasta cierta altura, el cual va sujeto a una cuerda que contiene tejido un doble conductor flexible y aislado; los dos extremos de los hilos son los reóforos de una pila que se encuentra en el buque y terminan en una caja cilíndrica. En el circuito que está cerca de la pila, va un timbre. Mientras desciende el escandallo, el mercurio ocupa la parte baja del cilindro, por tanto no hay contacto y el circuito está abierto; pero en el momento en que el cilindro ha tocado el fondo se inclina, y el mercurio cubre los reóforos, los que se unen eléctricamente, y cierra el circuito haciendo sonar el timbre. La sondaleza que está arrollada a un tambor, le hace girar, poniendo en movimiento un contador que señala la profundidad.

1.1.2.4 *Sondas Acústicas*

Permiten más rapidez y precisión en la toma de datos del fondo marino, al registrar de una forma continua la línea que se va levantando. El principio fundamental de este método es la medición del tiempo que transcurre desde que un impulso sonoro emitido desde el buque y reflejado hacia él después de tocar el fondo, volviendo como un eco.

1.1.2.5 *Sondas Ultrasónicas*

Utilizan como fuente sonora las oscilaciones de frecuencia audible, generando una onda esférica que se propaga en todas las direcciones posibles. Estas sondas, requieren mayor energía para producir ondas de gran potencia, cuyo eco sea captado en el hidrófono, cuando se trabaja en grandes profundidades. Puede ocurrir que en fondos muy escarpados la onda se refleje sobre otra superficie más próxima, y no en el fondo del mar; pero con el tiempo esta dificultad ha ido desapareciendo por el empleo de ondas de ultrasonidos con frecuencia audible superiores a los 20000 períodos por segundo y longitudes inferiores a los 7 cm (ver Figura N° 1.1).



* Fuente: Internet

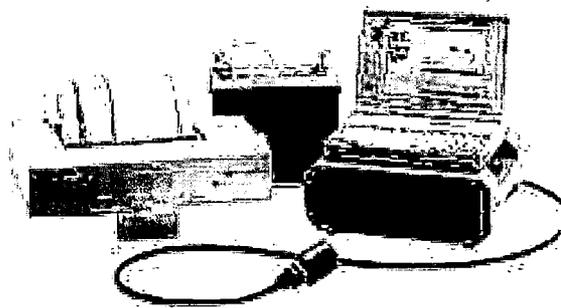
Figura N° 1.1 Sondas ultrasónicas de última generación

1.1.3 Método de posicionamiento en 3d

Como ya se ha mencionado el principal problema en los levantamientos batimétricos es la correlación de la posición batimétrica y la profundidad para no introducir errores en la determinación de la posición del punto situado por debajo de la superficie del agua.

El problema del movimiento de la superficie se consigue disminuir al aumentar la velocidad en la determinación de las coordenadas del punto radiado.

Como ya se ha visto existen gran variedad de métodos para realizar los levantamientos batimétricos; pero el más extendido y utilizado actualmente, es el método combinado GPS + Ecosonda digital (ver Figura N°1.2).



* Fuente: Internet

Figura N° 1.2 Equipo completo para ecosonda (Sensor, transductor, impresora, PC, batería).

El equipo de sondeo produce el sonido, recibe y amplifica el eco; mide el tiempo transcurrido desde la emisión y la recepción del sonido, convirtiendo este intervalo de tiempo en unidades de profundidad, registrando estas mediciones en una banda de papel arrollada sobre un tambor giratorio.

La precisión que se puede obtener en la posición estará condicionada por el tipo de observables que se utilizan, ya sea código o fase; describiremos brevemente cada una de ellas:

1.1.3.1 Gps (fase) + Ecosonda

Este método ofrece precisiones de 2 a 3 mm + 1ppm, la sincronización de los datos entre el GPS y la ecosonda es mucho más eficaz, con grados por debajo del segundo. Los errores producidos por el efecto de las mareas y la variación de la altura debida al oleaje quedan total y automáticamente eliminados.

1.1.3.2 Gps (código) + Ecosonda

Es un método utilizado desde algunos años por numerosos profesionales para la realización de levantamientos batimétricos; pero solamente se pueden utilizar para levantamientos libres de obstáculos con precisión al metro.

Tiene mejor rendimiento en cuanto a la toma de datos en comparación con los métodos anteriores; ya que se puede tomar datos (X, Y, prof.) al segundo.

1.1.4 Batimetría fotogramétrica

El uso de fotogrametría ha permitido mejorar la precisión y la rapidez de la toma de datos en los levantamientos batimétricos, la principal limitante del método es que queda limitado a aguas poco profundas.

Comparando la fotogrametría terrestre con la fotogrametría batimétrica, es que esta última exige correcciones según mareas, índice de refracción del agua, la

presencia de algas, salinidad, la temperatura del agua, etc. Tiene la ventaja de generar más curvas de nivel, por lo que el fondo queda mejor definido.

1.1.5 Batimetría por procesos fotográficos

Método es aplicable en aguas profundas, el fundamento principal del método consiste en estudiar las variaciones del espectro visible en imágenes obtenidas desde aeroplanos y satélites, con las cuales se realiza una película capaz de producir un alto contraste cromático.

Las imágenes de los vuelos realizados en una misma zona se digitalizan y se fusionan de modo estadístico; para obtener una imagen sintética como combinación de las distintas bandas y en ella se correlaciona claridad y profundidad.

1.1.6 Batimetría mediante sonar lateral

Este método es conocido como *Wealds : Weapon Research Establishment laser Deptg Sounding*. Permite obtener mapas tridimensionales del fondo marino por medio de la emisión y recepción de ondas acústicas, para ello se hace uso de varios buques moviéndose en paralelo, resultando una carta continua y completa de la zona.

1.1.7 Batimetría mediante laser

Consiste en un sonar que funciona con láser que permite medir de día profundidades de 2 a 30 metros, con errores de 1 m y de noche se pueden alcanzar los 60 metros de profundidad. Este dispositivo puede desplazarse en un avión o en un barco.

1.1.8 Batimetría mediante satélites de teledetección

Con la información que proporcionan los satélites han cambiado los métodos batimétricos tradicionales, y han conseguido tener buenos resultados en mares poco profundos.

Entre los satélites que se tiene para este fin, están:

1.1.8.1 Geosat

Lanzado por la US Navy en 1985, este satélite se ha utilizado para múltiples levantamientos batimétricos. No presenta un conocimiento preciso del geoide ni tiene buena resolución; por tanto no puede ser muy usado para rutas marinas.

1.1.8.2 Landsat mss (Scanner Multiespectral – EEUU)

El método consiste en determinar la profundidad según la claridad, aplicando la atenuación de la luz con la profundidad; las correcciones por el tipo de agua o el tipo de algas se controlan utilizando las bandas del espectro MSS-4 y MSS-5, en cada una de ellas se ha determinado, según el grado de inclinación y la profundidad a la que puede utilizarse en bajo acercamiento o gran acercamiento.

1.2 MOVIMIENTOS DEL MAR

El mar es una área de constante movimiento, dentro de los tipos generales de movimientos que ocurren en el mar están los que trasladan masas de agua como el caso de las corrientes; y otros que son ondulaciones periódicas que no trasladan grandes masas de agua, como es el caso de las mareas y olas. Excepcionalmente y debido a fenómenos sísmicos se producen grandes desplazamientos de agua conocidos como maremotos y tsunamis.

1.2.1 Corrientes

Hay un constante movimiento de las corrientes; tanto si estas están influenciadas por las mareas, el viento o los cambios de temperatura y salinidad. El mar aparece atravesado por corrientes; unas de gran velocidad, otras muy lentas; unas periódicas y otras intermitentes.

Las corrientes cuyas múltiples consecuencias son de vital importancia en el diseño de estructuras marítimas, obedecen a leyes físicas determinadas. Los diversos procesos que afectan la densidad del agua alteran la distribución de la masa en el mar, cuyos efectos de estos fenómenos son la generación del movimiento de las aguas en la forma de un flujo que es modificado por la

rotación terrestre que lo desvía, la fricción interna y tensión superficial del líquido que lo amortigua, y las diferentes formaciones geomorfológicas.

Los tipos de corrientes se hacen notorios de acuerdo a las causas que lo originan.

1.2.1.1 Debidas a la Distribución de masas

Pertenecen a este tipo, las grandes corrientes oceánicas permanentes que transportan enormes volúmenes de agua, en virtud de las diferencias de la densidad en superficie, por la acción de los procesos de calentamiento y enfriamiento, dilución por precipitación, escurrimiento, aporte de agua fluvial, condensación de vapor de agua en la superficie y concentración por evaporación o congelación.

1.2.1.2 Producidas por el viento

El viento transmite por fricción a la superficie del mar un esfuerzo, que éste lo comunica a su vez a las capas inferiores, generando una corriente poco profunda, y donde el viento sopla con persistencia continua, toma el nombre de "deriva".

La rotación terrestre afecta este movimiento del agua, trayendo como consecuencia la desviación en la dirección de la corriente en 45° hacia donde sopla el viento; a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur.

1.2.1.3 Generadas por las olas

La importancia de las corrientes producidas por el oleaje, radica fundamentalmente, en el hecho de que son las que originan y regulan, los sedimentos costeros.

De acuerdo a ello se presentan dos tipos de corrientes generadas por las olas. Las que van normales a la Costa y las que son Paralelas a la Costa.

Las normales a la Costa son generadas por la necesidad de evacuar el volumen de agua sobrante que ha sido empujado y acumulado contra la playa debido a la

acción del oleaje y del viento; este exceso de volumen se manifiesta como una sobre elevación del nivel del mar en la zona de rompientes.

Este tipo de corrientes, a su vez, pueden tomar dos formas; la primera se denomina "resaca" y la segunda corriente se presenta en forma de chorro concentrado, y se denomina corriente de ola en rotura.

Cuando el oleaje incide en la costa con cierto ángulo, es decir, oblicuamente, se pueden formar corrientes paralelas a la Costa, localizada entre la línea de rompientes y la orilla. Esta corriente recibe el nombre de "Corriente Litoral", y se da a lo largo de la Costa.

Se considera que esta corriente es la principal responsable de transportar a los sedimentos a lo largo de la costa.

1.2.1.4 *Generadas por la marea*

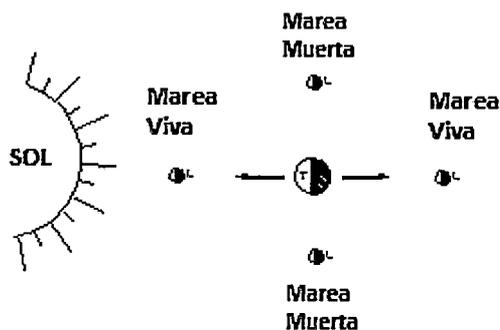
Se generan movimientos notables de masas líquidas debido a la elevación y descenso del nivel del agua, generándose así las llamadas corrientes de mareas.

1.2.2 Mareas

Con el estudio de las mareas se puede definir la altura de las estructuras costeras, de acuerdo al uso y función que estas tendrán.

Los tipos de fenómenos que tienen influencia directa en la generación de mareas son el viento, las atracciones entre los cuerpos celestes, y la rotación de la Tierra.

De acuerdo a las atracciones lunares se pueden producir tipos de marea máxima y mínima, estas posiciones de atracción del Sol y la Luna (ver Figura N°1.3).



* Fuente: Internet

Figura N° 1.3 Estado de atracción del Sol y la Luna

1.2.2.1 Marea meteorológica

La marea meteorológica son los cambios de nivel de las aguas costeras como consecuencia de variaciones de presión y de viento.

La presión atmosférica por lo general varía entre 99 y 104 kilo pascal. Una variación de 0.1 kilopascal, provoca una variación de 1 cm en el nivel del mar.

El viento que sopla sobre una superficie de agua tiene una componente horizontal que arrastra el agua en la misma dirección, esta corriente se ve frenada al llegar a la costa y se produce una sobre elevación del nivel del mar.

1.2.2.2 Marea astronómica

Se entiende por marea astronómica al ascenso y descenso del nivel del mar provocado por las fuerzas gravitatorias ejercidas principalmente por el sol y la Luna (ver figura N°1.3)

Para referenciar las estructuras marítimas se definen los términos observados; datos que para el Perú son publicados por la Dirección de Hidrografía y Navegación:

- Nivel Medio del Mar (N.M.M)

Es el promedio de las alturas horarias tomadas en el periodo de estudio.

- Nivel de Pleamar Media Superior (N.P.M.S)

Promedio de las más altas, de las dos pleamares diarias, tomados en el período de estudio.

- Nivel de pleamar media (N.P.M)

Promedio de todas las pleamares tomados en el periodo de estudio. Cuando el tipo de marea es diurna, este valor se calcula como el promedio de las pleamares más altos diarios, coincidiendo este valor con la pleamar media superior.

- Nivel de Bajamar Media Inferior (N.B.M.I)

Es el promedio de las dos bajamares diarias, tomadas en el periodo de estudio. Este nivel es usado como referencia en la Costa del Pacifico.

- Nivel de Media Marea (N.M.m)

Se obtiene promediando en nivel de pleamar media y la bajamar media; es decir, es el plano equidistante entre estos dos valores.

- Altura máxima registrada

Es el nivel más alto registrado en la zona de estudio, el cual puede ocurrir debido al efecto de un tsunami, probablemente con el de la marea astronómica.

- Pleamar máxima registrada (P.M.R)

Es el nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o que tengan influencias sobre las mismas, los factores meteorológicos.

- Nivel de Bajamar media (N.B.M)

Es el promedio de todas las bajamares en el periodo de estudio; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de las bajamares más bajas diarias, lo que equivale a que la bajamar media en este caso sea lo mismo que la bajamar media inferior.

- Bajamar mínima Registrada (B.M.R)

Es el nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.

- Altura Mínima Registrada

Es el nivel más bajo registrado en la estación debido al efecto de un tsunami o ciclón, probablemente, con el de la marea astronómica.

1.3 DINÁMICA LITORAL

Dentro de la dinámica litoral está la interacción que existe entre el sedimento, el oleaje, las corrientes, las mareas, los vientos y la batimetría de la zona; dependiendo del proceso en el que se encuentra la costa ya sea en proceso erosivo, de sedimentación o en equilibrio.

El proceso de transporte de sedimentos da lugar a depósitos cercanos a la costa teniéndose las siguientes formaciones:

- Playa

Es un depósito de material suelto, cercano a la costa, que generalmente es arena.

- Barrera

Es el depósito que se forma frente a la playa, pero no está unido a ella.

- Tómbolo

Depósito que se forma entre la línea de la playa y su obstáculo, que puede ser un cabo o un islote.

- Barras

Son depósitos alargados que están sumergidos y que generalmente se forman en rompiente.

- Bancos

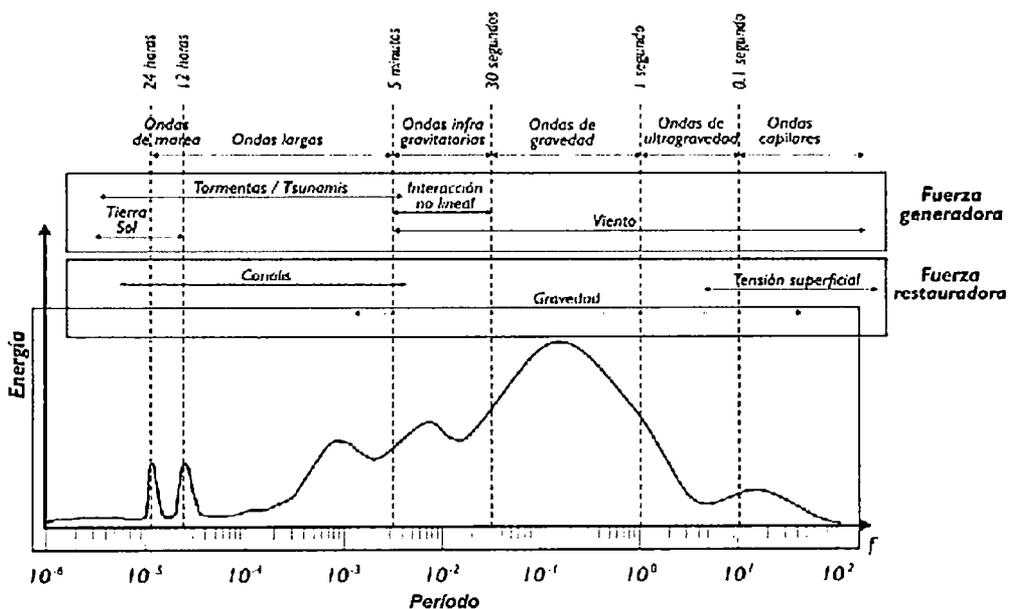
Son acumulaciones de arena, que están alejadas de la costa y debajo de la superficie del mar, se forman por condiciones locales de oleaje y de corrientes.

1.4 TEORÍA DE ONDAS

En la superficie del mar se pone de manifiesto la propagación de diversos tipos de ondas a lo largo de la interface agua – atmósfera, los mecanismos que aportan la energía para la propagación de estas ondas pueden ser; el viento, perturbaciones meteorológicas, atracción planetaria, movimientos sísmicos, explosiones, etc.

Los tipos de propagación de ondas difieren tanto en su período y longitud como en sus mecanismos de control, según la variabilidad de los distintos factores que las originan, por ello los mecanismos del movimiento de las olas es de esencial importancia; ya que aporta una importante cantidad de energía en la conformación de playas, en la generación de sedimentos, transporte de sedimentos. Para variar estas condiciones se construyen estructuras marítimas, las cuales tienen como principal objetivo la de menguar la energía de propagación alterando la dinámica litoral según lo conveniente.

En la Figura N° 1.4, se muestra de forma esquemática la energía de las ondas de superficie asociada a cada frecuencia:



* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Figura N° 1.4 Tipos de onda y sus características.

En el Cuadro N°1.1, se muestra los diferentes tipos de onda con sus diferentes mecanismos generadores, periodos, longitud, así como las fuerzas de control.

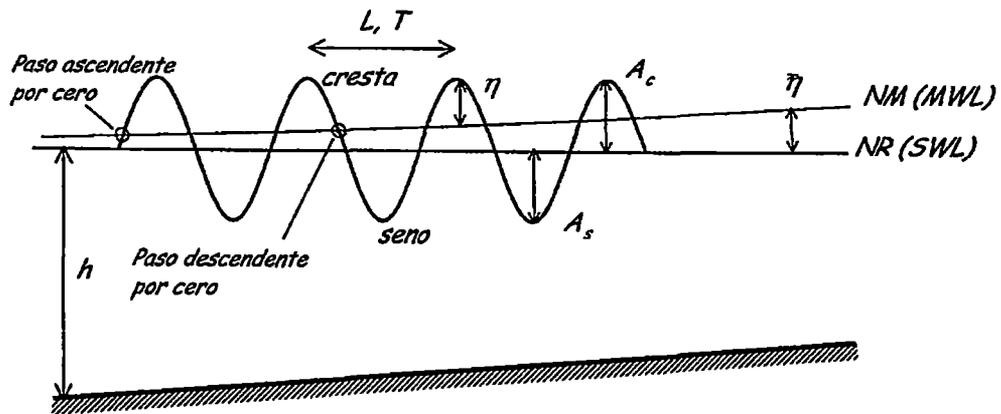
Cuadro N° 1.1 Tipos de ondas principales de acuerdo a su periodo.

TIPO DE ONDA	PERIODO	FUERZA QUE LA PRODUCE	FUERZA QUE LA RESTAURA
Ondas Capilares	menos de 0,1 Seg.	Viento	Tensión Superficial
Ondas de Ultragravedad	0.1 a 1 Seg.	Viento	Tensión superficial, y fuerza de gravedad
Ondas de Gravedad	1 a 30 Seg.	Viento	Gravedad
Ondas infragravitatorias	0.5 a 5 Min.	Viento	Gravedad
Ondas Largas	5 Min. a 12 Hrs.	Tormentas y Tsunamis	Fuerza de Coriolis
Ondas de Marea	12 a 24 Hrs.	Sol y Luna	Fuerza de Coriolis

* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria

1.4.1 Movimiento oscilatorio

Al describir las ondas matemáticamente, se consideran como oscilaciones periódicas y uniformes de la superficie del agua, este desplazamiento vertical con respecto a un nivel medio de referencia se denomina desplazamiento de la superficie libre (η). En la superficie libre se distinguen dos tipos de oscilaciones; las ondas progresivas, que se propagan en una profundidad constante manteniendo su forma; y las ondas estacionarias, las cuales no se propagan.



* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Figura N° 1.5 Parámetros asociados a la onda.

Para describir mejor las oscilaciones describiremos los parámetros, que están asociados a las mismas (Ver Figura N° 1.5), los cuales se detallan a continuación:

- Cresta

La parte más elevada de la superficie del agua que se identifica por la línea que corre por los puntos más altos.

- Seno

La parte más baja, que se identifica por la línea que corre por los puntos más deprimidos, atravesadas ambas líneas por la dirección de propagación.

- Desplazamiento de la superficie libre (η)

Desplazamiento vertical de la superficie del fluido, con respecto a un nivel medio de referencia, en el cual hay ausencia de ondas.

- Altura de la onda (H)

Es la distancia vertical total que existe entre la cresta y el seno.

- Profundidad o calado (h)

Distancia entre el fondo y el nivel de referencia.

- Amplitud de la cresta (A_c)

Es la distancia vertical máxima que hay entre la cresta y el nivel de reposo del fluido.

- Amplitud del Seno (A_s)

Es la distancia vertical máxima que hay entre el nivel de reposo del fluido y el seno. Por tanto,

$$H = A_c + A_s$$

- Amplitud (A)

Es la amplitud de la onda definida en la teoría lineal, donde se cumple que,

$$H = 2A$$

El movimiento oscilatorio debido a su periodicidad temporal y espacial, es en general simétrico respecto a un eje vertical; sin embargo no suele ser simétrico respecto al nivel de reposo; por tanto $A_c \neq A_s$. Solamente en la teoría lineal, la cual está referenciada más adelante, existe un eje horizontal de simetría que es el nivel de reposo; por tanto en esta teoría se cumple $A_c = A_s = A$.

- Longitud de la onda (L_o)

Es la distancia horizontal más corta entre dos puntos idénticos sucesivos, ya sean dos crestas, o dos senos próximos.

- Pendiente (δ)

La relación entre la altura y la longitud.

- Número de onda (k)

Es la relación: $k = 2\pi / L_o$ (1/m)

- Periodo (T_o)

Es el tiempo que transcurre hasta que se observa un punto idéntico de la superficie libre, ya sea dos crestas sucesivas o dos senos sucesivos.

- Frecuencia cíclica (f)

$f = 1/T$ (Hertz).

- Velocidad (C)

Velocidad a la que se traslada sobre la superficie del mar una fase de la ola, cresta o seno.

- Frecuencia angular (ω)

Es la relación de $\omega = 2\pi / T$.

- Edad (β)

Relación entre la velocidad de la ola y la del viento que la genera.

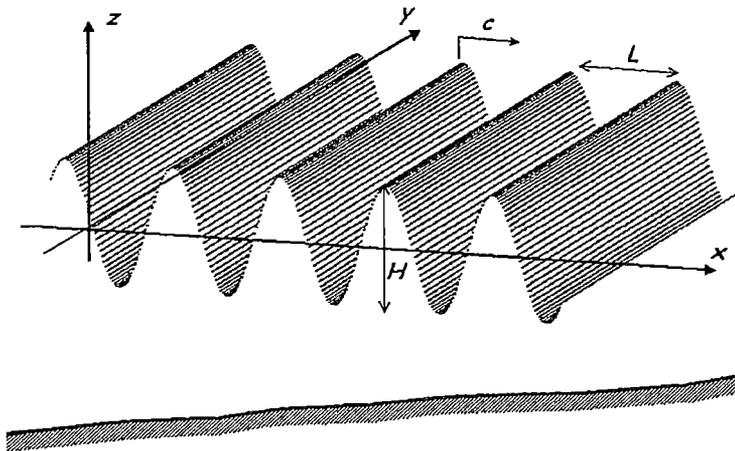
- Dirección (ψ)

Es la orientación de las ortogonales, en la dirección en que se propaga la ola.

- Profundidad Relativa (d/L_0)

Es la relación entre la profundidad del fondo y la longitud de ola.

En la Figura N°1.6, podemos observar como la onda se propaga en el sentido positivo del eje x, por tanto las crestas se extienden hasta el infinito en el eje y.



* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Figura N° 1.6 Parámetros de propagación de ondas

- Velocidad de la onda (C)

La velocidad de una onda puede ser determinada conociendo la longitud y período de la misma, esta velocidad es llamada generalmente *celeridad* o *velocidad de fase*, y se define como:

$$C = L / T \quad (\text{m/s}),$$

o según relaciones anteriores,

$$C = \omega / k \quad (\text{m/s})$$

El primer objetivo de la teoría de ondas es determinar la celeridad de la onda (C), conociendo H, L y h; una vez conocida la celeridad de la onda se puede describir la cinemática de las partículas (velocidad, aceleraciones y desplazamientos) y el campo de presiones a su paso, lo cual es el siguiente objetivo.

1.4.2 Parámetros adimensionales

Las ondas pueden caracterizarse por parámetros obtenidos a partir de las magnitudes representativas de las ondas, estos parámetros son:

$$\varepsilon = k.A = \frac{H}{L} = k.H$$

$$\delta = \frac{A}{h} = \frac{H}{h}$$

$$\varepsilon = k.h = \frac{h}{L}$$

Donde:

ε : peralte de la onda, la variación del movimiento vertical de la onda en una longitud de onda.

δ : Altura relativa de la onda, da una indicación de la oscilación vertical de la onda.

μ : Profundidad relativa de la onda, muestra la penetración del movimiento con la profundidad, también indica si la celeridad está afectada o no por el período de las ondas; es decir la medida de dispersividad.

Dependiendo de la profundidad relativa, h/L las ondas pueden clasificarse en

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{2} \text{ Profundidades indefinidas}$$

$$\frac{1}{20} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2} \text{ Profundidades intermedias}$$

$$\frac{h}{L} < \frac{1}{20} \text{ Profundidades reducidas}$$

Del mismo modo puede expresarse la clasificación en términos del número de onda, k :

$$k.h > \pi \text{ Profundidades indefinidas}$$

$$\frac{\pi}{10} < k.h < \pi \text{ Profundidades intermedias}$$

$$k.h < \frac{\pi}{10} \text{ Profundidades reducidas}$$

Cuando la profundidad relativa es mayor de 0.5 la longitud de la onda se dice que las olas están en “agua profunda”, y cuando ella es menor de 0.5 que se hallan en “agua poco profunda”. En particular, suele decirse también que cuando la profundidad relativa es menor de 0.05 ellas se encuentran en “agua muy poco profunda”.

1.4.3 Regímenes de ondas

Según los parámetros característicos de las ondas se pueden definir dos regímenes de ondas: el régimen de Stokes y el régimen de onda larga, a cada régimen le corresponde ecuaciones y soluciones distintas.

El régimen de Stokes corresponde a problemas en los que la longitud de onda no es muy grande en comparación con la profundidad, es decir, h/L no es muy pequeño, correspondiente a profundidades indefinidas o intermedias. Por el contrario la onda larga, considera el caso en que la longitud de onda es grande en comparación con la profundidad, en general las ondas largas se da cuando $h/L \ll 1$, en el Cuadro N°1.2 se resume la división en términos de profundidad relativa:

Cuadro N°1.2 Régimen de ondas.

Régimen	$k.h$ o h/L
Stokes	≥ 1
Onda Larga	$\ll 1$

* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Dentro de estos dos regímenes, puede hacerse más subdivisiones de acuerdo a los parámetros característicos. En el régimen de Stokes, si las ondas son de pequeña amplitud, es decir, $\delta \ll 1$ o $\varepsilon \ll 1$, corresponde a la teoría lineal de ondas, también denominada teoría de Airy o teoría de Stokes de 1ª orden. A medida que el valor de ε aumenta, aumenta el carácter no lineal de la onda; por tanto es necesario la aplicación de otras teorías como son Stokes II y Stokes III y órdenes superiores.

Para el régimen de ondas largas, la clasificación es más compleja; se puede considerar tres casos diferentes y siempre con $\mu^2 \ll 1$ (Ver Cuadro N°1.3):

Cuadro N° 1.3 Régimen de ondas largas

	U_r	Teoría
$\delta \ll \mu^2$	$\ll 1$	<i>Onda larga lineal</i>
$\delta \sim O^*(\mu^2)$	$O(1)$	<i>Boussinesq</i>
$\delta \gg \mu^2$	$\gg 1$	<i>Onda larga no lineal</i>

* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

El primer caso se consideran ondas de pequeña amplitud, en el segundo caso el término de dispersión es tan importante como es de no linealidad, por tanto da lugar a la teoría de Boussinesq, las ondas en este caso se consideran débilmente no lineales y débilmente dispersivas, dado que la celeridad de la onda depende débilmente de la longitud y período de la onda.

1.4.4 Teoría lineal de ondas

Denominada también de primer orden en el régimen de Stokes, presenta varias ventajas, ya que es la más simple de las teorías, el nivel de reposo coincide con el nivel medio del mar, su carácter lineal permite la eliminación de términos no lineales facilitando soluciones analíticas más sencillas, la solución lineal permite encontrar otras soluciones por superposición. Para simplificar más el modelo, se considera el problema bidimensional de una onda propagándose sin modificar su forma, sobre un fondo horizontal e impermeable. Teniendo en cuenta estas consideraciones de simplificación la ecuación del problema de ondas se reduce a:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$$

La solución del problema se reduce a encontrar la función Φ , para ello se resuelve el problema separando las variables, expresando la función Φ como el producto de funciones que dependen de variables independientes, es decir:

$$\Phi(x, z, t) = X(x).Z(z).T(t)$$

Una de las posibles soluciones del potencial Φ , corresponde a una onda propagándose en el sentido positivo del eje "x", expresado como:

$$\Phi(x, z, t) = -\frac{Ag}{\omega} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t)$$

Se puede identificar tres partes diferentes: La primera el módulo o magnitud del potencial dado como gA / ω , la segunda la función profundidad que resulta de la resolución del problema en z como $\cosh k (h+z) / \cosh kh$, la tercera una función $(kx - \omega t)$ que relaciona x con t .

A este potencial le corresponde una superficie libre en $z = 0$ que se puede determinar mediante la ecuación:

$$\eta(x, t) = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} \right)_{z=0} = A \cos(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$

Esta onda se propaga en el sentido positivo del eje x , como se puede apreciar en la Figura N° 1.7.

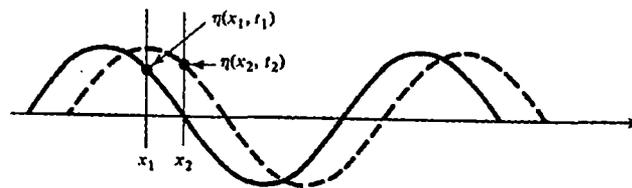


Figura N° 1.7 Propagación del perfil de la onda.

Si la onda se propagara en el sentido negativo del eje x , la solución correspondiente sería:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx + \omega t)$$

Para poder determinar por completo el potencial o la superficie libre asociada a una onda es necesario conocer el número de onda k que se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$\omega^2 = gk \cdot \tanh kh$$

La cual se conoce como ecuación de la dispersión y se obtiene a partir de condiciones de contorno en la superficie libre, en muchas ocasiones suele expresarse en función del período y la longitud:

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

O en función de la celeridad,

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

Pero también existen varias aproximaciones que expresan la ecuación en forma explícita, de entre las cuales destacan la de Fenton y McKee (1990):

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \left[\tanh\left(\frac{\sqrt{h/g}}{T}\right)^{3/2} \right]^{2/3}$$

Esta aproximación es exacta en profundidades reducidas e indefinidas y en profundidades intermedias da un error menor a 1.7%, por lo que se puede considerar válida para aplicaciones ingenieriles.

1.4.4.1 Simplificaciones por profundidades reducidas e indefinidas

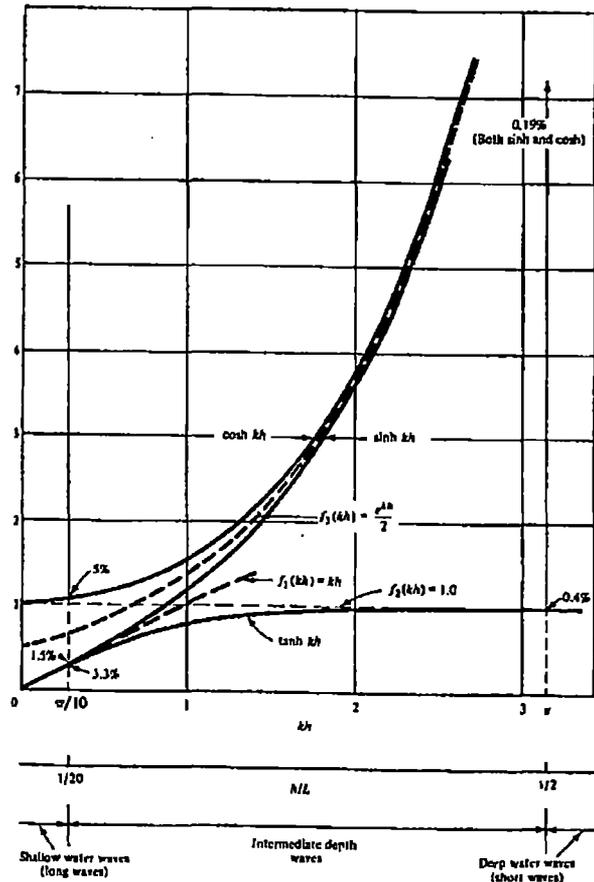
Debido a que las expresiones antes vistas, dependen de las funciones *senh*, *cosh* y *tanh* en función de *kh*; es necesario estudiar las funciones en los límites asintóticos establecidos en profundidades reducidas e indefinidas. Como las funciones hiperbólicas pueden expresarse en función de la función exponencial la simplificación de dichas funciones son:

Cuadro N° 1.4 Simplificaciones por profundidades reducidas e indefinidas

Función	$kh \rightarrow \infty$	$kh \rightarrow 0$
$\cosh kh$	$e^{kh} / 2$	1
$\sinh kh$	$e^{kh} / 2$	kh
$\tanh kh$	1	kh

* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Según esta tabla, en profundidades reducidas la función $\tanh kh$, puede ser reemplazado por kh y en indefinidas por 1. El mayor error que se produce al hacer esta simplificación es de 5% y se produce en profundidades reducidas al sustituir el $\cosh kh$ por 1, como se muestra en la Figura N°1.8:



* Fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica, Universidad de Cantabria.

Figura N° 1.8 Funciones hiperbólicas y sus asíntotas

Para la ecuación de la dispersión se presenta la siguiente simplificación

- Profundidades indefinidas ($kh > \pi$)

$$\omega^2 = gk \cdot \tanh kh \approx gk$$

De ello se obtiene:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2 (m)$$

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1.56T (m/s)$$

Donde:

L_o : Longitud de onda en profundidades indefinidas (m).

C_o : Celeridad en profundidades indefinidas.

Esta ecuación depende exclusivamente del período por lo que puede calcularse para cualquier profundidad en ese rango de kh .

- Profundidades reducidas ($kh < \pi/10$)

$$\omega^2 = gk \cdot \tanh kh \approx gk^2 h$$

$$C = \sqrt{gh}$$

En las relaciones anteriores se nota que en profundidades reducidas la celeridad es independiente del período; por tanto, en una profundidad dada, todas las ondas, independientemente de su período, viajan a la misma celeridad. Este resultado nos concluye que las ondas en profundidades reducidas no son dispersivas.

1.5 GEOSINTÉTICOS

Según la Norma ASTM D4439, define el término Geosintético como:

“Producto planar, fabricado de material polimérico usado con suelo, roca, tierra, u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, como parte integral de algún proyecto, estructura, o sistema hecho por el hombre.”

Estos materiales constituyen un nuevo capítulo para la comunidad de Ingenieros, aplicándolo en diferentes ramas de la ingeniería como es, transporte, geotecnia, medioambiental, hidráulica, entre otras. La rapidez a la que estos productos se están desarrollando y usando es asombrosa, debido a las siguientes razones:

- Son fabricados bajo controles de calidad rigurosos.
- Se pueden instalar rápidamente.
- Algunos se pueden fabricar con recursos reciclados.
- Pueden reemplazar materiales naturales en aplicaciones complicadas.
- Su uso requiere de especificaciones técnicas.

- Generalmente son económicamente competitivos frente a otras soluciones a las que reemplazan.
- Hacen posibles algunas aplicaciones que parecían ser imposibles, debido al alto desempeño y performance.
- Se establecen razonablemente en base a datos técnicos (diseño y pruebas).
- Se comercializan activamente y están ampliamente disponibles a nivel mundial.

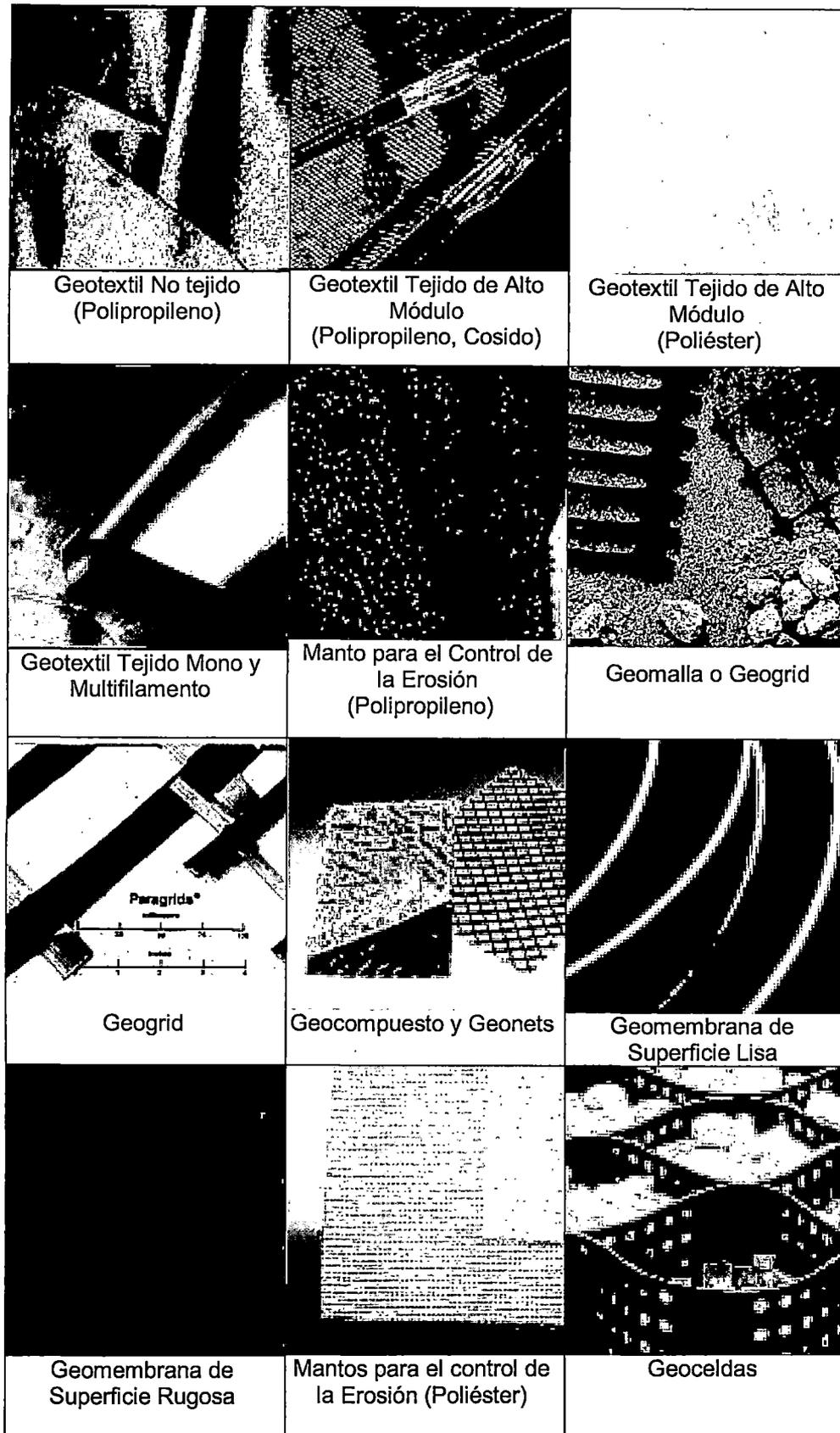
En forma general los materiales geosintéticos realizan seis funciones principalmente:

- Separación.
- Refuerzo.
- Filtración.
- Drenaje.
- Confinamiento (líquidos o gases).

El uso de geosintéticos en ingeniería civil tiene dos propósitos básicos:

- Buen desempeño en donde se aplica.
- Hacer más económico el proyecto, con relación al uso de materiales convencionales.

En la Figura N°1.9, puede apreciarse de modo general los tipos de Geosintéticos principales.



*Fuente: Internet

Figura N° 1.9 Tipos de Geosintéticos

1.6 GEOTEXTILES

Según la Norma ASTM D4439, geotextil es definido como:

“Un Geosintético permeable conformado solamente de textiles. Los geotextiles se utilizan en cimentaciones, suelo, roca u otro material geotécnico relacionado a la ingeniería, como parte integral de un proyecto, estructura o sistemas hechos por el hombre”.

Ha sido notorio el gran crecimiento de las manufacturas de geotextiles, en las cuales se han desarrollado muchos tipos de fibra y estilos de tejido para usos generales y específicos. En lo que se trata a fabricación tres puntos son relevantes; el tipo de polímero, el tipo de fibra, el tipo de tejido; el detalle de cada uno se describe a continuación.

1.6.1 Tipo de polímero

Los polímeros más usados en la fabricación de geotextiles son hechos de los siguientes materiales poliméricos, listados en orden decreciente de acuerdo a su producción:

- Polipropileno (= 92%)
- Poliéster (= 5%)
- Polietileno (= 2%)
- Poliamida (nylon) (= 1%)

En el Cuadro N°1.5, se presentan algunas propiedades relevantes de los tipos de polímeros usados en la fabricación de Geotextiles.

Cuadro N° 1.5 Algunas Propiedades de los Polímeros.

TIPO DE POLIMERO	PESO ESPECIFICO	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TERMAL (x 10 ⁻⁵ per 1°C)	EFECTO POR EL CALOR
POLIETILENO (alta densidad)	0.96	13	Fusión entre 110 y 140 °C
POLIPROPILENO (filamentos y cintas planas)	0.91	6	Fusión entre 160 y 170 °C
POLIÉSTER Tenacidad Media Filamentos	1.22 ó 1.38	4 a 5	Fusión entre 250 y 290 °C
Alta Tenacidad Filamentos	1.22 ó 1.38	4 a 5	Fusión entre 250 y 290 °C
Tenacidad Media Cinta plana	1.22 ó 1.38	4 a 5	Fusión entre 250 y 290 °C
Tenacidad Alta Cinta Plana	1.22 ó 1.38	4 a 5	Fusión entre 250 y 290 °C
NYLON Nylon 66 (Tenacidad media)	1.14	5.5	Fusión en 260°C
Nylon 66 (Tenacidad alta)	1.14	5.5	Fusión en 260°C
Nylon 66 (Cinta Plana)	1.14	5.5	Fusión en 260°C
Nylon 6 (filamentos)	1.14	5.0	Fusión entre 210 y 220°C
Nylon 6 (Cinta plana)	1.14	5.0	Fusión entre 160 y 220 °C

*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición

Del cuadro se puede observar que existen polímeros más livianos que el agua (polietileno y poliéster), que todos los polímeros tienen temperaturas de fusión muy altas; pero es el producto final, el que interesa al diseñador y el usuario final de construcción.

1.6.2 Tipo de fibra

Dentro de las principales fibras usadas en la fabricación de geotextiles tenemos; los monofilamentos, los multifilamentos, fibras planas discontinuas, cintas planas monofilamento y cintas planas multifilamento; todas estas se pueden agrupar en tres grupos:

- Filamentos o Estambres de Polímeros Pre fabricados (un estambre puede consistir de una o más fibras). Al iniciarse el proceso el material se funden y se fuerza a pasar a través de un dispositivo especial en forma de disco perforado (spinneret). Las fibras resultantes son luego solidificadas y estiradas, reduciendo su diámetro. Mediante el enfriamiento, la resistencia de las fibra así como su módulo aumenta, pero no su elongación. Estos monofilamentos pueden torcerse juntos para formar un estambre de multifilamentos.
- Fibras Planas (Staple Fibres), se obtienen en conjuntos de filamentos continuos, en forma de gruesas cuerdas, llamadas tow. Estas se envuelven formando una especie de soga de mayor grosor para luego ser cortada en longitudes de 25 a 100 mm. Los pedazos de fibra resultante son finalmente hilados para formar los estambres para la fabricación del tejido deseado.
- Fibras de Monofilamento o Cinta Plana (slit-film), estas fibras, están hechas de una hoja continua de polímero que es cortado en fibras por cuchillos o inyectores de aire, las fibras resultantes son similares a cintas de casetes de música. Estos monofilamentos también pueden torcerse juntos para hacer un multifilamento.

Para el caso de Geocontenedores se usan geotextiles fabricados con fibras de multifilamento.

1.6.3 Tipo de tejido

Los tipos de tejido de geotextil, son:

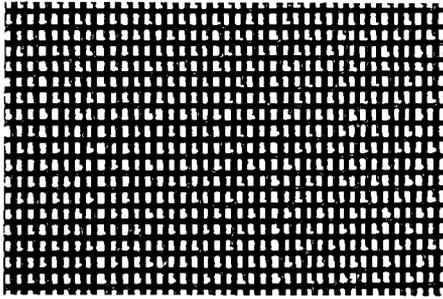
- Tejido
- No tejido
- Enlazados

Varios tipos de Geotextiles tejidos y no tejidos pueden apreciarse en la Figura N°1.10.

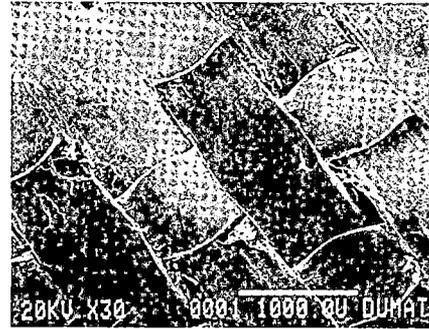
Para la fabricación de los Geotextiles Tejidos, se utiliza máquinas de tejer convencionales. El modelo particular del tejido es determinado por la secuencia en la que las hebras son insertadas en el tejido y la posición de las siguientes urdimbres (ver Figura N°1.11 y Figura N°1.12).

Esta forma de fabricación da lugar a distintos tipos de tejidos:

- Tejido simple, es el más común también conocida como uno arriba y otro abajo.
- Doble Tejido, en el cual se usan dos o más urdimbres y/o hilos de relleno como si fuera uno.
- Tejido diagonal, en el que se mueve una línea diagonal inferior a través de las intersecciones de los tejidos.
- Tejido múltiple, los hilados de la trama se realiza sobre muchos hilos lo que resulta una superficie lisa y brillante.



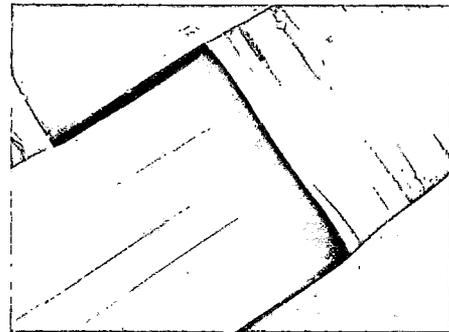
a) Monofilamento Tejido



b) Monofilamento tejido,
calandrado



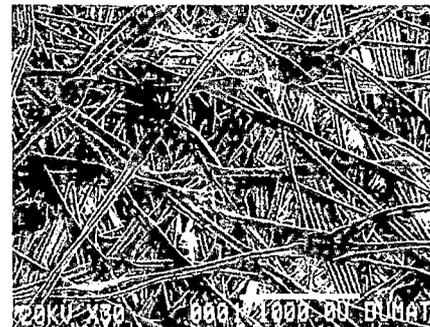
c) Multifilamento tejido



d) Tejido slit-film



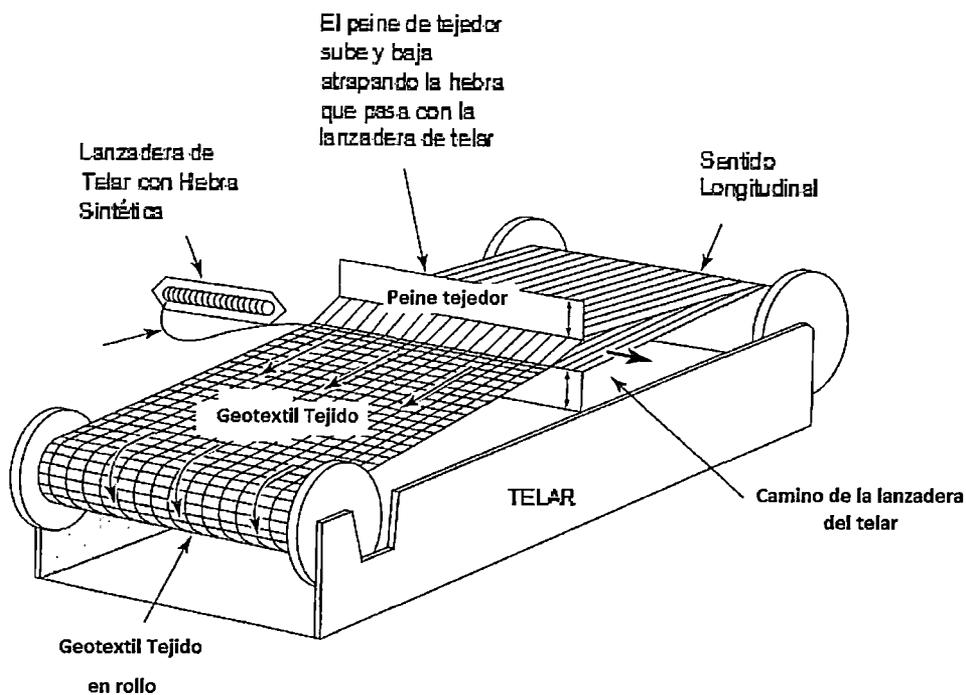
e) No tejido Punzonado por agujas



f) No tejido termofundido

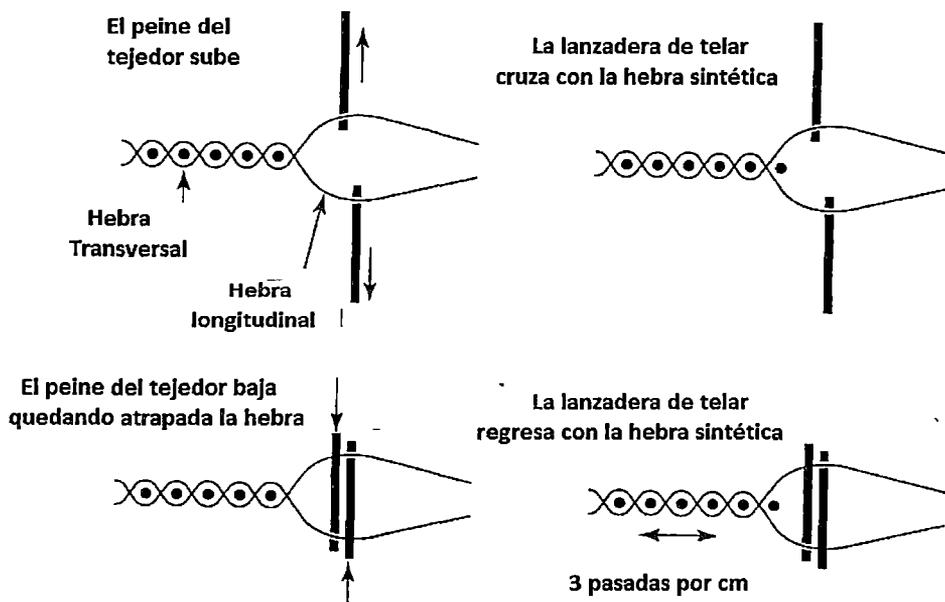
* Fuente Designing with geosynthetics, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.10 Microfotografías de Varios Geotextiles



* Fuente Designing with geosynthetics, Robert M. Koerner, Cuarta Edición

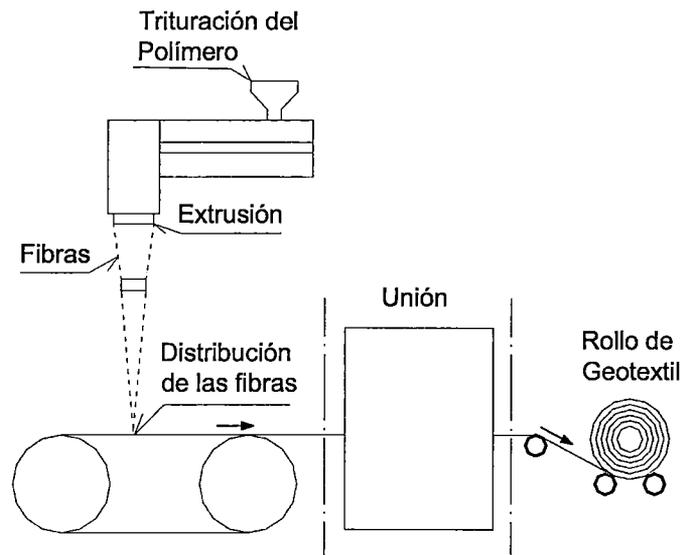
Figura N° 1.11 Componentes Principales e Identificación de los Términos en Una Máquina de Tejer



* Fuente Designing with geosynthetics, Robert M. Koerner, Cuarta Edición

Figura N°1.12 Acción del Peine de Tejedor en la Inserción de los Estambres y Composición del Tejido

La fabricación de geotextiles no tejidos, se realiza mediante el proceso de hilado-unión de las fibras, las que se hacen fluir por un extrusor forzándolas a pasar a través de un hilera o una serie de hileras. Las fibras normalmente son estiradas, para luego ser enfriadas, entonces se ponen en una banda transportadora para formar un enmarañado continuo. Finalmente el enmarañado queda unido por método termal, químico, o mecánico y toma su forma final (vea Figura 1.13)



* Fuente Designing with geosynthetics, Robert M. Koerner, Cuarta Edición

Figura N° 1.13 Diagrama del Proceso de Unión de las Fibras en la Confección de los Geotextiles.

1.6.4 Propiedades y métodos de ensayos para los geotextiles

Es sorprendente que en el campo creciente de los geotextiles aún no haya un conjunto de métodos y ensayos estandarizados a nivel mundial. Las organizaciones involucradas a dicho fin están esparcidas y distribuidas en el amplio espectro de potenciales usuarios: suministradores de materia prima, fabricantes, contratistas e instaladores, organizaciones de ensayos, firmas de diseño de ingeniería, organizaciones de investigación, propietario y regulador.

Hay grupos de estandarización en todo el mundo involucrado en proponer, evaluar, modificar y finalizar en estándares de geotextiles, individualmente o en forma corporativa. Para los estándares de geotextiles hay una conexión con los estándares de los textiles (textiles tejidos, tejidos industriales, etc), la industria textil es antigua y amplia que tiene interés directo e implicancia en los geotextiles; los métodos de fabricación son idénticos, pero con aplicaciones distintas.

Los ensayos que difieren para los textiles y geotextiles son los que involucran la hidráulica, endurecimiento y propiedades ambientales, los que son generalmente ensayos nuevos orientados a los geotextiles.

Los dos grupos principales en el desarrollo y promoción de métodos estandarizados son American Society for Testing and Materials (ASTM) y la Internacional Organization for Standardization (ISO) sin embargo hay varias organizaciones más a nivel mundial, como lo muestra la siguiente lista:

- Geosynthetic Research Institute (GRI) of Drexel University (Internacional)
- The American Society for Testing and Materials (ASTM), con su Comité D35 (EE.UU)
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (EE.UU.)
- International Organization for Standards (ISO) (Internacional)
- Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station (EE.UU)
- Transport and Road Research Laboratory (TRRL) (Ú.K.)
- Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) (Internacional)
- Canadian General Specification Board (CGSB) (Canada)
- European Disposables and Non wovens Associated (EDANA) (International)
- European Community Normalization (CEN) (Europa)
- British Standards Institution (U.K.)

Una meta del Comité de Normas y Especificaciones de la Sociedad Internacional de Geosintéticos (IGS) es reunir, comparar, y suministrar información sobre las normas para los geosintéticos, incluyendo los geotextiles.

Esta sección muestra las perspectivas sobre los métodos de ensayo en uso, o los más usados para los Geotextiles. Los ensayos se subdividen en las siguientes categorías: Propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas, durabilidad y degradación.

1.6.5 Propiedades físicas

Se refieren a la fabricación o recepción de geotextiles, así como a su control de calidad, también son llamadas como ensayos índices.

1.6.5.1 Gravedad Específica

La gravedad específica de las fibras con las que se fabrican los geotextiles es realmente la gravedad específica del material polimérico usado como base para su fabricación (ver ASTM D792 o D1505). Usualmente, la gravedad específica se define como la relación existente entre el peso por unidad de volumen del material (sin vacíos) con respecto al agua destilada a 4°C. A continuación se listan los valores típicos de gravedad específica de los materiales poliméricos usados en los geotextiles, también algunos de uso común para sus comparativos:

Acero	=	7.87
Suelo/Roca	=	2.4 a 2.9
Vidrio	=	2.54
PVC	=	1.69
Algodón	=	1.55
Poliéster	=	1.38 a 1.22
Nylon	=	1.14 a 1.05
Polietileno	=	0.96 a 0.90
Polipropileno	=	0.91

Note que la gravedad específica de algunos de los polímeros es menor de 1.0, esto debe ser considerado cuando se trabaja bajo el agua (algunos de ellos flotarán).

1.1.1.1 Masa por unidad de área (peso)

La masa por unidad de área es el término apropiado para cuando las personas se quieren referir al peso de un geotextil. También es llamado peso base, pero es incorrecto; ya que, ni el peso, ni el peso base, consideran el área. La masa del Geotextil por unidad de área se da en gramos por metro cuadrado (gr/m^2); a veces, también se listan otros valores en la literatura, como gramos por metro

lineal en un geotextil de espesor dado. Los métodos de ensayo son: ASTM D5261 e ISO 9864.

El rango típico de valores para la mayoría de geotextiles es de 150 a 750 gr/m². Esta es una propiedad importante, ya que el costo de la tela del geotextil está directamente relacionada propiedad.

1.6.5.2 *Espesor*

Esta propiedad es a veces mencionada en las especificaciones técnica; pero en realidad es una propiedad más descriptiva que para diseño. Se mide como la distancia entre las superficies superior e inferior del tela, bajo una presión especificada (la ASTM D5199 especifica una precisión menor a 0.02 mm bajo una presión de 2 KPa, la ISO 9863 permite seleccionar la presión). Los espesores de los geotextiles normalmente usados van de 0.25 a 7.5 mm .

1.6.5.3 *Rigidez*

La rigidez o flexibilidad de un geotextil no debe ser confundida con el módulo de rigidez (el cual se determina como la porción inicial de la curva esfuerzo – deformación). Esta prueba es medida de la interacción entre el peso del geotextil y su rigidez a la flexión, llamándose más apropiadamente como rigidez a la flexión. Se mide la longitud que sobresale de la superficie, cuando la punta del geotextil se dobla por su propio peso y adopta un plano de 41.5° con la horizontal, la mitad de esta longitud es la longitud de flexión del espécimen, para ello se toma un espécimen de tira de 25 mm de ancho, expresándose su valor en miligramos-centímetro (mg-cm). Esta propiedad indica la capacidad del geotextil de suministrar una superficie de trabajo adaptable en la instalación. El método de ensayo es designado como ASTM D1388.

1.6.6 *Propiedades Mecánicas*

Estas propiedades se refieren a esfuerzos de tensión movilizados a partir de cargas aplicadas y/o condiciones de instalación:

1.6.6.1 Compresibilidad

La compresibilidad de un geotextil es la variación de su espesor con la aplicación de esfuerzos normales. En la mayoría de los geotextiles; tejidos, no tejidos, termoligados y calandrados, la compresibilidad es relativamente baja y de poca influencia en el diseño. Sin embargo, para los geotextiles no tejidos agujados o adheridos con resina, si es importante, porque a menudo se usan este tipo de tejidos para conducir líquidos dentro de su estructura; es decir, a más compresión de la tela, menor trasmisividad.

1.6.6.2 Resistencia a la tensión

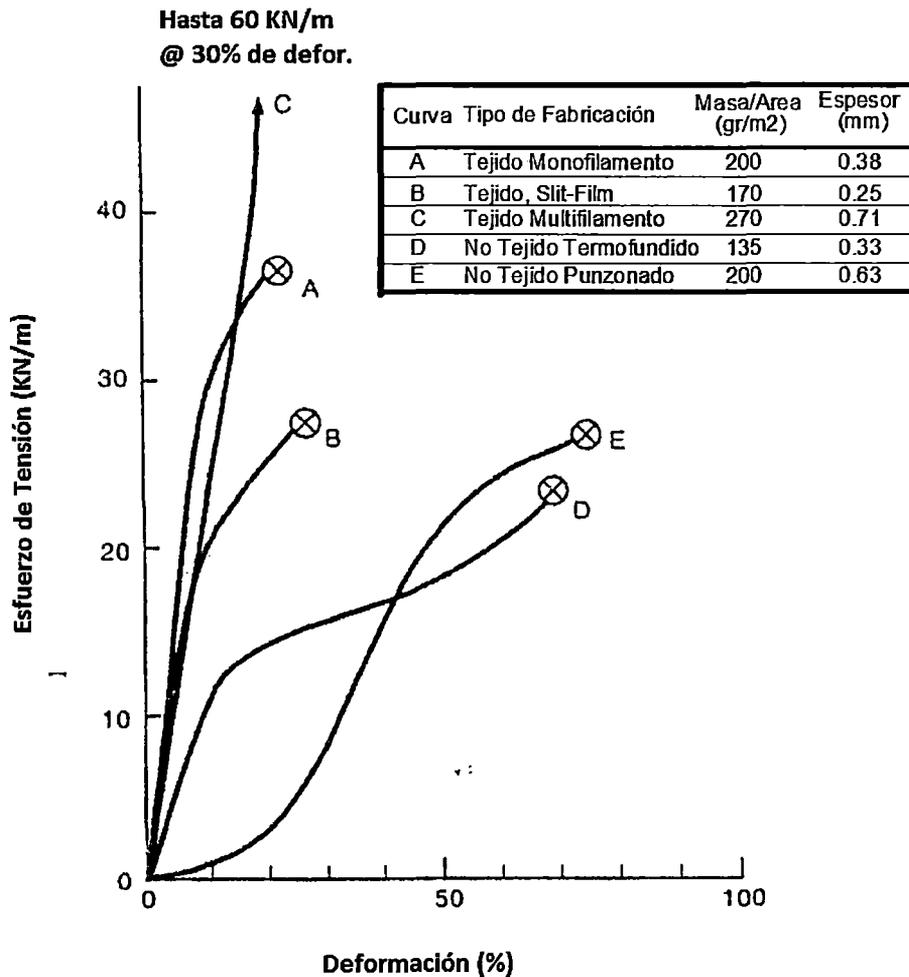
De las propiedades mecánicas, esta es una de la más importante; ya que, todas las aplicaciones de los geotextiles se relacionan a esta propiedad; ya sea en función primaria (como en aplicaciones de refuerzo) o en función secundaria (como de separación, filtración, drenaje, o confinamiento).

La prueba básica consiste en colocar el geotextil entre un conjunto de ganchos, para luego colocar el arreglo en una máquina, la cual se tensionará hasta que falle. Durante el proceso del ensayo, es usual medir la carga y la deformación, de tal forma que pueda generarse la curva de Esfuerzo vs. Deformación (el esfuerzo normalmente se da en fuerza por unidad de ancho y la deformación se calcula dividiendo la elongación, entre la longitud inicial del espécimen) De la curva Esfuerzo vs. Deformación se pueden obtener los siguientes datos:

1. Esfuerzo de tensión máxima del geotextil ensayado.
2. Deformación en la falla (generalmente llamada elongación máxima o simplemente elongación)
3. Tenacidad (trabajo por unidad de volumen antes de la falla, usualmente tomada como el área bajo la curva esfuerzo vs. deformación).
4. Módulo de elasticidad (la pendiente de la porción inicial de la curva esfuerzo vs. deformación.)

En la Figura N° 1.14 se dan respuestas de Geotextiles fabricados por distintos procesos, en este se nota que en el eje de ordenadas va la fuerza de tensión por unidad de ancho del geotextil (kN/m) que no es una unidad de esfuerzo; para obtener unidades de esfuerzo, este valor debe dividirse entre el espesor del

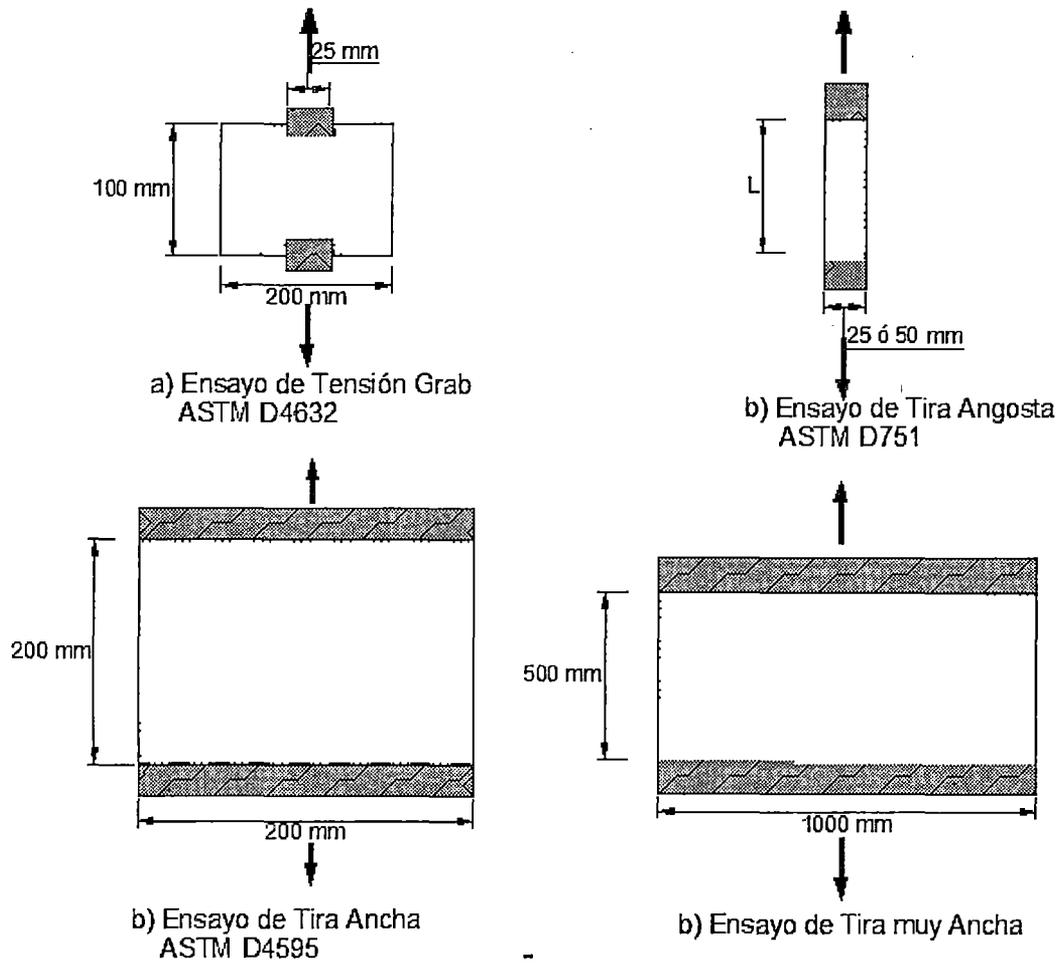
geotextil, pero esto no se hace normalmente debido a la gran variación del espesor bajo la carga y durante el proceso de expansión. Esto tiene implicaciones para los valores de tenacidad y módulo; ya que también deben ser divididos por el espesor del geotextil, para obtener unidades convencionales en ingeniería.



*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.94 Respuesta del ensayo de tensión de Geotextiles Fabricados por diferentes procesos.

Respecto al tamaño de las muestras a ensayar, estas varían de acuerdo a la norma de referencia. En Figura N°1.15 pueden apreciarse los tamaños más comunes de los especímenes.

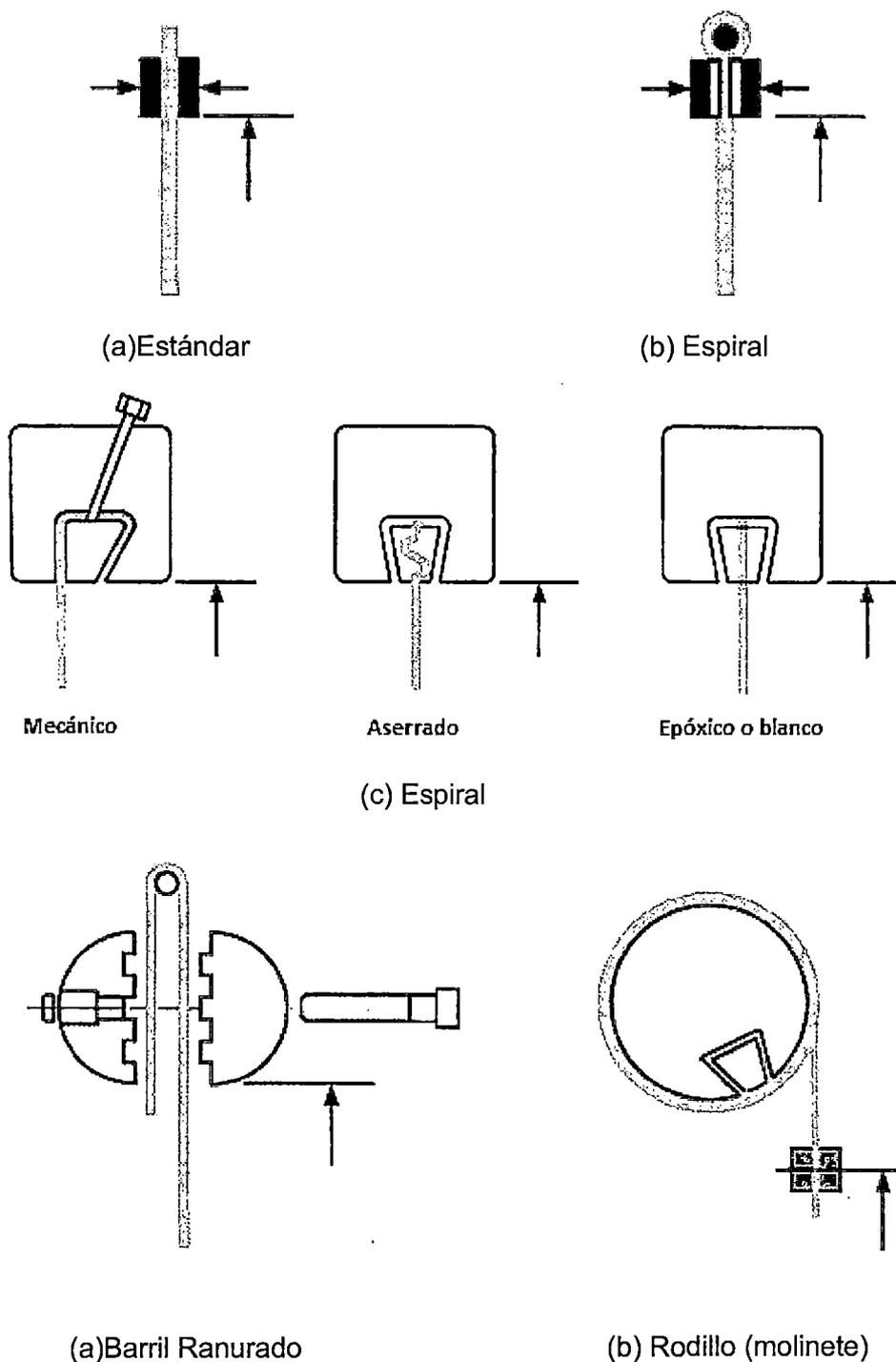


*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.105 Diferentes Especímenes de Ensayo a la Tensión para obtener resultados de resistencia de la tela.

Se necesita tener especímenes anchos porque los geotextiles, especialmente los no tejidos, cuando están tensionados, tienden a tener un efecto severo de relación de Poisson, dando valores altos ante un esfuerzo de tensión creciente; debido a esto, la tendencia en el diseño es usar especímenes anchos. El ensayo de muestra ancha más común, es La Prueba de Tira Ancha, normada por la ASTM D 4595 y el ISO 10319; ambas usan un espécimen de 200 mm de ancho y 100 mm de longitud entre las caras de los sujetadores. El espécimen usado en la prueba, debe seguir usándose para control de calidad del fabricante o en ensayos de conformidad. No hay ninguna relación universal entre la forma o los tamaños de los especímenes, por eso la elección depende del uso de datos.

Cuando se incrementa la resistencia de los geotextiles que son ensayados, surgen cierto número de problemas, como la necesidad de una máquina de alta capacidad, o el uso de los tipos de sujetadores del geotextil (ver Figura N°1.16).

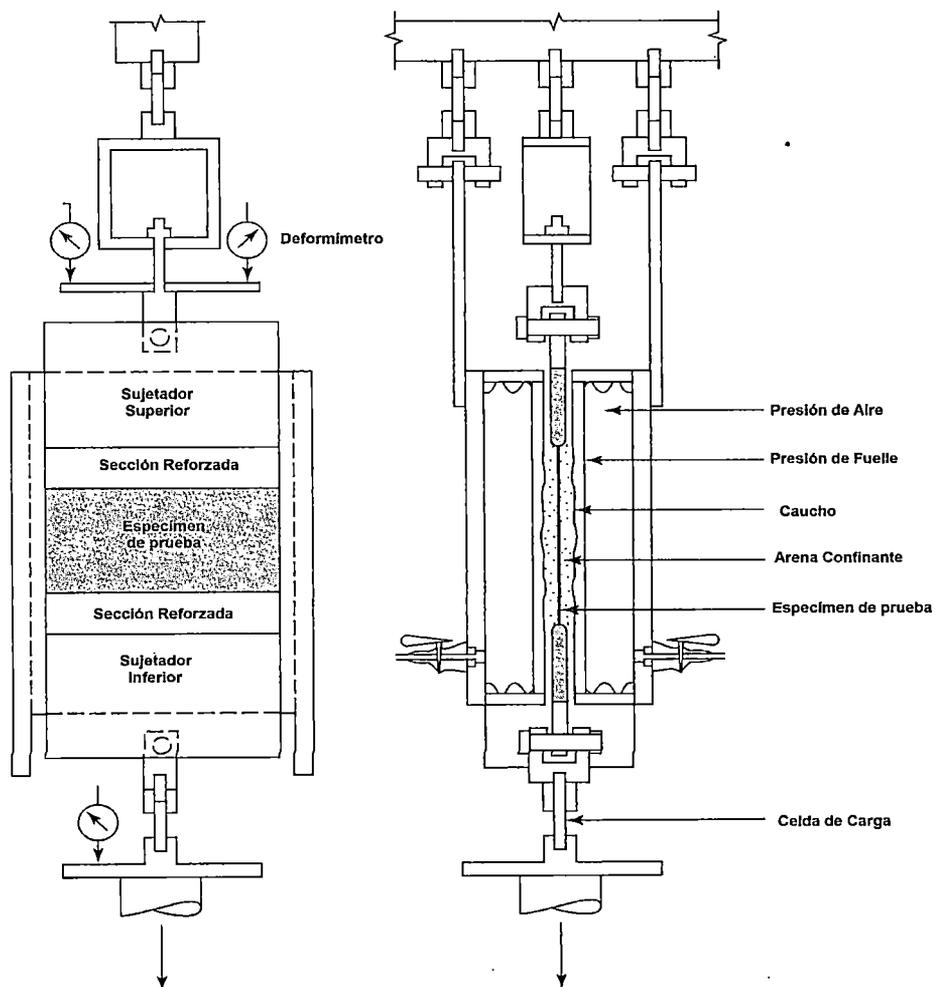


*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.1611 Diferentes Tipos de sujetadores para ensayo de Geotextiles
 (Adaptado de Miles y Caswell).

1.6.6.3 Resistencia a la tensión confinada

Todos los ensayos descritos se realizan sin presión de confinamiento lateral, lo que puede dar resultados diferentes al uso real de los geotextiles; por ello McGraw y colaboradores, han incorporado una cámara en forma de caja separada en dos mitades (ver Figura N°1.17), en la cual el geotextil se coloca entre dos membranas lubricadas y una capa delgada de suelo que ha sido presurizado por fuelles de caucho. El espécimen usado para este ensayo tiene 200 mm de ancho y 100 mm de largo. Es particularmente importante para obtener el valor del módulo de geotextiles no tejidos agujados, cuando se usan métodos de diseño por elementos finitos, aunque es un ensayo tedioso.



*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

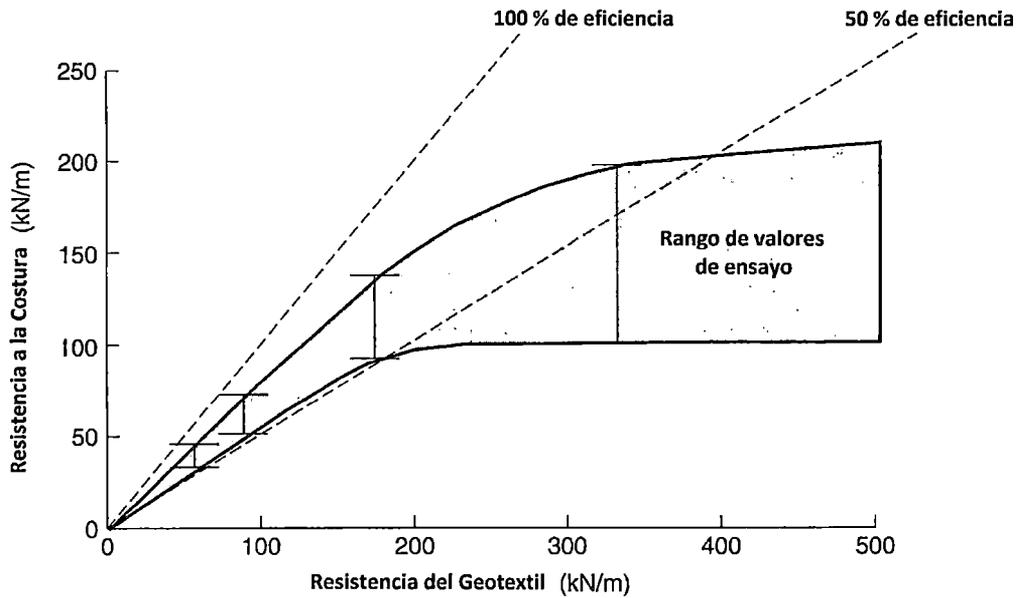
Figura N° 1.127 Geotextil colocado bajo confinamiento lateral, en el ensayo de tensión

1.6.6.4 Resistencia a la costura

En muchas ocasiones los extremos o lados de los rollos de geotextiles, tienen que ser unidos con el propósito de transferir la tensión o realizar estructuras de paños más grandes; el método más común para este fin es el cosido; pero cualquiera sea el tipo de costura elegida, estas deben ser evaluadas en laboratorio para verificar la capacidad de transferencia de un rollo a otro. La norma ASTM D4884 especifica los siguientes requerimientos:

- La forma del espécimen cosido es de 200 mm ancho, excepto en la costura en sí, donde se permiten hasta 250 mm de ancho; esto se realiza con el fin de tener en cuenta la pérdida de resistencia de la costura, cuando se cortan las hebras durante la preparación del espécimen.
- La carga última resultante es dividida entre 200 mm de ancho y se registra en kN/m.
- El porcentaje de elongación es de 10% como mínimo, dependiendo del tipo de geotextil.
- No se requiere la medida de la elongación transversal en la costura; ya que el ensayo solo mide el esfuerzo a la tensión.

En la Figura N°1.18 se puede apreciar el comportamiento de campo de costura en los geotextil. En general se tiene que para geotextil de mayor resistencia la eficiencia de costura (relación entre tensión de costura y la tensión del geotextil) se va reduciendo; como es el caso de los geotextiles de 200 a 250 KN/m, en los cuales lo mejor que se puede hacer, son eficiencia de 50 %, y para el caso de 20 KN/m se puede lograr eficiencias de 100 %.



*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.18 Comportamiento del campo de Costuras de Geotextiles.

1.6.6.5 Resistencia a la fatiga

Es la propiedad del geotextil de resistir cargas cíclicas antes de fallar. Para realizar este tipo de ensayo, el espécimen generalmente de muestra ancha, es sometido longitudinalmente a una tasa constante de extensión a una carga determinada (inferior a la falla), para luego disminuir o llegar a cero. Este ciclo se repite hasta que la falla ocurra. La carga resultante en la falla se convierte a esfuerzo y este valor se expresa como una fracción del esfuerzo cuasi-estático aplicado en la falla, llamado resistencia tensional. Aunque varias variables quedan por definir, el ensayo simula razonablemente las condiciones in-situ para cargas cíclicas y ferroviarias y para la acción de olas o mareas. Con este ensayo se puede generar una gráfica Esfuerzo – Deformación para el geotextil.

1.6.6.6 Resistencia al estallido

Hay dos métodos de ensayo, a los que se esfuerza al geotextil fuera de su plano movilizándolo tensión, hasta que ocurra la falla. El más común, es el ensayo de Estallido Mullen, que se explica en la Norma ASTM D 3786. En este ensayo se usa una membrana de jebes para distorsionar el geotextil en forma de una semi-esfera de 30 mm de diámetro. El estallido del geotextil ocurre cuando no es posible mayor deformación. Se usa frecuentemente para el control de calidad del

producto, por ello es citado en muchas hojas de especificaciones de los proveedores.

1.6.6.7 *Ensayos al rasgado*

A menudo, los geotextiles están sometidos a esfuerzos de rasgado durante su instalación. Mientras un ensayo simule dichas condiciones, es importante ver los métodos especificados hasta el momento, los cuales varían ampliamente en sus respuestas.

Ensayo de Rasgado Trapezoidal, normado por la ASTM D 4533; es la fuerza requerida para romper las hebras o estambres individuales en el geotextil. El espécimen se coloca en una máquina de ensayo a tensión pero sujeta en forma oblicua; para iniciar el proceso, se hace un corte de 15 mm. La carga esfuerza las hebras sujetadas por las grapas en vez de estresar la estructura del geotextil. Este valor se reporta en las especificaciones técnicas de casi todos los fabricantes.

1.6.6.8 *Ensayos al impacto*

Debido a los objetos (rocas, herramientas y otros) que caen durante la construcción, pueden crear agujeros fácilmente en los geotextiles; por ello se han desarrollado numerosos ensayos para evaluar la resistencia al impacto en los geotextiles. Comúnmente se usa un cono pesado o un dardo que cae libremente desde una altura conocida sobre el geotextil, el geotextil está sujeto en un contenedor vacío tal como un molde de CBR. La cantidad de penetración del cono en el geotextil es indicativa de su resistencia al impacto.

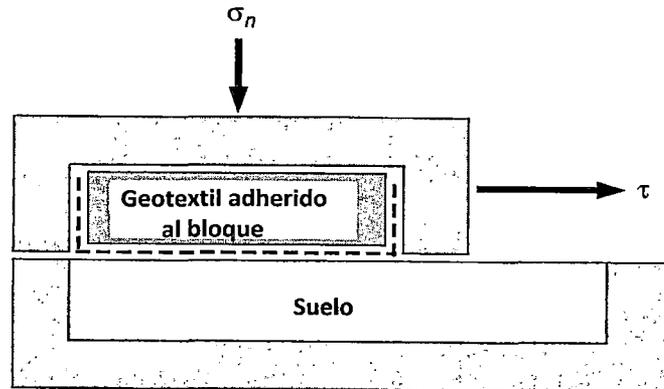
1.6.6.9 *Ensayos al punzonamiento*

Ensayo dinámico, para hallar la resistencia de los geotextiles a la caída de objetos punzonantes; como piedras, palos, rocas, fierros, etc; bajo condiciones cuasi-estáticas. Este ensayo se describe en la Norma ASTM D 4833; en la que se usa una punta de acero de 8 mm de diámetro que deberá penetrar el geotextil, sujeto fuertemente en un cilindro vacío de 45 mm de diámetro; para que la aguja presione a través de él, por medio de una máquina de ensayo a compresión. La resistencia es medida en unidades de fuerza.

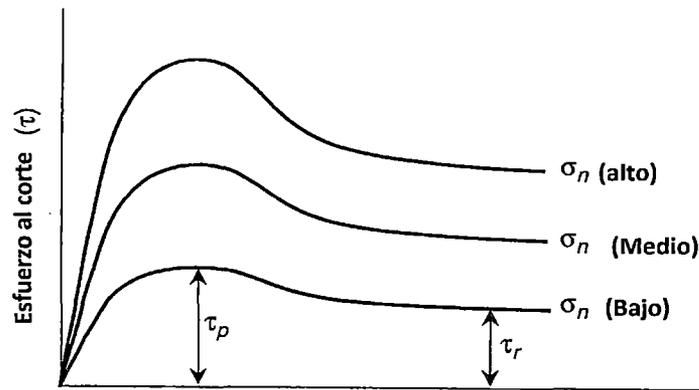
En el Perú la Norma Técnica Peruana que rige este ensayo es la NTP 339.506 llamada "Método de Ensayo para la Resistencia al Punzonamiento de Geotextiles, Geomembranas y Productos Afines".

1.6.6.10 Comportamiento a la fricción

En muchas aplicaciones es necesario conocer el comportamiento suelo-geotextil. La configuración más común de ensayo de corte directo usado en ingeniería geotécnica, puede apreciarse en la Figura N°1.19 (a), en la cual se muestra como el geotextil se fija en una de las mitades del dispositivo y se coloca el suelo en la otra mitad; luego de la aplicación de un esfuerzo normal, se moviliza una fuerza de corte hasta que se presenta el deslizamiento entre el geotextil y el suelo. Cuando este ensayo se repite a diferentes esfuerzos normales y se grafica la información, se obtiene una curva tipo el criterio de falla Mohr – Coulomb, como puede apreciarse en la Figura N°1.19 (b). Algunas interfaces pueden resultar con una caída de la resistencia pico a un valor más bajo la resistencia residual; por ello se grafica una segunda curva que definirá la resistencia residual, como puede apreciarse en la Figura N°1.19 (c).

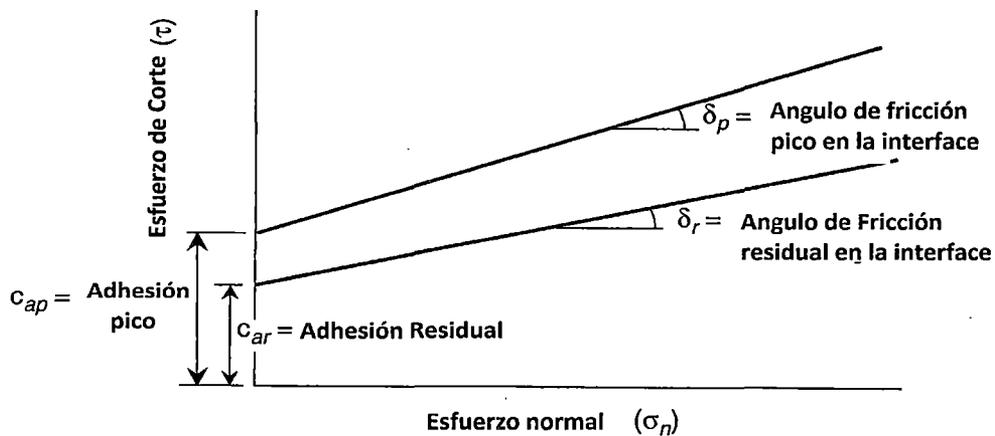


(a) Dispositivo de ensayo de Corte Directo



Desplazamiento del Corte

(b) Datos del ensayo de corte Directo



(c) Espacio de Esfuerzos Mohr - Coulomb

*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.139 Disposición y Procedimiento de ensayo para determinar los esfuerzos de corte en la Interface involucrando Geotextiles.

1.6.7 Propiedades Hidráulicas

Estos tipos de ensayos han requerido conceptos nuevos y métodos, dispositivos, interpretación, base de datos, originales; ya que no son aplicados en la industria textil, la cual sirve de base para los geotextiles. A continuación se describen los ensayos en geotextiles solos y con suelo.

1.6.7.1 Porosidad

Es la relación del volumen de vacíos al volumen total, está relacionada a la habilidad del líquido de fluir a través o dentro del geotextil; pero no es muy usual su medición directa, para ello se calcula a partir de otras propiedades del geotextil:

1.6.7.2 Tamaño de abertura aparente (TAA)

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU, desarrolló un ensayo para medir el tamaño de abertura aparente. El TAA está definido en la Norma ASTM D 4751, la cual usa diámetros conocidos de esferas de vidrio y determina el tamaño O_{95} por tamizado en seco. El O_{95} es el diámetro de las esferas en mm, en la que sólo el 5% de las mismas atraviesa el espécimen. La debilidad de este ensayo, es que este valor, sólo define un tamaño de abertura en particular y no la distribución de tamaños de poros en total; pero sigue siendo usada por su facilidad de ensayo.

1.6.7.3 Permitividad

Una de las mayores funciones que los geotextiles realizan es la filtración (llamada incorrectamente drenaje). La Norma que rige este ensayo, es la ASTM D 4491, en la cual, en la filtración el líquido fluye perpendicularmente a través del geotextil hacia una piedra triturada, tubería perforada u otro sistema de drenaje. Es importante que el geotextil permita fluir el líquido sin ser obstaculizado.

1.6.7.4 Transmisividad

Es el flujo del agua en el plano del geotextil, donde la variación en el espesor del geotextil (su compresibilidad bajo una carga) es importante.

1.6.7.5 Retención de suelo

Una variación de esta prueba trata del uso de geotextiles como cortinas de cieno subacuáticas (o sedimento). El dispositivo de ensayo, consta de dos tanques rectangulares que se colocan extremo con extremo con puertas deslizantes una frente a la otra. Entre estas dos puertas deslizantes se encuentra la muestra de prueba del geotextil. El tanque ascendente con su compuerta cerrada, se llena con agua con cierta concentración de sedimentos, la válvula de la puerta en los extremos de salida del tanque descendente está abierta. La prueba empieza cuando las puertas deslizantes a cada lado del geotextil se levantan, permitiendo que el agua turbia pase a través del geotextil, el cual actúa como un filtro de suelo sumergido. Para mantener la carga constante se agrega en forma continua agua clara al tanque ascendente. En esta prueba se generan dos valores:

- El régimen de flujo y la velocidad a través del geotextil.
- Porcentaje de sólidos que pasa a través del geotextil.

1.6.8 Propiedades de durabilidad

En muchas ocasiones se pueden causar daños al momento de instalar el geotextil. Por ello se considera Factores de Reducción por Daños de Instalación, en caso de las siguientes aplicaciones:

- Resistencia a la Tensión.
- Resistencia al Punzonamiento.
- Resistencia al Rasgado.
- Resistencia al Reventado.

Este factor de reducción por daños de Instalación, lo especifican los proveedores según el tipo de geotextil que tengan.

1.6.8.1 Ensayos Creep (Esfuerzo Cortante)

Es la elongación del geotextil bajo carga constante; para esta prueba, el geotextil es esforzado por un peso constante (que es el 20%, 40% o 60 % de la carga del ensayo a tensión), aplicado por lapsos de tiempo que por lo general están entre 1000 a 10000 horas; graficándose la elongación del geotextil. Las Normas

ASTM D5262 e ISO/DIS 13431, describen los procedimientos de este ensayo. Este valor de Reducción por Creep también es especificado por los proveedores de geotextiles.

1.6.8.2 Abrasión

Es el desgaste de cualquier parte del material debido al roce contra otra superficie. Un método para su evaluación es el de Plataforma rotatoria, doble cabezal; en la cual se toma una muestra de 90 mm de diámetro exterior y 60 mm de diámetro interior de geotextil, colocándose sobre una base de goma en la plataforma la cual tiene dos cabezales con pesos de 1000gr y ruedas de abrasión vitrificadas; luego se hace rotar y el espécimen se desgasta por las ruedas de abrasión hasta 1000 ciclos. Los resultados se muestran como porcentaje de resistencia tensional del geotextil intacto. Las descripciones de este ensayo están contenidas en la ASTM D4886 y la ISO 13427.

1.6.9 Propiedades de degradación

Son los cambios que presenta el Geotextil a través del tiempo y por la exposición a agentes externos, reduciendo así sus propiedades. En principio existen varios mecanismos potenciales de degradación, de acuerdo con el envejecimiento del polímero. Se debe notar que todos los mecanismos a ser descritos, son el resultado de algún tipo de ruptura molecular o extracción de componentes.

1.6.9.1 Degradación por la luz Solar (Rayos Ultravioleta)

La luz del sol es una causa importante de degradación en los materiales orgánicos, incluso de los polímeros. Para los propósitos del geosintético, la energía del sol es dividida en tres tipos:

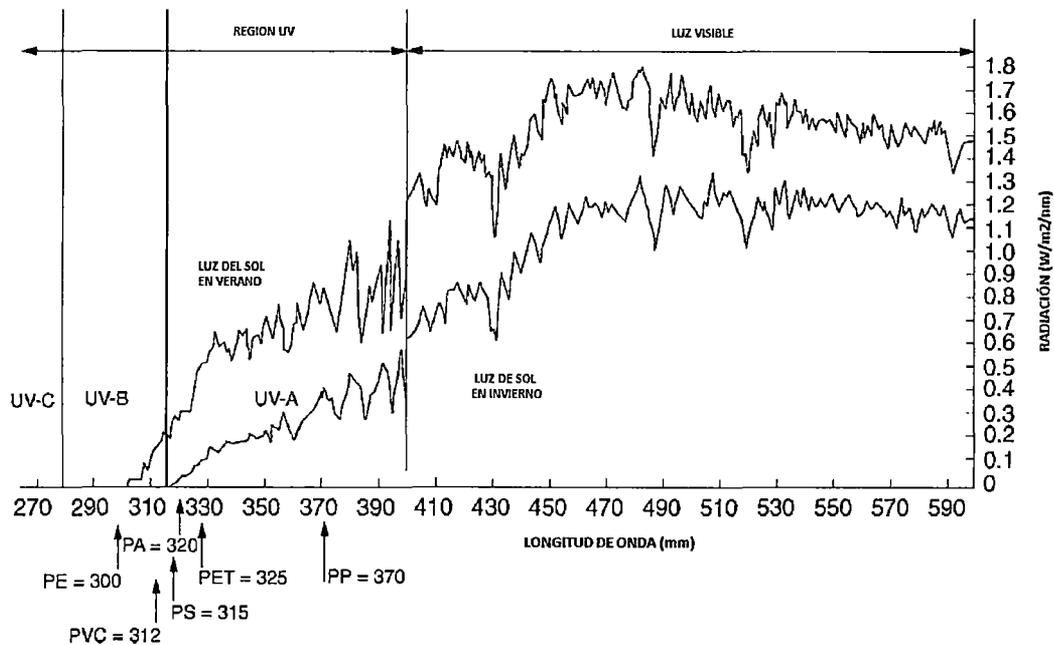
- Infrarroja: Con longitudes de onda mayores a 760 nm
- Visible: Con longitudes de onda entre 760 y 400 nm
- Ultravioleta (UV): Con longitudes de onda menores de 400 nm

A su vez la región de UV se subdivide en:

- UV-A (400 a 315 nm) causan poco daños al polímero.
- UV-B (315 a 280 nm) causan daños severos al polímero

- UV-C (280 a 100 nm) sólo se encuentra en el espacio exterior.

De verano a invierno hay cambios en la intensidad y longitud de onda de los rayos del sol, como puede apreciarse en la Figura N°1.20. Otros factores, en el proceso de degradación UV de los polímeros, es la ubicación geográfica, temperatura, nubosidad, viento, humedad, y la contaminación atmosférica, los cuales deben ser considerados en cualquier método de la prueba.



*Fuente: Designing with geosynthetics,, Robert M. Koerner, Cuarta Edición.

Figura N° 1.20 Espectro de Longitud de Onda visible y radiación solar UV
(Según Q-Pannel Co., Cleveland, OH).

Para la simulación del laboratorio de luz solar, las fuentes de iluminación artificial (lámparas) reproducen la "máxima condición solar". La degradación real es causada por los fotones de luz que rompen los enlaces químicos del polímero, siendo las longitudes de onda corta las más críticas. El polietileno alrededor de los 300 nm es muy sensible a la degradación de UV, el poliéster alrededor de 325 nm, y el polipropileno alrededor a los 370 nm.

El ensayo recomendado es ASTM D 4355, el cual consiste básicamente en colocar el especímenes de geotextil en el equipo de intemperización por una duración de 500 horas. Durante dicho periodo el geotextil ha de ser expuesto a radiación ultravioleta en un espectro conocido (arco de luz xenón) en ambas caras de la muestra. Además de este agente de intemperización, el geotextil se expone al vapor de agua producido por el calor de la luz y obviamente al calor.

1.6.9.2 *Degradación por temperatura*

La temperatura alta, claramente causa mecanismos de acelerar los procesos de degradación de los polímeros. La temperatura alta se presenta como un fenómeno de aceleración que actúa con otros mecanismos de degradación como son: la radiación solar, oxidación, biológica, química, por la luz del sol, hidrólisis, etc.

Con respecto a la conducta mecánica de los plásticos, a temperaturas muy calientes o frías, causan un ablandamiento y endurecimiento respectivamente. Para el geotextil, las temperaturas altas aumentan su flexibilidad y para cuantificar se puede usar la Norma ASTM D1388.

El Método de la prueba ASTM D746, se enfoca en el efecto de temperaturas frías sobre los plásticos y, en particular, en su carácter de fragilidad y resistencia al impacto.

1.6.9.3 *Degradación por hidrólisis*

La hidrólisis puede causar degradación por reacciones de las fibras externas e internas, la resina de poliéster es afectada por líquidos con elevada alcalinidad, afectando principalmente a sus resistencias mecánicas. Valores elevados de PH afectan a algunos tipos de poliéster, mientras que valores bajos del PH son dañinos para ciertas poliamidas.

1.6.9.4 *Degradación biológica*

Las bacterias y hongos atacan a los polímeros, en especial a las fibras, usándolas como fuentes de alimentación; esto es demasiado improbable para las resinas poliméricas normalmente empleadas. Aunque no existe un procedimiento formal o método de ensayo para evaluar la biodegradación, muchos proveedores muestran en sus especificaciones los factores de reducción debido a estos daños.

CAPÍTULO II: ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS EN LA ZONA DE APLICACIÓN

2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE APLICACIÓN

La zona de aplicación denominada "El farallón" se ubica en el km. 46.3 de la antigua carretera Panamericana Sur, en el distrito de Punta Hermosa, provincia de Lima, departamento de Lima; el área abarca una longitud frontal de 70 m de playa (ver Anexo N° A.1).

La zona de aplicación mencionada, se encuentra delimitada por los puntos coordenados detallados en el Cuadro N°2.1, los cuales están basados en el sistema de coordenadas WGS – 84.

Cuadro N° 2.1 Coordenadas límites de la zona de aplicación.

COORDENADAS LÍMITES				
PUNTO	UTM		GEODÉSICAS	
	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
P-1	8634850	302200	76°49'8.69"	12°20'34.68"
P-2	8634850	302600	76°48'55.45"	12°20'34.77"
P-3	8634450	302600	76°48'55.54"	12°20'47.78"
P-4	8634450	302200	76°49'8.78"	12°20'47.69"

*Fuente: Elaboración Propia

Para tener una mayor apreciación de la zona de aplicación, se muestra, en la Figura N°2.1, la vista panorámica del área, la cual está limitada por espigones.



*Fuente: Imagen Google Earth

Figura N°-2.1 Vista Panorámica de la zona de aplicación.

2.2 GEOMORFOLOGÍA COSTERA

2.2.1 Batimetría

Para la realización de la estructura de protección se tendrá en cuenta el estudio batimétrico de la zona de aplicación, el cual abarca un área de 350 m x 350 m, siendo la longitud paralela a la costa de 300m (ver Plano N° 01).

El estudio de la batimetría, permite conocer el relieve del fondo marino, a fin de determinar las profundidades en la zona de aplicación. Para ello, se tiene el plano las curvas batimétricas, las cuales están referidas al Nivel Medio de Bajamares y Sicigias Ordinarias. Es importante conocer, que para determinar las cotas respecto al nivel medio de Bajamares y Sicigias ordinarias se resta o suma la altura de la marea en el instante en que se realiza la medición, según se encuentre la marea debajo o encima del nivel medio de Bajamares y Sicigias Ordinarias, con lo cual se obtiene cada punto sondeado en el Mar, según la relación:

$$\text{Cota P} = H \pm h \quad (2.1)$$

Donde:

H: Profundidad de sondaje.

h: altura de marea.

La medición de marea se puede realizar conjuntamente con las mediciones de sondaje, o puede obtenerse de la Tabla de Mareas que es elaborado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la marina de Guerra, para un mes determinado; donde se indican las alturas de los pleamares y bajamares correspondientes a una estación cercana a la zona de estudio. Estas alturas están referidas al nivel medio de bajamares y sicigias ordinarias. Para mayor información de la toma de datos (ver Anexo N° A.2).

En la zona de aplicación, se tiene el espigón de roca ya ejecutado con un ángulo aproximado de 74° respecto a la línea de costa; para complementar este espigón se ejecutará un rompeolas sumergido que se encuentre orientado más paralelo a la Costa, permitiendo la disipación de energía de la ola, antes que llegue a la zona de playa (ver Figura N°2.2).

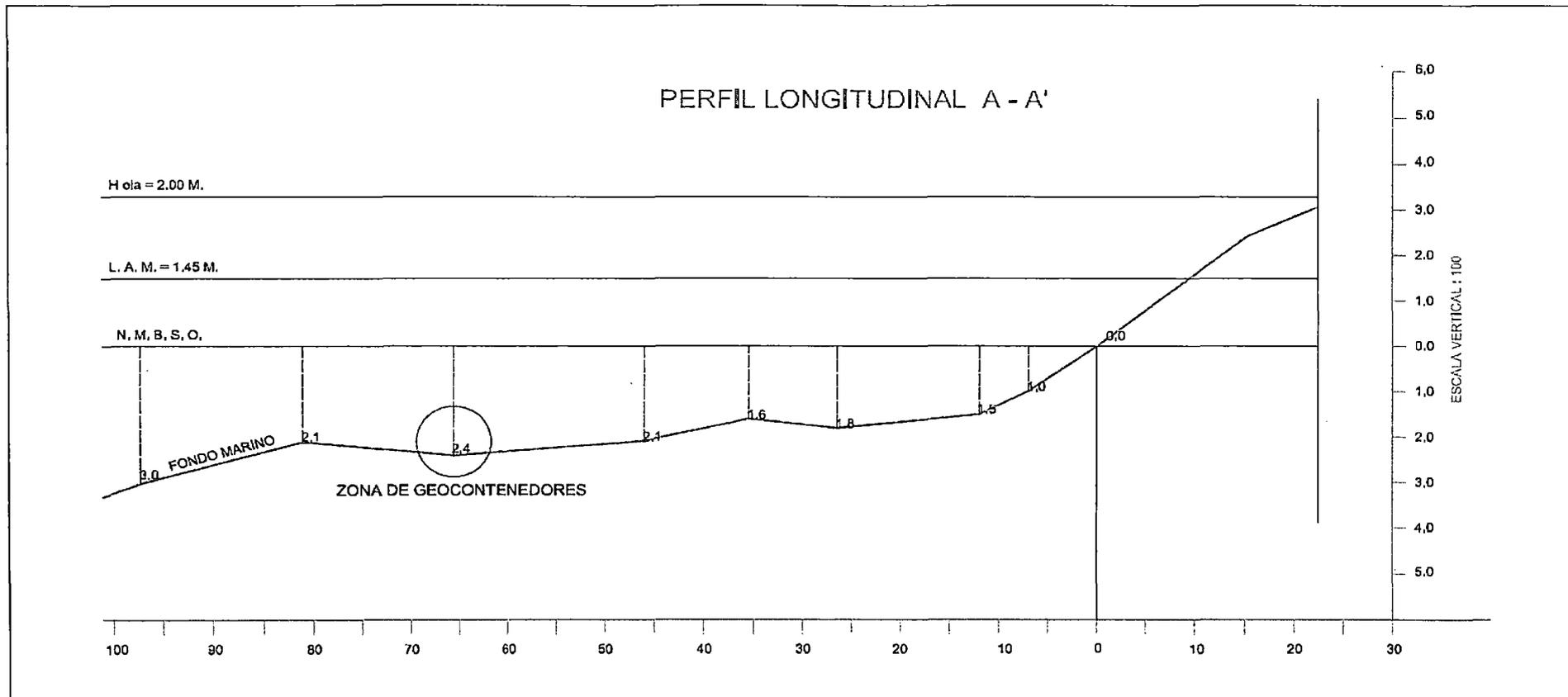


*Fuente: Propia.

Figura N° 2.2 Vista de los Espigones en la Zona de Aplicación

Del plano batimétrico, se obtuvo el perfil longitudinal según el posible alineamiento que puede tener el rompeolas sumergido; del mismo modo se obtuvo los perfiles transversales, los cuales nos dan a conocer la altura referencial que tendrá la estructura (ver Plano N°03).

Para tener una mejor referencia de la zona, en la Figura N°2.3 se puede apreciar el perfil transversal, en la cual se posicionará la estructura de rompeolas. En esta zona puede verificarse una profundidad de 2.40 m con respecto al nivel medio de bajamares y sicigias (N.M.B.S.O).



*Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°2.3 Sección transversal tipo de la zona a proteger.

2.3 MOVIMIENTOS DE MAR EN LA ZONA DE ESTUDIO

El mar es una área de constante movimiento debidos a fuerzas que se originan en el mismo, dentro de estos tipos generales de movimientos que ocurren en el mar están los que trasladan masas de agua. Para tener referencias de los movimientos del mar cerca de la zona de estudio, se ha tomado algunos datos de direcciones de los mismos, los cuales se detallan en los anexos (Ver Anexo N° A.3).

Para determinar las características del movimiento del agua cerca de la zona del proyecto, se definen principalmente la dirección o rumbo, y la deriva o velocidad; asimismo se determinó la hora a la que se hace las mediciones, ya sea en Marea ascendente o descendente y si el tipo tomado es Sub-Superficiales o Superficiales. Las características de los principales movimientos del mar para la zona de aplicación se resumen en el Cuadro N°2.2.

Cuadro N° 2.2 Movimientos del mar en la zona de aplicación.

MOVIMIENTOS DEL MAR		
TIPO	VELOC. (m/s)	DES. (°)
A	0.052	198
B	0.084	264
C	0.089	211
D	0.101	268

*Fuente: Propia.

De acuerdo al Plano de Movimientos del mar (ver Plano N°02), se especifica que los datos "A" y "B" se han tomado en Marea Ascendente, y los datos "C" y "D" en Marea Descendente; asimismo se especifica que los datos "A" y "C" son Sub-Superficiales; mientras que los datos "B" y "D" son Superficiales.

Asimismo se observa que los datos "A" y "C" están orientadas más paralelas a la Costa; en cambio los datos "B" y "D" son normales a la Costa.

Los factores que comúnmente afecta la dirección y velocidad de los movimientos del mar para la zona de estudio, son los vientos, las mareas y la topografía submarina; es por ello que junto a las mediciones realizadas, se tiene la información de una estación cercana a la zona de aplicación, como es el caso de del Mareógrafo del Callao.

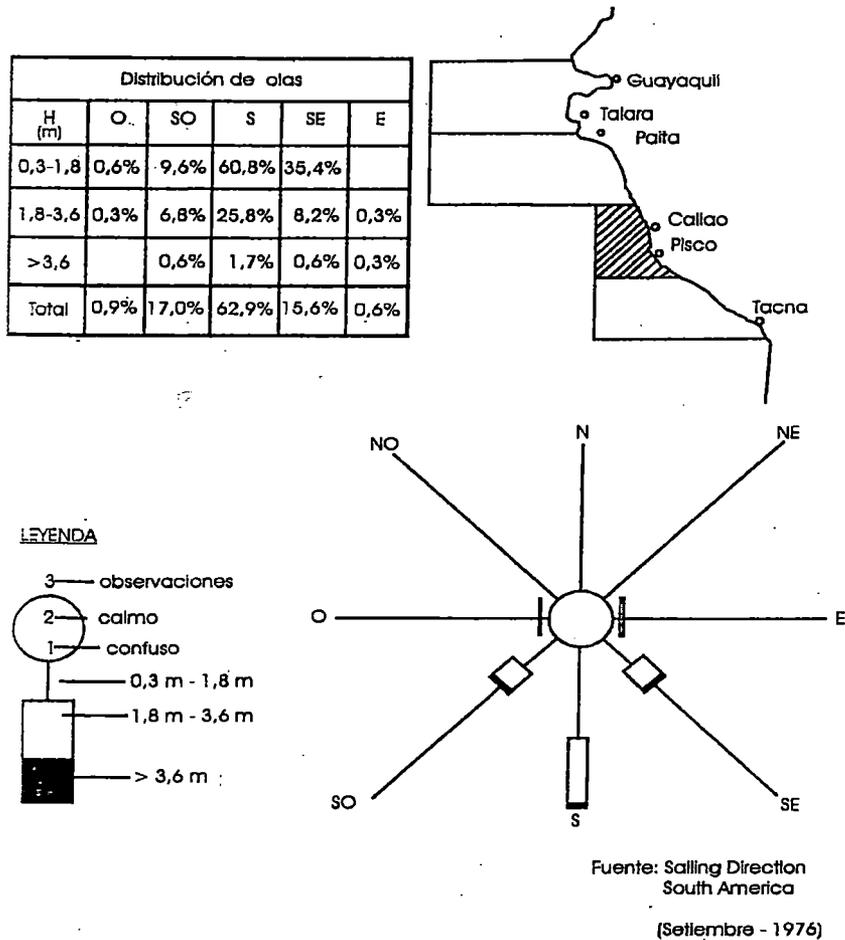
2.3.1 Olas

Las olas gravitatorias que llegan a la Costa Peruana, son generadas en aguas profundas, bajo acción de la presión del viento. La zona de generación de este oleaje es entre los 35° y 40° de latitud Sur, mientras que el centro de generación en la longitud Oeste varía con mayor subsidencia atmosférica y la divergencia del viento. Este tipo de oleaje, olas Swell o de fondo, viajan gran distancia y es la fuente principal del oleaje que incide en las costas de la zona de Estudio.

Para la construcción de obras marítimas, se hace necesario tener información sobre el estudio de olas; en particular, conocer la naturaleza y frecuencia de ocurrencia, definidas por su altura, período y dirección.

Para el cálculo de los datos de olas, no es necesario tener datos en forma continua durante las 24 horas del día; se asume que las características de las olas son constantes en un lapso de horas; por ello es importante contar con los datos de Hs y Ts de un grupo de olas de tal modo que se pueda eliminar irregularidades.

Antes de comenzar a medir el oleaje se debe recolectar la información existente acerca de la orientación de las olas, para luego evaluar y definir la utilidad de éstas. En el área de estudio, de acuerdo a una estadística de dirección de olas, en la costa central del Perú (Información del Sailing Directions for South America), se ha determinado que el 62.9 % de las olas provienen del Sur, un 17.4% provienen del Suroeste y un 15 % del Sureste; esta valiosa información sobre el oleaje frente a la costa peruana es la ocurrencia de las alturas de olas en porcentaje de tiempo para ocho direcciones. Podemos apreciar en forma gráfica estas direcciones principales, en la Figura N° 2.4.



*Fuente: Fuentes Ortiz, César; Ingeniería Portuaria.

Figura N°2.4 Distribución de oleaje en aguas profundas de la Costa Peruana.

Para obtener los datos de olas en aguas cercanas a la costa, es necesario disponer de información de olas en aguas profundas. Por ello se pueden rescatar datos de la Sailing Directions for South América y de modelos numéricos de propagación de olas Wave Watch III que difunde el NCEP – NOAA.

Una de las fuentes para la obtención de olas en aguas profundas fue la siguiente:

- NATIONAL DATA BUOY CENTER , la obtención de olas se encuentra disponible en la siguiente página web:
<http://www.ndbc.noaa.gov/historical.data.shtml>.

Se tiene dos estaciones de registro de olas frente a las costas del Perú, como se muestra en el Cuadro N° 2.3.

Cuadro N° 2.3 Ubicación de estaciones de registro de olas

Estación	Ubicación	Registro de Datos	Observación
32301	9°54'0" S 105°12' 0" W	1984-1986	Registro de olas de los años de medición
32302	18° 0' 0" S 85° 5' 59" W	1986-1995	Registros completos para el período de medición

*Fuente: Propia.

El análisis estadístico según lo expuesto en la página, se muestra en el Cuadro N° 2.4:

Cuadro N° 2.4 Datos de oleaje en aguas profundas

Parámetro	Significante
Altura (m)	2.1
Período (s)	12.9

*Fuente: Propia.

Para verificar los datos de las estaciones anteriores, asimismo se ha creído conveniente realizar la toma de datos a través del Proyecto Naylamp, proyecto implementado por la Marina de Guerra del Perú, a través de la Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV), el cual basa sus datos en el modelo Wave Watch III antes mencionado; estos datos son datos más recientes en relación a los datos de las estaciones.

Los detalles de la toma de datos de las características de ola significativa que inciden en la zona de estudio han sido expuestos en el Anexo N° A.4.

De acuerdo al análisis de datos, se ha rescatado la altura de ola significativa, dirección de ola significativa, el período medio y período pico; según el promedio de datos en el mes de Julio del 2013, tomados del proyecto Naylamp (ver Cuadro N°2.5).

Cuadro N° 2.5 Datos de oleaje en aguas profundas

APLICACIÓN	DATOS DE OLEAJE SEGÚN HIDRONAV			
	H _{so} (m)	θ	T _M (s)	T _P (s)
Datos Promedios	1.95	15 ° NE	10.5	13.0

*Fuente: Elaboración Propia.

En donde:

H_{so} : Altura de ola significativa en aguas profundas, m.

- θ : Dirección de ola, °.
 T_M : Período medio de la ola, s.
 T_p : Período pico de la ola, s

Analizando los datos, se comprueba que el mayor porcentaje de olas provienen de la dirección Sur y Suroeste; es decir, tienen dirección hacia el Norte, con una pequeña inclinación hacia el Este; estos datos se resumen en el Cuadro N°2.5, en el cual los trenes de olas principales, tienen una dirección 15° NE.

2.3.2 Modificaciones de las olas

Los datos de oleaje tomados según la Sailing Directions for South América de modelos numéricos de propagación de olas Wave Watch III que difunde el NCEP – NOAA., son datos que tienen validez para zonas de aguas profundas y áreas muy extensas. Con esta información y en base a la batimetría de la zona de interés, se proyecta por el método de las ortogonales, y el diagrama de refracción aplicando la ley de Snell (Wiegle), el oleaje para la zona de aplicación. Efectuando, según este método los cálculos de las alturas de ola, utilizando los diferentes coeficientes de refracción y cambio de profundidad, correspondientes a la zona de interés, los cuales han sido calculados en el Anexo N° A.5.

La altura de ola en aguas poco profundas está dada por la siguiente relación:

$$H = Kr \times Ks \times Kd \times H_0 \quad (2.2)$$

En donde:

- H : Altura de ola significativa en aguas poco profundas, m.
 Kr : Coeficiente de refracción, adimensional.
 Ks : Coeficiente de cambio de profundidad, adimensional.
 Kd : Coeficiente de difracción, adimensional.
 H_0 : Altura de ola significativa en aguas profundas, m.

De la clasificación de períodos promedios máximos $T = 12.9$ seg. La longitud de ola en aguas profundas está dada por L_0 .

2.3.2.1 Cálculo de olas poco profundas

Cálculo de alturas de olas provenientes de la dirección Suroeste, que es la dirección principal según los datos tomados y las referencias consultadas:

- A una profundidad de 10 m.

$$H_{10} = Kr_{10} \times Ks_{10} \times Kd_{10} \times H_0$$

En donde:

$$Kr_{10} = 0.72$$

$$Ks_{10} = 1.08$$

$$Kd_{10} = 1.0$$

$$Hs_0 = 2.10 \text{ m}$$

Entonces:

$$Hs_{10} = 1.63 \text{ m}$$

- A una profundidad de 3 m.

$$H_3 = Kr_3 \times Ks_3 \times Kd_3 \times H_0$$

En donde:

$$Kr_3 = 0.69$$

$$Ks_3 = 1.40$$

$$Kd_3 = 1.0$$

$$Hs_0 = 2.10 \text{ m}$$

Entonces:

$$Hs_3 = 2.03 \approx 2.00 \text{ m}$$

2.3.2.2 Cálculo de la altura de ola en la rompiente

En la selección de la altura de ola de diseño, también es importante determinar si la estructura estará sujeta al ataque de olas rompientes, no rompientes o que

hayan disipado su energía; y las características propias de la estructura a construir.

- Cálculo de H'_0

$$\frac{H'_0}{H_0} = Kr \quad (2.3)$$

Donde $Kr_3 = 0.69$

Por tanto:

$$H'_0 = 2.10 \times 0.69 = 1.45 \text{ m}$$

Evaluando:

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{1.45}{1630.8} = 0.000889 \quad (2.4)$$

- Cálculo de la pendiente (m)

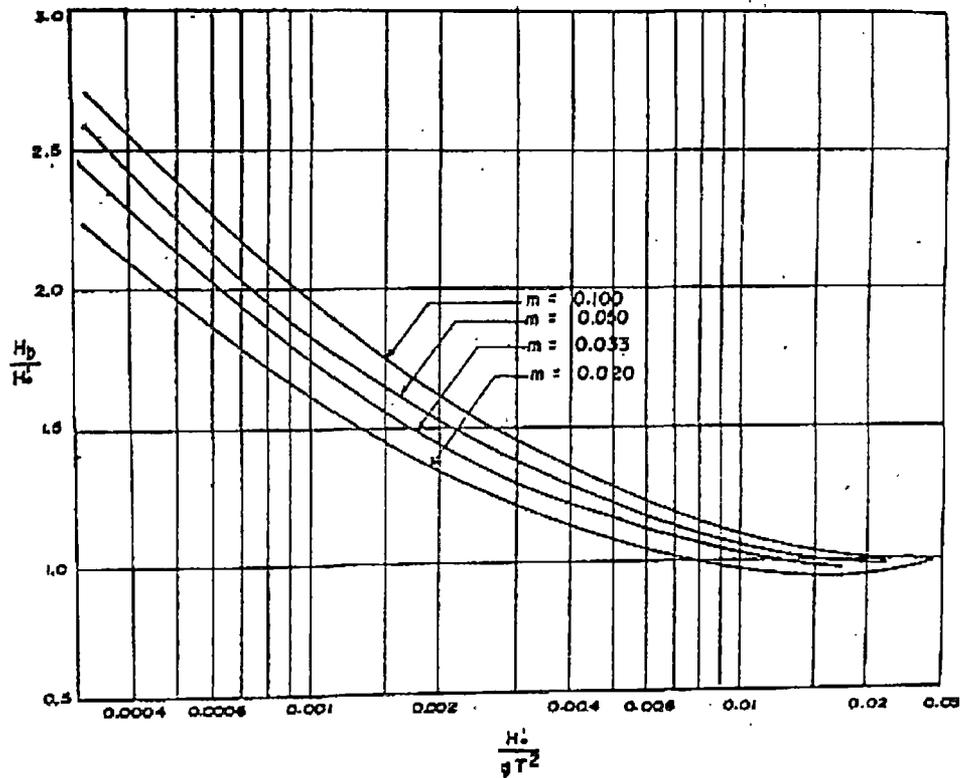
De acuerdo al perfil de playa, obtenido de la batimetría.

$m = 0.02$

Entonces:

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1.65 \quad (2.5)$$

(Según la Figura 2.5) $\rightarrow H_b = 2.39 \text{ m}$



*Fuente: Fuentes Ortiz, César; Ingeniería Portuaria.

Figura N°2.5 Índice de altura de rompiente H_b/H_o , contra valores H_o/gT^2 , (Goda, 1970).

- Cálculo de la profundidad de la ola cuando rompe

Se evalúa:

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2.39}{1630.8} = 0.001467 \quad (2.6)$$

$m = 0.02$

$$\frac{h_b}{H_b} = 1.15 \quad (2.7)$$

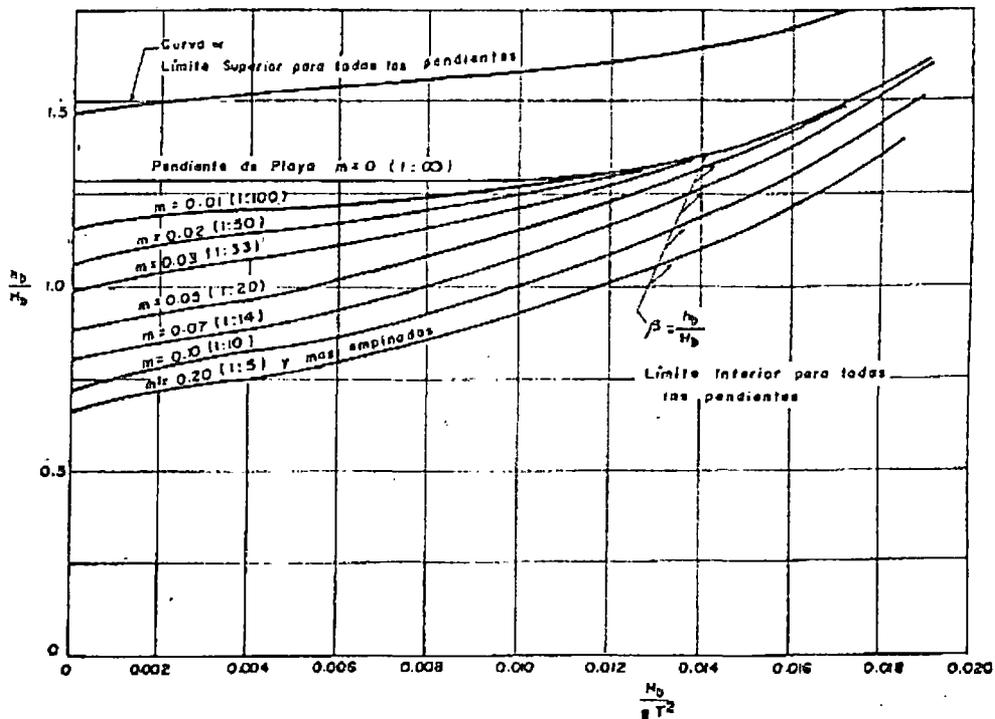
(Según la Figura N°2.6) $\rightarrow h_b = 2.75\text{m}$

- La altura de la ola cuando llega a la estructura (H_{b-dis}):

Según ábaco de Webel (1972), entonces:

$$\frac{H_{b-dis}}{h_s} = 0.95$$

$$H_{b-dis} = 2.40 \times 0.95 \approx 2.28 \text{ m}$$



*Fuente: Fuentes Ortiz, César; Ingeniería Portuaria, pág. 359
 Figura N° 2.6 Curvas α y β , contra h_b/H_b , (Wegel, 1972).

2.3.3 Mareas

La información de las mareas, permite realizar las correcciones de los sondajes y mediciones de las corrientes, por ello esta información puede ser obtenida en las Tablas de Mareas editadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra (DHNM); de acuerdo a la hora y fecha en la que se toman los datos para la zona de estudio. Un ejemplo de los datos que se rescatan de la DHNM se puede apreciar en el Anexo N° A.6.

2.3.3.1 Determinación de línea de alta marea

La Línea de Alta Marea (LAM) es aquella línea definida por el máximo valor de altura de marea astronómica registrada, y cuyo nivel es interceptado en la zona de estudio. Este nivel es empleado para el diseño de la estructura de rompeolas sumergido.

La cota de la Línea de Alta Marea (LAM), para la zona de aplicación está publicada en la página de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del

Perú; esta cota puede ser determinada de acuerdo a la estación más cercana, la cual tiene validez de aproximadamente 50 Km a la redonda. Para lugares fuera del área de influencia, se puede interpolar por distancias entre las dos estaciones más cercanas, si es que la morfología de la playa es regular.

Para la zona de aplicación se ha obtenido la Línea de Alta Marea de 1.45 m s.n.m.b.s.o, según la estación más cercana a la zona de aplicación, El Callao; con esta altura han sido corregidas las mediciones de las profundidades.

CAPÍTULO III: ENSAYOS PARA EL DISEÑO DE GEOCONTENEDORES

3.1 CARÁCTERÍSTICAS DEL GEOTEXTIL TEJIDO

El geotextil tejido es la materia principal para el diseño de los Geocontenedores; ya que de sus características técnicas dependerá la geometría, construcción y comportamiento de la estructura a diseñar, es por ello que los fabricantes o proveedores del producto, muestran las hojas técnicas, las cuales contienen las especificaciones del material, amparadas en ensayos estandarizados por diversas organizaciones certificadas a nivel internacional. El modo en que se realizan estos ensayos ha sido descrito en el Capítulo I.

Para el caso de aplicación, se ha propuesto tipos de Geotextil Tejido ANDEX STABILENKA, entre los cuales tienen las siguientes características técnicas, detalladas en el Cuadro N° 3.1

Cuadro N° 3.1 Especificaciones técnicas de los Geotextiles Tejidos.

PROPIEDADES	STABILENKA PES 108/108	STABILENKA 100/50	STABILENKA 150/45
Resistencia a la tensión Nominal			
Dirección Longitudinal	108 KN/m	100 KN/m	150 KN/m
Dirección Transversal	108 KN/m	50 KN/m	45 KN/m
Módulo de Rigidez al 5% de deformación			
Dirección Longitudinal	≥ 920 KN/m	≥ 1000 KN/m	≥ 1500 KN/m
Deformación según resistencia nominal			
Dirección Longitudinal	≤ 10 %	≤ 10 %	≤ 10 %
Carga de Rotura por Fluencia(120 años)			
Dirección Longitudinal	≥ 71 KN/m	≥ 66 KN/m	≥ 99 KN/m
Permeabilidad Normal	≥ 5 x 10 ⁽⁻³⁾ m/s	≥ 15 x 10 ⁽⁻³⁾ m/s	≥ 5 x 10 ⁽⁻³⁾ m/s
Coefficiente de interacción			
Suelos finos	≥ 0.6	≥ 0.6	≥ 0.6
Suelos arenosos	≥ 0.7	≥ 0.7	≥ 0.7
Dimensiones			
Ancho	5 m	5 m	5 m
Largo	300 m	300 m	300 m

*Fuente: Cortesía Andex – Huesker.

Para la especificación técnica del Geotextil tejido utilizado, ver Anexo N° A.8 y N°A.9.

3.1.1 Resistencia a la tensión del geotextil

Es una de las propiedades más importantes de los geotextiles, ya que todas las aplicaciones del geotextil se basan en esta propiedad; ya sea en función primaria (como refuerzo), como en función secundaria (como separación, filtración, desagüe, o contención). Para el geotextil propuesto se tiene una resistencia máxima o última a la tensión de 108 KN/m, la cual se consigue con una elongación máxima de 10%; como puede apreciarse en el Cuadro N° 3.1.

Para poder comparar los resultados de tensión circunferencial necesaria, para la construcción del Geocontenedor y el Geotextil tejido a utilizar en condiciones de trabajo; es necesario aplicar factores de reducción a la resistencia máxima del geotextil tejido, según la ecuación:

$$T_{\text{PERM}} = \frac{T_{\text{ULT}}}{FS_{\text{DI}} \times FS_{\text{DQ}} \times FS_{\text{DB}} \times FS_{\text{RF}} \times FS_{\text{RCU}}} \quad (3.1)$$

Donde:

- T_{PERM} : Resistencia a la Tensión del geotextil Permitida a largo Plazo (KN/m)
- T_{ULT} : Resistencia a la Tensión última del Geotextil, Basada en valores MARV (KN/m).
- FS_{DI} : Factor de Seguridad por Daños de Instalación (adimensional)
- FS_{DQ} : Factor de Seguridad por Daños Químicos (adimensional)
- FS_{DB} : Factor de Seguridad por Daños Biológicos (adimensional)
- FS_{RF} : Factor de Seguridad por Resistencia a la Fluencia, Creep (adimensional)
- FS_{RCU} : Factor de Seguridad por Resistencia a las Costuras y Uniones (adimensional)

3.1.2 Factores de reducción del geotextil

La utilidad de los factores de reducción, permite dar una seguridad adicional al diseño, ya que el geotextil puede verse modificado o alterado en el momento de

la confección o construcción, por el ataque de agentes externos; o también durante el tiempo que funciona la estructura.

Para tener mejor noción de los factores mencionados, se describirán brevemente cada uno de ellos:

- **FS_{DI} (Daños de instalación):** Para los Geocontenedores, este factor se refiere a un aumento accidental de la presión de bombeo, por lo que podría ser definido como un seguro ante variaciones inesperadas de presión.
- **FS_{DQ} (Daños químicos):** La mayoría de los geotextiles son inertes a este tipo de daños, los cuales se producen por el relleno a utilizar. La degradación química también puede ser causada externamente por la exposición directa del geotextil al sol (radiación ultravioleta - UV). Asumiendo que el geotextil sea inerte ante el relleno y que estará expuesto a los rayos del sol sólo durante el periodo de construcción (y poco después de que el relleno se solidifique), se recomienda un valor preliminar mínimo de FS_{DQ} = 1.0.
- **FS_{DB} (Daños biológicos)** = La degradación biológica no parece ser un problema en la mayoría de los casos dónde se usan los geotextiles para Geocontenedores; por tanto se recomienda un valor preliminar de FS_{DB} = 1.0 (ver Cuadro N°3.2).

Cuadro N° 3.2 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido

APLICACIÓN	FACTORES DE REDUCCIÓN DURABILIDAD (FR _{DQ} xFR _{DB})		
	2 < PH > 4	4 < PH > 9	9 < PH > 10
Geocontenedor	1.15	1.05	1.10

*Fuente: Según Especificaciones técnicas del material

- **FS_{RF} (Daños por Creep)** = Se utiliza para la reducción de resistencia última del geotextil al final del periodo de servicio de la estructura. El comportamiento de un geotextil a largo plazo puede ser determinado mediante la prueba especificada en el ASTM D5262-92 (Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep Behavior of Geosynthetics). Sin embargo, este factor debe evaluarse teniendo en cuenta que la fuerza de tracción máxima en el geotextil se hará presente durante el llenado. Después del bombeo, el relleno se solidifica, y la tensión se reduce. Por consiguiente, esta fuerza máxima existirá

en un periodo de tiempo corto, en consecuencia un FS_{RF} relativamente pequeño puede asignarse. Este valor debe asegurar que la fuerza de ruptura en la fluencia será mayor que T_{TRAB} . El valor mínimo de FS_{RF} , depende del tipo de polímero; se recomienda que el valor preliminar mínimo para todos los polímeros sea mayor o igual a 1.5 (ver Cuadro 3.3).

Cuadro N° 3.3 Factores de Reducción por Creep.

APLICACIÓN	FACTORES DE REDUCCIÓN POR CREEP (FR_{RF})				
	2 años	5 años	10 años	60 años	120 años
Geocontenedor	1.41	1.43	1.45	1.50	1.52

*Fuente: Según Especificaciones técnicas del material

FS_{RCU} (Reducción de resistencia a la costura) = La eficiencia de las costuras puede ser bastante baja para geotextiles tejidos de alto módulo. Se recomienda un valor preliminar mínimo de 2.0; aunque, el valor exacto de FS_{RCU} deberá ser determinado en apartados posteriores, de donde se obtiene la eficiencia de la costura para luego calcular el valor de FS_{RCU} haciendo $1/(\text{eficiencia de costura})$. Se debe notar que las costuras defectuosas reducen la eficiencia de los geotextiles, pudiendo fallar especialmente durante el proceso de bombeo; sobre todo si se utiliza tierra arcillosa como relleno.

De acuerdo al tipo de Geotextil a usar, la ejecución del proyecto y a las condiciones a las que estará expuesta la estructura; se tomarán en cuenta los factores de reducción, detallados en el Cuadro N°3.4:

Cuadro N° 3.4 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido

APLICACIÓN	RANGO DE FACTORES DE REDUCCIÓN (FR)			
	FR_{DI}	FR_{DQ}	FR_{DB}	FR_{RF}
Geocontenedor	1.30	1.05		1.50

*Fuente: Según Especificaciones técnicas del material

3.2 RESISTENCIA A LAS COSTURAS

En la confección y el diseño de los Geocontenedores, uno de los factores críticos es la determinación de la posición más débil de la estructura, la cual es la zona donde se pierde la homogeneidad circunferencial, debido a la falta de longitud del Geotextil (ancho del rollo) para poder completar la circunferencia requerida, a fin de formar la altura final del Geocontenedor. Por este motivo la unión entre

tramos de geotextil es realizada con el uso de hilo y máquinas de costura, cuyas propiedades son de suma importancia para alcanzar la eficiencia necesaria; o en todo caso, determinar los factores de reducción por costura que se emplearán en el diseño.

3.2.1 Ensayo de resistencia a la tensión del hilo

Para determinar la resistencia del hilo a usar en la costura, se realizan ensayos según estándares de la Norma ASTM D 2256 (Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method), método en el cual se utiliza una sólo hebra de hilo, para determinar la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura; las muestras a ensayar se sujetan mediante mordazas apropiadas y son estiradas a una velocidad constante hasta que se produce la rotura de la muestra. El ensayo se realiza teniendo en cuenta los siguientes alcances:

- Este método de ensayo cubre la determinación de propiedades de tracción de monofilamento, hilos de multifilamento, geotextiles hilados, ya sean solos, doblados, o cableados.
- Este método de ensayo cubre la medición de la fuerza de rotura y alargamiento de hilos.
- Condiciones de prueba son incluidas para el análisis de las muestras que son: bajo aire acondicionado; en húmedo, no sumergido; en húmedo, sumergido; secado en estufa; expuesto a la elevada temperatura; o expuesto a baja temperatura.
- Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados separadamente como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

Se muestran los resultados del ensayo realizado al hilo de costura, utilizado en la confección de los Geocontenedores propuestos (ver Cuadro N°3.5).

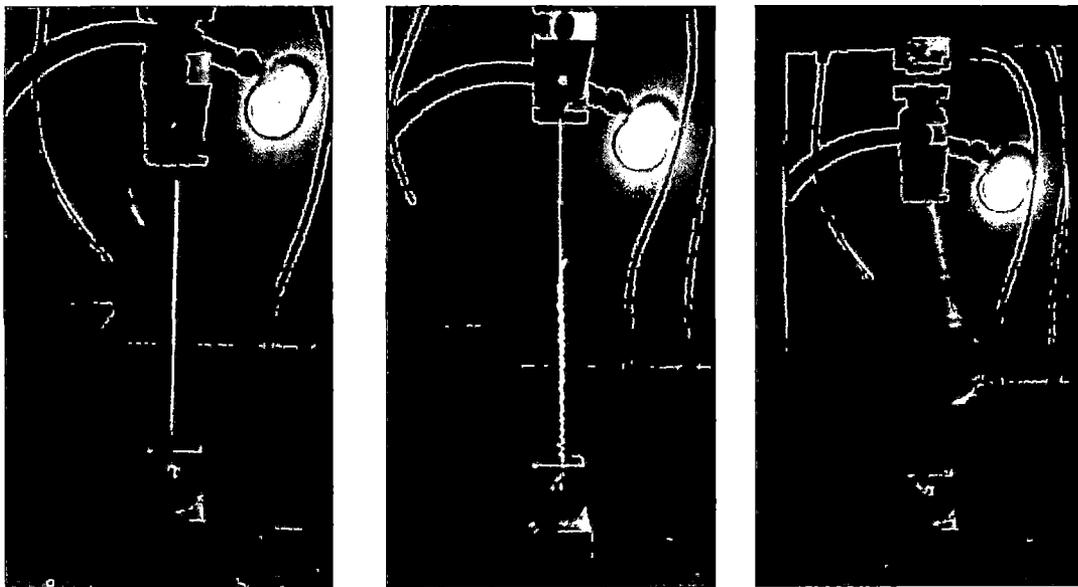
- Laboratorio : Certintex S.A.C.
- Método de Ensayo : ASTM D 2256 (Resistencia a la tracción, elongación) .
- Equipo : Micro- Advanced Universal Testing Machine-Cre.
- Procedimiento : Longitud – 250 mm; Velocidad – 300mm/min.
- Evaluación : Registro digital del Equipo.

Cuadro N° 3.5 Valores para el hilo según ensayo ASTM D 2256.

Determinación	Carga Máxima	Elongación		Tenacidad
	Kgf	mm	%	g/De
Hilo N°20	16.98	36.16	14.0	2.423

*Fuente: Laboratorio Certintex.

Se muestra a continuación imágenes del proceso inicial del ensayo, el durante del ensayo y la etapa de rotura del hilo en el ensayo.



*Fuente: Laboratorio Certintex.

Figura N° 3.1 Vista del proceso del ensayo del hilo.

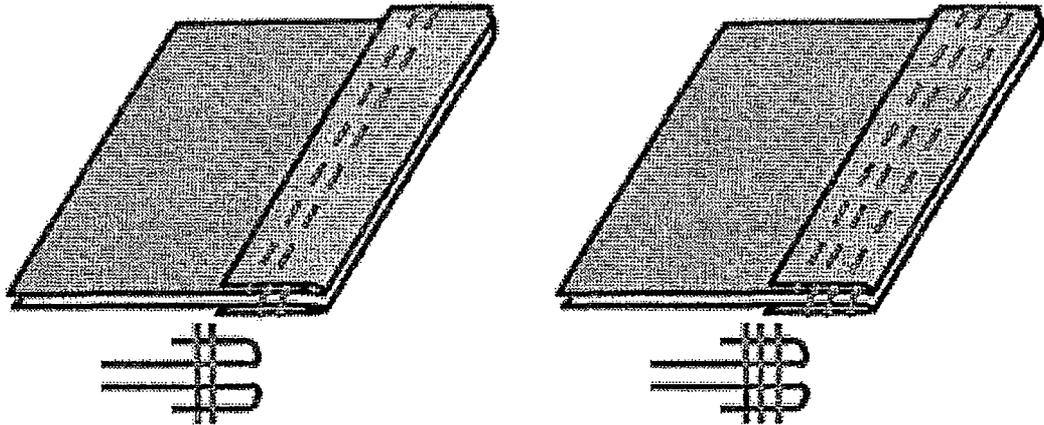
3.2.2 Ensayo de resistencia a la costura

Para determinar la resistencia a las costuras, se realizan ensayos según estándares de la Norma ASTM D 1683 (Standard Test Method for Failure in Sewn Seams of Woven Apparel Fabrics), método que cuantifica la resistencia de las juntas cosidas en geotextiles, según el ancho de la muestra.

El ensayo se realiza con una junta cosida de 200 mm, la cual es sujeta por una mordaza de un equipo de ensayo a tensión, y se opera la máquina a una tasa de extensión establecida, aplicando fuerza longitudinal (perpendicular) al espécimen hasta que se rompe el geotextil o la costura. El ensayo se realiza teniendo en cuenta los siguientes alcances:

- Este método de ensayo mide la resistencia a la costura cosida en geotextiles mediante la aplicación de una fuerza perpendicular a las costuras cosidas.
- Este método de ensayo es aplicable a las costuras obtenidas a partir de un artículo previamente cosido o costuras cosidas con muestras de tela utilizando ya sea un conjunto específico de costura.
- Este método de ensayo se utiliza cuando una fuerza de rotura, genera un alargamiento mínimo de rotura, ambos son necesarios para determinar la resistencia máxima de la costura.
- Este método de ensayo no predice el rendimiento de desgaste real de la costura.
- Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados separadamente como estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

Para los ensayos a las costuras se realizaron dos tipos de especímenes, de los cuales se determina la resistencia a la tensión de cada uno. Ambos tipos de muestra se prepararon con doblés tipo Mariposa, con dos y tres líneas de costuras (ver Figura N°3.2).

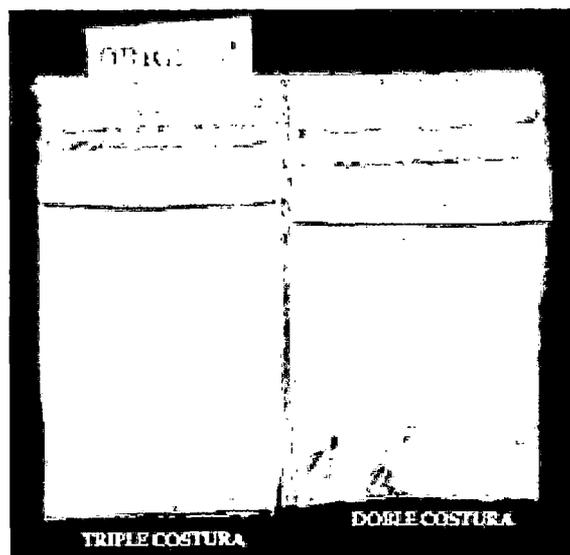


*Fuente: Cortesía Andex – SAR, Huesker.

Figura N° 3.2 Tipo de costura a ensayar.

Se muestran los resultados del ensayo realizado a las costuras, según las muestras, de dos y tres líneas de costura.

- Laboratorio : Certintex S.A.C.
- Método de Ensayo : ASTM D 1683 (Resistencia a las costuras en textiles).
- Equipo : Micro- Advanced Universal Testing Machine-Cre.
- Procedimiento : Abrazaderas – 25 mm; Velocidad – 300mm/min.
- Evaluación : Longitudinal I(Carga y Elongación)



*Fuente: Propia

Figura N° 3.3 Muestras a ensayar.

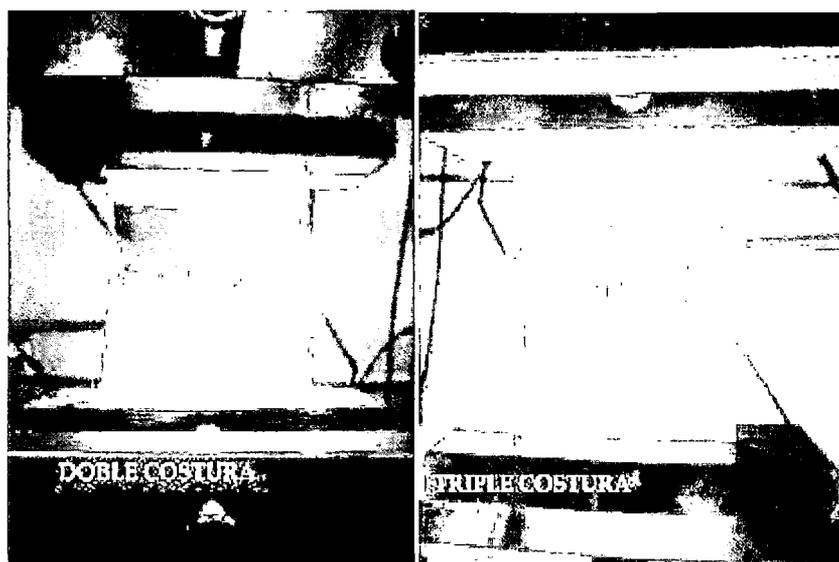
Según el ensayo se muestran los siguientes resultados:

Cuadro N° 3.6 Valores para las costuras según ensayo ASTM D 1683

Determinación	Carga Máxima	Elongación
	Kgf	%
Costura doble	1092.02	9.99
Costura Triple	1164.92	11.11

*Fuente: Laboratorio Certintex.

Se muestra a continuación imágenes del proceso del ensayo para los especímenes de dos y tres líneas de costura:



*Fuente: Laboratorio Certintex.

Figura N° 3.4 Vista del proceso del ensayo para muestras de dos y tres líneas de costura.

De acuerdo a los resultados se calcula la resistencia a la tensión de la costura por metro, según la ecuación:

$$S_f = F_f / W_s \quad (3.2)$$

En donde:

S_f : Resistencia de la unión cosida, KN/m.

F_f : Fuerza de rotura observada, KN.

W_s : Ancho del espécimen, m.

Con la ecuación anterior, se obtiene una resistencia a la costura por metro, para cada una de las muestras ensayadas (ver Cuadro N° 3.7).

Cuadro N° 3.7 Valores de resistencia a las costuras por metro.

Determinación	Resistencia a la costura
	KN/m
Costura doble	54.59
Costura Triple	58.23

*Elaboración propia.

Con ello se puede estimar la eficiencia de las costuras según las muestras ensayadas, con la siguiente relación:

$$E = 100 \times S_f / F_b \quad (3.3)$$

En donde:

- E : Eficiencia a la costura, %.
 S_f : Resistencia de la unión cosida, KN/m.
 F_b : Resistencia del geotextil usado, KN/m.

Del mismo modo puede obtenerse el factor de reducción por efectos de costura, el cual se empleará en el diseño; este factor se obtendrá con la relación.

$$FS_{RCU} = 1 / E \quad (3.4)$$

En donde:

- FS_{RCU} : Factor de seguridad por costura, adimensional.
 E : Eficiencia a la costura, %.

Con las relaciones anteriores, se determinará la eficiencia a la costura y el factor de seguridad por costura, para ambas muestras ensayadas, de dos y tres líneas de costura; los resultados se muestran a continuación en el Cuadro N°3.8.

Cuadro N° 3.8 Valores de Eficiencia y Factor de seguridad por costuras.

Determinación	Eficiencia	Factor de seguridad
	E (%)	FS _{RCU}
Costura doble	51.99	1.92
Costura Triple	55.46	1.80

*Elaboración propia.

Para fines de análisis y la evaluación de resistencia admisible en los Geotextiles Tejidos, se considerará un Factor de reducción a las costuras de 2.0; que es el factor más usual en el diseño con Geotextiles; además cumple con los valores encontrados según el tipo de Geotextil a utilizar.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL GEOCONTENEDOR

La metodología de diseño para Geocontenedores todavía se encuentra en desarrollo, la mayoría de métodos se basan en modelos y verificaciones en campo, que han probado ser exitosas. El siguiente análisis se refiere al diseño de la estructura de geocontenedores, a través de las más recientes investigaciones, dedicados a este tema.

4.1 ANÁLISIS DE DISEÑO PARA EL ROMPEOLAS

Debido a que cada vez que un tren de olas se acerca, bajo un ángulo de incidencia en agua profundas, a una playa de pendiente uniforme; se observa que las crestas de olas tienden a formarse paralelamente a la línea costera. Este fenómeno conocido como Refracción de Olas, se manifiesta por el cambio de dirección en la propagación de las olas, el cual es originado por la disminución de la velocidad, de una parte del tren de oleaje con respecto a la otra.

Para disipar la energía de los trenes de olas que inciden en forma casi paralela a la costa; se conformará un rompeolas, en dirección casi perpendicular a la dirección de olas y a continuación del espigón de roca existente que se tiene en la zona del proyecto. El detalle del alineamiento y longitud del espigón puede apreciarse en el Plano N° 04.

La selección de una estructura con unas determinadas características, será el resultado de un proceso de selección progresivo que adecue el diseño a los requerimientos funcionales y económicos; es por ello que se ha planteado la solución con la estructura principal de Geocontenedores de Geotextil tejido, obteniéndose una estructura con las siguientes características funcionales (ver Cuadro N° 4.1):

Cuadro N° 4.1 Características del tipo de Estructura

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	TIPO	SUBTIPO
Talud de Barlomar	<i>Inclinado - Rompeolas</i>	
Rugosidad de la superficie	<i>Medianamente rugoso</i>	
Permeabilidad	<i>Medianamente Permeable</i>	<i>Según el tipo Geotextil tejido</i>
Rebasabilidad	<i>Sumergido</i>	
Situación respecto a la Costa	<i>Casi Paralelo</i>	
Rigidez de la Estructura	<i>Flexible</i>	<i>Se reacomoda al terreno sin perder funcionalidad</i>
Porosidad	<i>Discreta, pequeñas aberturas del Geotextil</i>	

*Elaboración propia.

Como referencia para el diseño de rompeolas, se realizará el comparativo; de los parámetros de diseño, para un Dique convencional de escollera, y el dique sumergido propuesto a base de Geotextil Tejido; con el fin de relacionar el cálculo de los diversos parámetros en cada caso (ver Cuadro N° 4.2).

Cuadro N° 4.2 Comparación de parámetros de diseño; Rompeolas Escollera y Rompeolas a Base de Geotextil Tejido.

PARÁMETRO DE DISEÑO	ROMPEOLA DE ESCOLLERA	ROMPEOLA SUMERGIDO A BASE DE GEOTEXTIL
Toma de datos Oceanográficos	Oleaje , batimetría, corrientes	Oleaje , batimetría, corrientes
Altura de Coronación	$NC = NHW + R_u + S$ NHW : Nivel de alta marea (+1.45m) $R_u = \text{Run up corregido (1.10 m)}$ $S = \text{Borde Libre (0.50 m)}$	Depende del Coeficiente de transmisión, en función del R_c -Teoría de D'Angremond y Van De Meer.
Estabilidad - Peso de unidad protectora	Fórmula De Hudson: $W = \left(\frac{\rho \cdot g H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot Ctga} \right)$ $W = \left(\frac{2650 \times 9.81 \times 2.30^3}{2.1 \times 1.57^3 \cdot 1.5} \right)$ $W == 25947.10 Nw = 2.60tn$	Manual A. Bezuijen y E. W. Vastenburg; Geosystems . Desing Rules and Applications $\frac{H_s}{\Delta_t \cdot D_k} \leq \frac{2.75}{\sqrt{\xi}}$

<p>Ancho de la Cresta</p>	$B' = m' \cdot K_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho \cdot g} \right)^{1/3}$ $B' = 3 \times 1.15 \left(\frac{25947.10}{2650 \times 9.81} \right)^{1/3}$ $B' = 3.44 \approx 3.5m$ <p>Se verifica según ancho operativo</p>	<p>Depende del coeficiente de Transmisión en función de R_c</p>
<p>Número y espesor de capas</p>	$t = m' \cdot K_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho \cdot g} \right)^{1/3}$ $t = 2 \times 1.15 \left(\frac{25947.10}{2650 \times 9.1} \right)^{1/3}$ $t = 2.29 \approx 2.30 m$	<p>Capas con Geoestructuras a base de Geotextil Tejido</p>
<p>Delantales o uñas</p>	<p>Espesor ($e_d > 0.50 m$) Longitud (L_d)</p> <ul style="list-style-type: none"> • $L_d > 5.00 m$ Lado expuesto • $L_d > 1.50 a 2.00m$ Lado protegido 	<p>Manto Antisocavante, con Geocontenedor de 30 cm de altura en los borde. Diseño recomendaciones GRI (Instituto de Geosintéticos)</p>
<p>Filtro</p>	<p>Con materiales resistentes, y de cierta permeabilidad</p>	<p>Manto de Geotextil en la parte inferior, evita la filtración de finos de la cimentación</p>

Donde:

- W : Peso unidad Protectora.
 ρ : Densidad del material de la unidad protectora.
 H : Altura de ola diseño para el dique
 K_D : Coeficiente de daños (0 – 5 % , valores tabla CERC) ; K_D = 2.1.
 α : Angulo del talud del rompeolas.
 Δ : Densidad relativa de roca.

$$\Delta_r = \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} = \frac{2650 - 1030}{1030} = 1.57$$

- K_Δ : Coeficiente de capa (1.15)

Los cálculos para diseño del rompeolas sumergido a base de geotextil tejido, serán detallados en los ítem posteriores, para ello se tiene en cuenta los parámetros hidrográficos en la zona de aplicación; para lo cual se presentan los

niveles de marea y oleaje (ver Figura N°4.1). Para obtener esta altura con la colocación de un solo nivel de Geocontenedores de Geotextil Tejido, es complicado; ya que demandaría un ancho de rollo mayor a 20 m, o de lo contrario tener que unir varios paños de 5 m de ancho de geotextil, lo que elevaría la inseguridad de la estructura al aumentar los tramos de costura. Otro punto interesante en el análisis es que para llenar una Geoestructura de gran tamaño es necesario bombas de altas presiones que resultaría costoso de conseguir en el medio.

Por ello es conveniente conformar la estructura en varios tramos hasta alcanzar la altura requerida. La posible distribución de las Geoestructuras, quedaría conformada como en la Figura N°4.1, la cual consiste en dos niveles de 1.80 m cada uno, con taludes de conformación de aproximadamente 1H: 1V.

Según las dimensiones propuestas, se evaluará la estabilidad de la estructura, tanto a nivel global, así como de las unidades de Geotextil Tejido.

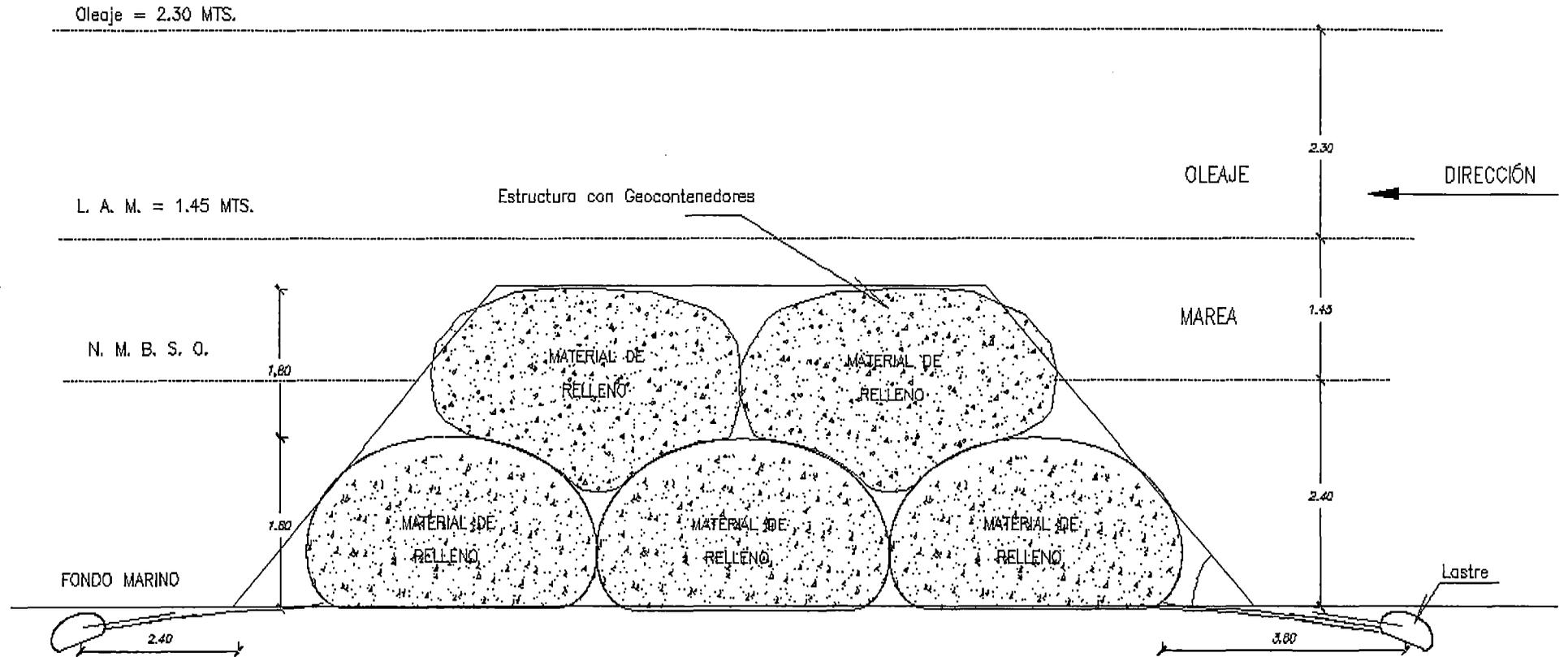


Figura N° 4.1 Datos de Niveles de Marea y Oleaje

4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Para el análisis de estabilidad de la estructura propuesta, se ha considerado las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas del impacto, fruto del oleaje.

El dique propuesto estará orientado aproximadamente en forma paralela a la costa, con el fin de disipar el oleaje que incide en la zona de aplicación y por ende la energía del mismo.

La principal característica que se busca en el dique sumergido propuesto es la de conseguir la mayor eficiencia como filtro energético de las olas incidentes; lo cual depende en gran medida de la transmisión del oleaje. El proceso de la transmisión de energía queda caracterizado por el coeficiente de trasmisión, definido como la relación entre la altura de ola transmitida y la altura de ola incidente sobre el dique:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} ; 0 < K_t < 1 \quad (4.1)$$

En donde:

- K_t : Coeficiente de transmisión del dique.
- H_t : Altura de ola transmitida tras el dique.
- H_i : Altura de ola incidente sobre el dique.

A pesar de las dificultades que conlleva evaluar el valor de K_t para un clima global de oleaje, hay relaciones que su uso resulta más extensible; las cuales serán tomadas en cuenta; la relación de J.W. Van Der Meer y la de K D'Angremond; de esta forma tendremos una idea de la cantidad de trasmisión del dique dimensionado.

Van Der Meer propuso una relación analítica para K_t , que tiene en cuenta los principales factores que controlan el proceso de rebase de un dique; el francobordo, R_c , y la altura de ola significativa a pie de dique, H_s .

La expresión que propuso Van der Meer es la siguiente:

$$K_t = 0.8 \quad ; \quad \text{si } -2 < \frac{R_c}{H_s} < -1.13 \quad (4.2)$$

$$K_t = 0.46 - 0.3 \frac{R_c}{H_s} \quad ; \quad \text{si } -1.13 < \frac{R_c}{H_s} < 1.2 \quad (4.3)$$

$$K_t = 0.1 \quad ; \quad \text{si } 1.2 < \frac{R_c}{H_s} < 2 \quad (4.4)$$

- K_t : Coeficiente de transmisión del dique.
 R_c : Francobordo del dique.
 H_s : Altura de ola significativa a pie de dique

Aplicando la relación (4.3) del método de Van der Meer para la zona de aplicación se tiene:

$$K_t = 0.493 \approx 0.50$$

Para la referencia de los datos utilizados ver Anexo N° A.11.

Asimismo se puede hacer utilidad de la relación de K d'Angremond, establecida en el año 1996, por dicho profesor en colaboración con otros investigadores, la cual también toma en cuenta la relación de R_c/H_s ; del siguiente modo:

$$K_t = C \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} \left(1 - \exp \left(-0.5 \frac{\text{tg} \alpha}{\sqrt{H_i/L_0}} \right) \right) - 0.41 \frac{R_c}{H_i} \quad (4.5)$$

Donde:

- K_t : Coeficiente de transmisión del dique.
 $C = \begin{cases} 0.8 & \text{para estructura impermeable.} \\ 0.64 & \text{para estructura permeable.} \end{cases}$
 H_i : Altura de ola significativa incidente.

- R_c : Francobordo del dique.
 B : Ancho de coronación del dique.
 α : Angulo de inclinación del talud.
 L_o : Longitud de onda en aguas profundas.

Esta última relación tiene en cuenta también otra serie de parámetros adicionales relativos a la geometría del dique y a la dinámica litoral de la zona.

Aplicando la relación (4.5) referente al método de K d'Angremond, para la zona de aplicación se tiene:

$$K_t = 0.518$$

Para la referencia de los datos utilizados ver Anexo N° A.11.

Esta última relación es mucho más fiable; ya que tiene en cuenta también otra serie de parámetros adicionales relativos a la geometría del dique y a la dinámica litoral de la zona.

Una vez determinada el coeficiente de transmisión de oleaje del espigón dimensionado; se determinará la estabilidad de la misma, teniendo en cuenta que el núcleo o parte interior del espigón estará compuesto por estructuras de Geotextil Tejido rellenas con material arenoso. Por ello se analizarán la estabilidad de la estructura partiendo de las unidades de las cuales estará compuesta la misma; ya sea por Geobolsas, Geocontenedores y/o Geotubos.

Para el análisis de estabilidad se seguirá los lineamientos planteados por A. Bezuijen y E. W. Vastenburg; Deltares, Delf , The Netherlands; en el manual Geosystems . Desing Rules and Applications. El manual antes mencionado, ha sido elaborado en forma experimental, y es una de los manuales más recientes para el diseño de estructuras en base a Geotextil tejido.

4.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GEOBOLSAS

Las Geobolsas son estructuras de Geotextil Tejido, rellenas con material arenoso; las cuales tienen volúmenes entre 0.3 a 10 m³.

Como la estructura total a conformar es de 3.60 m de altura, esta altura se puede alcanzar con 4 niveles de Geobolsas de 0.90 m de altura cada una. El ancho y largo de las geobolsas serán de 2.3 m y 4.50 m respectivamente; las cuales pueden ser llenadas en la tolva de un volquete, para su colocación; haciendo un volumen total de 9.30 m³, que está dentro del rango para estas estructuras.

Realizaremos el análisis con el núcleo de Geobolsas, según las condiciones:

4.3.1 Estabilidad contra ataque de oleaje para Geobolsas

La estabilidad del ataque de olas sobre la estructura de Geobolsa, es en función del parámetro de interrupción, según la relación:

- Para taludes menores que 3:1 (H:V):

$$\frac{H_s}{\Delta_r \cdot D_k} \leq 1.4 \quad (4.6)$$

- Para taludes 3:1 (H:V), o mayores

$$\frac{H_s}{\Delta_r \cdot D_k} \leq \frac{2.75}{\sqrt{\xi}} \quad (4.7)$$

Dónde:

H_s : Altura de Ola significa (m).

D_k : Altura efectiva de la Geobolsa (m).

Δ_r : Densidad relativa de los elementos estructurales (adimensional).

Definido por:

$$\Delta_r = (1 - n) \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} \quad (4.8)$$

Δ_r : Recomendación 0.90 a 1.0.

n : Porosidad del material de relleno .

ξ : Parámetro interruptor (adimensional).

Definido por:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_0}} \quad (4.9)$$

También:

$$L_0 = \frac{g \cdot T_p^2}{2 \cdot \pi} \quad (4.10)$$

- α : Pendiente del talud en grados.
 T_p : Periodo pico (s).
 L_0 : Longitud de onda en aguas profundas (m).
 ρ : Densidad seca de la arena (kg/m³).
 ρ_w : Densidad del agua de mar (1030 kg/m³).

Aplicando la relación (4.7), se tiene:

$$\frac{H_s}{\Delta_r \cdot D_k} \leq \frac{2.75}{\sqrt{\xi}}$$

Con:

$$\Delta_r = 0.91$$

$$D_k = D_n = 0.90 \text{ m (para este caso)}$$

$$H_s = 2.30 \text{ m}$$

$$T_p = 12.9 \text{ seg.}$$

$$L_0 = 259.81 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\xi = 10.62$$

Reemplazando se tiene:

$$\frac{2.3}{0.91 \times 0.90} \leq \frac{2.75}{\sqrt{10.62}}$$

$$2.81 \leq 0.84 \text{ No cumple.}$$

Para que la estructura de Geobolsas muestren estabilidad bajo las condiciones mostradas se tiene que incrementar su altura hasta aproximadamente 1.80 m como mínimo, además de disminuir la pendiente del talud a (3H:1V) , de acuerdo a ello se calculará la estabilidad.

Aplicando la relación (4.9), se calculará la estabilidad con las nuevas condiciones indicadas:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_0}}$$

Para:

$$H_s = 2.30 \text{ m}$$

$$T_p = 12.9 \text{ seg.}$$

$$L_0 = 259.81 \text{ m}$$

$$\alpha = 18.43^\circ \text{ (3H:1V)}$$

$$\xi = 3.54$$

Entonces

$$\frac{2.3}{0.91 \times 1.80} \leq 1.46$$

$$1.40 \leq 1.46 \text{ Cumple}$$

Según dichas condiciones se procederá a calcular la resistencia del geotextil a utilizar.

4.3.2 Tensión en el geotextil Tejido para Geobolsas

De acuerdo al manual indicado, se presenta la fórmula para determinar la tensión mínima requerida del Geotextil tejido para la elaboración de las Geobolsas:

$$T_{req.} = \sqrt{2x \frac{D_n \cdot V}{b \cdot S} x \frac{J}{C_d} \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} \cdot \rho \cdot g} \quad (4.11)$$

Dónde:

- $T_{req.}$: Tensión requerida del Geotextil tejido (N/m).
 b : Ancho de la Geobolsa (m).
 S : Circunferencia de la Geobolsa (m).
 J : Rigidez a la tensión de la geobolsa (N/m).
 C_d : Coeficiente de arrastre (el cual se supone como 1).
 ρ : Densidad de los sólidos del material de relleno (2650 .0 kg/m³).
 ρ_w : Densidad del agua de mar (1030 kg/m³).
 g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
 D_n : Altura nominal de la Geobolsa (m).
 V : Volumen de la Geobolsa (m³).

Para la rigidez a la tensión (J), se tiene la relación:

$$J = \frac{T_{max.}}{\epsilon_{max}} \quad (4.12)$$

Dónde:

- $T_{max.}$: Tensión máxima del Geotextil tejido (N/m).
 ϵ_{max} : Elongación máxima.

De acuerdo a las características del geotextil aplicando la relación (4.12):

$$J = \frac{108KN / m}{0.10} = 1080 KN/m$$

Reemplazando los valores en la relación (4.11), se tiene:

$$T_{req.} = \sqrt{2x \frac{1.80x9.52}{2.30x.7.21} x \frac{1080x10^3}{1} x \frac{2650 - 1030}{1030} \cdot 2650x9.81}$$

$$T_{req.} = 302096.98N / m = 302.10 \text{ KN/m}$$

Para el cálculo de la resistencia en la zona de costura, se tiene en esta zona un 50 % de la resistencia del Geotextil:

$$T_{max.} \geq \frac{T_{req.}}{0.50} \quad (4.13)$$

De lo cual se tiene:

$$T_{max.} \geq 604.2 \text{ KN} / m$$

$108 \geq 604.2 \text{ KN} / m$ No Cumple con el Geotextil propuesto.

Se tiene que fabricar la Geobolsa con un Geotextil Tejido de mayor resistencia, lo cuales se pueden visualizar en el Anexo N° A.09.

Bajo estas condiciones se logrará la estabilidad de la estructura con la disposición de Geobolsas; pero no es recomendable ya que se usa más cantidad de unidades, además de unidades más altas, lo cual dificulta la construcción y requiere Geotextil Tejido de mayor resistencia.

De acuerdo a las condiciones de estabilidad anteriores, se verificará la estabilidad debida a corrientes.

4.3.3 Estabilidad con corriente sobre la estructura de Geobolsas

Para este cálculo se tiene la fórmula experimental:

$$\frac{u_{cr}}{\sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k}} \leq F \quad (4.14)$$

Donde:

- u_{cr} : Velocidad crítica del flujo de agua.
- Δ_t : Densidad relativa de la Geobolsa.
- D_k : espesor efectivo del Geocontenedor (m).

- g : Aceleración de la Gravedad (m/s^2).
F : Factor de Estabilidad (adimensional)

Se recomienda usar $F=0.90$; cuando las corrientes son perpendiculares a la estructura de Geobolsas, o cuando estas se colocan en montículos apiladas.

Entonces según la relación (4.14), se tiene:

$$\frac{u_{cr}}{\sqrt{9.81 \cdot 0.91 \cdot 1.80}} \leq 0.90$$

Por tanto la velocidad máxima permitida por la estructura de Geobolsas será de:

$$u_{cr} \leq 3.61 m/s$$

Se realizará el análisis con el uso de Geoestructuras más grandes como son los Geocontenedores.

4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GECONTENEDORES

Para fines de identificación de las estructuras, el manual Geosystems . Desing Rules and Applications, se denomina Geocontenedores, a elementos de Geotextil Tejido que encapsulan material arenoso en volúmenes de 100 a 800 m^3 .

Para conformar la altura de 3.60 m del espigón propuesto, se realizará en dos tramos de altura de 1.80 m por cada Geocontenedor, la cual es una altura muy usual en las diferentes aplicaciones prácticas que existen. Por tanto la estructura quedaría conformada como pudo apreciarse en la Figura N°4.1, la cual consiste en dos niveles de Geocontenedores de 1.80 m cada uno, con taludes de conformación de aproximadamente 1H: 1V.

4.4.1 Estabilidad contra ataque de oleaje para Geocontenedores

Para ello se muestra las siguientes relaciones de aplicación:

$$\frac{H_s}{\Delta_t \cdot D_k} \leq 2.0 \quad \text{si}; \quad \frac{b}{D_k} \leq 4.0 \quad (4.15)$$

Dónde:

- H_s : Altura de Ola significativa (m).
 D_k : Altura efectiva del Geocontenedor (m).
 Δ_t : Densidad relativa de los elementos estructurales (adimensional).
 b : Ancho del Geocontenedor (m).

También se tiene:

$$\frac{H_s}{\Delta_t \cdot D_k} \leq F \quad (4.16)$$

Dónde:

- F : 1, para Geocontenedores ubicados sobre la cresta de una estructura
 F : 2, para Geocontenedores ubicados por debajo de la línea de la H_s .

Para el caso de aplicación, se reemplaza en la relación (4.16) :

$$\frac{2.3}{0.91 \cdot 1.80} = 1.40 \leq 2.0 \text{ Cumple}$$

4.4.2 Estabilidad con corriente en la parte superior de la estructura

Hay poca información disponible sobre la estabilidad de Geocontenedores bajo la influencia de corrientes. Por ello se sugiere la siguiente relación de estabilidad:

$$\frac{u_{cr}}{\sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k}} \leq 0.50 a 1.0 \quad (4.17)$$

Donde:

- u_{cr} : Velocidad crítica del flujo de agua.
 Δ_t : Densidad relativa del Geocontenedor.
 D_k : espesor efectivo del Geocontenedor.
 g : Aceleración de la Gravedad

Teniendo en cuenta la relación (4.17), se determinará el valor de la velocidad crítica límite del agua, para que no se produzca inestabilidad de la estructura debida a corrientes.

Por tanto se tiene:

$$u_{cr} \leq 0.50\sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k} \quad \text{a} \quad 1.00\sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k}$$

$$u_{cr} \leq 2.00m/s \quad \text{a} \quad 4.01m/s$$

4.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON GEOTUBOS

En los lineamientos planteados por A. Bezuijen y E. W. Vastenburg; Deltares, Delf, The Netherlands; en el manual Geosystems. Desing Rules and Applications; se menciona a estructuras con Geotubos, los cuales son definidos como tubos permeables rellenos de arena u otros materiales granulares, con diámetros de tubo que pueden variar desde 0.5 m a 5.0 m y longitud de 25 a 100m dependiendo en el proyecto en que se instalen.

Estas geoestructuras pueden considerarse como un tipo especial de Geocontenedores, ya que entran en los volúmenes que clasifican a estos; las cuales varían su forma de llenado, ya que se realiza con slurry (agua + arena); por lo tanto es necesario una presión inicial y bocas de llenado; lo cual se explicará a mayor detalle en apartados siguientes.

De acuerdo a ello el manual propone la verificación de la estabilidad según las relaciones siguientes:

4.5.1 Estabilidad contra ataque de oleaje para Geotubos

En base a resultados disponibles de la investigación mencionada para la estabilidad de Tubos de Geotextil, bajo carga de onda; se ha determinado que

los tubos empiezan a moverse desde el llenado; y es aplicable para las geoestructuras que se encuentran más expuestas o de los alrededores del dique.

Utilizando la relación siguiente:

$$\frac{H_s}{\Delta_t \cdot D_k} \leq 1.0 \quad (4.18)$$

Donde:

H_s : Altura de ola significativa incidente.

Δ_t : Densidad relativa del Geotubo.

D_k : espesor efectivo del Geotubo.

Siendo

$D_k = \begin{cases} b, & \text{Si los Geotubos son paralelos a la dirección del oleaje.} \\ L, & \text{Si los Geotubos son perpendiculares a la dirección de oleaje.} \end{cases}$

Donde:

b : Ancho del Geotubo.

L : Longitud del Geotubo.

Aplicando la relación (4.18) referente a la estabilidad en zonas de oleaje, para la zona de aplicación se tiene:

$$\frac{H_s}{\Delta_t \cdot D_k} = 0.68 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

4.5.2 Estabilidad con corriente sobre la estructura de Geotubos

Hay poca información disponible sobre la estabilidad de Geocontenedores bajo la influencia de corrientes. Por ello se sugiere la siguiente relación de estabilidad:

$$\frac{u_{cr}}{\sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k}} \leq 1.2 \quad (4.19)$$

Donde:

- U_{cr} : Velocidad crítica del flujo de agua.
 Δ_t : Densidad relativa del Geotubo.
 D_k : espesor efectivo del Geotubo.
 g : Aceleración de la Gravedad

Teniendo en cuenta la relación (4.19), se determinará el valor de la velocidad crítica límite del agua, para que no se produzca inestabilidad de la estructura debida a corrientes.

Por tanto se tiene:

$$u_{cr} \leq 1.2 \sqrt{g \cdot \Delta_t \cdot D_k}$$

$$u_{cr} \leq 6.9 \text{ m/s}$$

Se encontró que para velocidades menores a 6.9 m/s la estructura del dique no sufrirá inestabilidad debido a velocidades de corriente.

De los movimientos del mar que inciden en la zona, se tienen mediciones que llegan aproximadamente a 1.0 m/s; las cuales no ocasionan daño a la estructura; pero es necesario realizar mediciones de la misma al momento de la construcción.

Para el caso de aplicación, del rompeolas sumergido se ha considerado realizar la estructura de 1.80 m de altura con una longitud de 30 m, haciendo un volumen de 165 m³, por el volumen de la estructura esta se clasifica como un Geocontenedor; pero para tener un procedimiento más rápido de instalación se dejarán bocas de llenado y se adecuará una presión inicial de llenado.

De acuerdo a lo antes indicado, se analizará la resistencia mínima necesaria para el Geotextil Tejido, con la ayuda del software GeoCops; el cual lo recomienda el manual Geosystems Desing Rules and Applications, planteado por A. Bezuijen y E. W. Vastenburg; Deltares, Delf, The Netherlands; para el análisis de Geoestructuras llenadas con una presión inicial.

4.6 ANÁLISIS DE DISEÑO DEL TUBO DE GEOTEXTIL

4.6.1 Geometría del Geocontenedor

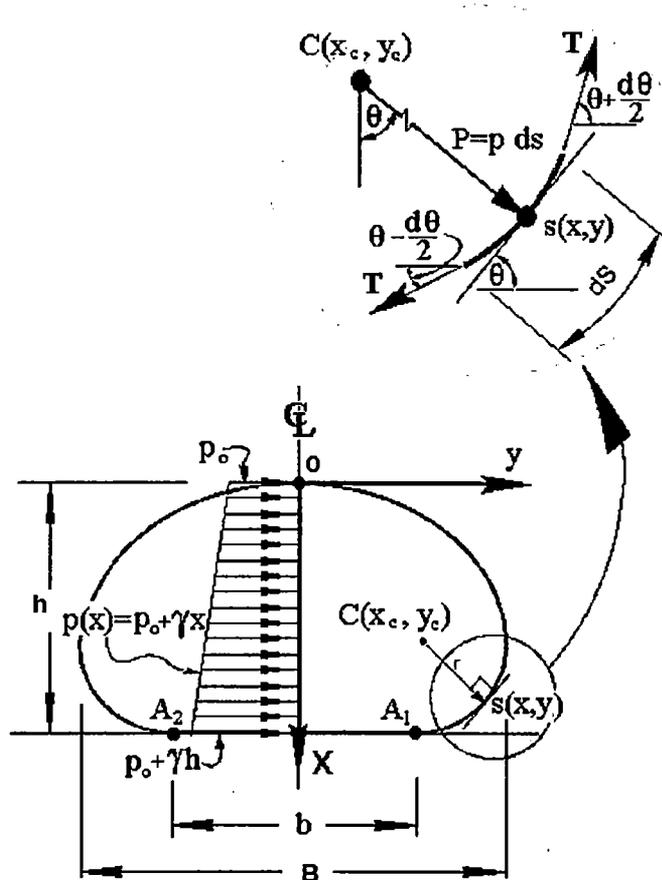
Esta formulación de análisis de los tubos de geotextil, el cual será llenado con material fluido, está basada en el equilibrio de la membrana de encapsulamiento flexible. Es por ello que los resultados de esta formulación, servirán para proporcionar la tensión circunferencial y la geometría del Geocontenedor.

Los conceptos aquí presentados son el resultado de la investigación de los ingenieros: Dov. Leshchinsky, Ora Leshchinsky, Hoe Ling y Paul Gilbert, los que proporcionan la geometría de la estructura encapsulada.

Para empezar el análisis, esta teoría se basa en los siguientes supuestos:

- a) El problema se plantea de naturaleza bidimensional, formulación plana; es decir, el tubo es largo y todas las secciones transversales son idénticas en geometría y materiales; por tanto la pérdida de presión debida al drenaje se ignora.
- b) La presión a la entrada o boca del tubo es la base para el análisis.
- c) La cubierta del geosintético es delgada, flexible y de peso despreciable por unidad de longitud.
- d) El material de relleno del Geocontenedor es fluido, por lo tanto dentro del tubo existe un estado hidrostático de tensiones.
- e) No hay esfuerzo cortante que se desarrolle entre el relleno y el geotextil.

La Figura N°4.2 muestra la convención de términos para el análisis de Geocontenedores.



* Fuente: Manual de Geocops 2.0; preparado por Dov Lshchinsky y Ora Leshchinsky
Figura N° 4.2 Sección Transversal de un Geocontenedor como base del análisis.

En donde:

- h : Altura máxima en la línea central.
- B : Ancho máximo de la estructura
- b : Base plana en contacto con el suelo de fundación.
- Po : Presión en la Boca del Tubo (Generalmente la presión de bombeo).
- γ : Densidad media del relleno.
- Px : Presión hidrostática del relleno a cualquier profundidad "x", medido desde el punto "O".
- ds : Diferencial del perímetro.
- C (xc,yc) : Centro del sector circular para un ds.

La sección transversal es simétrica con respecto al eje vertical "X", por lo que la presión hidrostática del relleno a una profundidad "x" es:

$$P(x) = P_0 + \gamma x. \quad (4.20)$$

La geometría del tubo de geotextil se define por una función desconocida $y = f(x)$.

En el punto S (x, y), el radio de curvatura del geotextil es "r". El centro de esta curvatura está en el punto C(xc, yc). Ambos "r" y "C" varían a lo largo de y(x).

Considere las fuerzas en una longitud de arco infinitesimal del geotextil, ds, (ver Figura N°4.2). Puesto que se asume el problema en dos dimensiones y no se desarrollan esfuerzos de corte entre la mezcla y el geotextil, se deduce que la fuerza de tensión "T" es constante a lo largo de la circunferencia.

En cualquier dirección "x" o "y", se llega a la siguiente relación, para equilibrio de fuerzas:

$$r(x) = \frac{T}{P(x)} \quad (4.21)$$

La Ecuación (4.21) es válida para cualquier punto a lo largo de A₁ O A₂. Para simplificar el análisis, se asume (conservadoramente) que "T" calculado de (4.21) se presenta solamente en el geotextil a lo largo de la base plana "b" (es decir, ninguna porción de "T" se transfiere al suelo de cimentación debido al esfuerzo cortante a lo largo de la interfaz entre el geotextil y el suelo; este esfuerzo sólo puede movilizarse cuando el geotextil deforma la cimentación). Cálculos diferenciales dan el radio de curvatura siguiente:

$$r(x) = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{y''} \quad (4.22)$$

donde: $y' = dy/dx$;

$y'' = d^2y/dx^2$

Sustituyendo (4.20) y (4.22) en (4.21) se tiene:

$$T \cdot y'' - (P_0 + \gamma \cdot x) [1 + (y')^2]^{3/2} = 0 \quad (4.23)$$

La ecuación (4.23) es una ecuación diferencial no lineal que define el lugar geométrico del Tubo, pero que en general no tiene solución literal alguna, de manera que debe ser solucionada numéricamente. Su solución produce relaciones entre la geometría del tubo $y(x)$, la fuerza de tensión circunferencial "T", la presión de bombeo P_o , el peso unitario del relleno, y la altura "h" del tubo (tener en cuenta que "x" varía entre el cero y "h").

$$y = f[x(T, P_o, h, \gamma)] \quad (4.24)$$

Debido a que el peso unitario del relleno " γ " se puede conocer por estudios de campo, " y " está en función de su respectiva "x" y de las tres variables "T", " P_o ", y "h". Típicamente, $y(x)$ se tiene como un parámetro de diseño dado; es decir que se cuenta con cualquiera de las variables: T, P_o ó h; los otros dos parámetros son parte de la solución del problema.

Para obtener la solución explícita, deben imponerse dos condiciones para cada parámetro restante. Tales condiciones producirán una ecuación donde se obtendrá la geometría del tubo, así como los nuevos dos parámetros. Estas condiciones físicas obtenidas reemplazarán a los dos parámetros desconocidos que son parte de la solución.

La primera limitación es la condición de contorno geométrico en el punto "O". Físicamente el Geocontenedor debe ser horizontal en la parte superior para asegurar una buena transición entre una y otra mitad, esto es:

$$\frac{1}{y'(0)} = 0 \quad (4.25)$$

La segunda limitación, puede introducirse a través de la especificación de la base plana de longitud "b". En este caso, la fuerza de equilibrio vertical a lo largo de b requiere de:

$$b = \frac{W}{(P_o + \gamma \cdot h)} \quad (4.26)$$

Donde:

W = Peso del relleno del Geocontenedor por unidad de longitud, de este modo:

$$W = 2\gamma \int_0^h y(x).dx \quad (4.27)$$

Combinando (4.26) y (4.27) se obtiene:

$$b = \frac{2\gamma}{P_0 + \gamma h} \int_0^h y(x).dx \quad (4.28)$$

Solucionado "b" y resolviendo simultáneamente las ecuaciones (4.23), (4.25), y (4.28) para un único parámetro seleccionado (P_0 , T ó h) producirá un geocontenedor de cierta longitud de circunferencia "L"; sin embargo, es más práctico especificar el perímetro del geocontenedor en lugar de "b", debido a que el Geocontenedor es confeccionado de un número dado de anchos de geotextil cosidos. Si se especifica "L", el valor de "b" será entonces el resultado del análisis.

Por tanto, la ecuación (4.28) puede reemplazarse por la siguiente:

$$L_{Perimetro} = b + \int_s ds \quad (4.29)$$

Donde "s" representa el arco A_1 O A_2 (ver Figura N°4.2); y "ds" la longitud diferencial del arco, que es igual a:

$$ds = [1 + (y')^2]^{1/2} dx \quad (4.30)$$

Usando esta definición de "ds" en la ecuación (4.29) y combinándola con la ecuación (4.25) se obtiene una ecuación que representa el equilibrio de fuerzas verticales a lo largo de "b", los resultados son:

$$L_{Perimetro} = \frac{2\gamma}{P_0 + \gamma h} \int_0^h y(x)dx + 2 \int_0^h [1 + (y')^2]^{1/2} dx \quad (4.31)$$

Ahora para el valor de "L" dado, la solución simultánea de (4.23), (4.25), y (4.31) da la relación entre el "T", "h", "Po" y "y(x)"; es decir, la forma explícita de la

ecuación (4.24). Esta solución está completa si es que uno de los parámetros de diseño ("T", "h", "Po"), se especifican.

El proceso numérico involucrado en tal solución es bastante tedioso, requiriendo un procedimiento de prueba y error. Por lo que se recomienda usar algún programa de cálculo. El software de ingeniería que usualmente se usa para los cálculos es el Geocops, desarrollado por Leshchinsky (1996).

4.1.1 Cálculo de Tensiones

Hay necesidad de calcular los esfuerzos de tensión axial por unidad de longitud, T_{axial} , en el geotextil (ver Figura N°4.3).

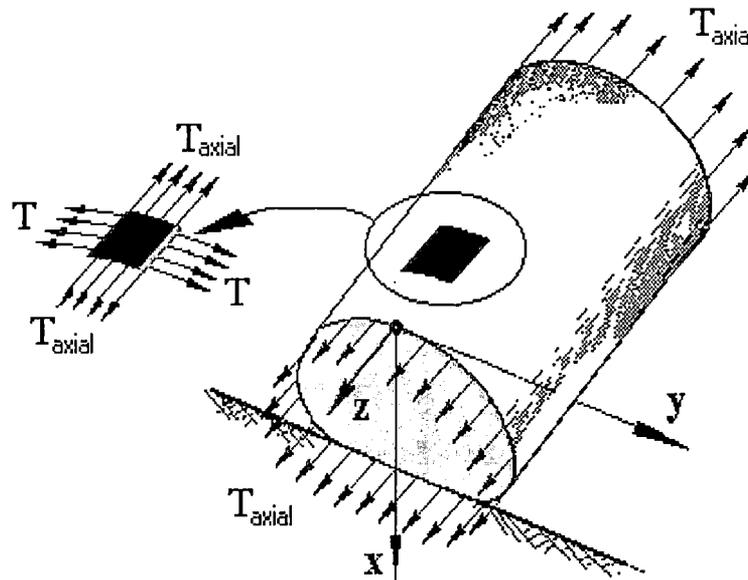
La fuerza total P que actúa en el plano vertical del Geocontenedor, como resultado de la mezcla de presión es:

$$P = 2 * \int_0^h (Po + \gamma x).y(x).dx \quad (4.32)$$

Entonces la tensión axial, T_{axial} , es la fuerza P dividida entre la circunferencia L, del Geocontenedor.

$$T_{axial} = \frac{2}{L} * \int_0^h (Po + \gamma x).y(x).dx \quad (4.33)$$

Una vez que la geometría del Geocontenedor se ha determinado con la solución de la ecuación (4.23), a continuación se puede calcular la T_{axial} , mediante la ecuación (4.33).



*Fuente: Manual de Geocops 2.0; preparado por Dov Lshchinsky y Ora Leshchinsky
Figura N° 4.3 Vista de las Tensiones actuantes en el Geotextil del
Geocintado.

Normalmente la tensión circunferencial, $T_{circ.}$, es más grande que la tensión axial, T_{axial} . Estos valores son importantes cuando se escoge el Geotextil; ya que si es un Geotextil del tipo biaxial; en el cual la tensión es la misma en ambas direcciones se toma en cuenta la tensión circunferencial; pero en caso sea un Geotextil uniaxial, se tiene que tener en cuenta la dirección de colocación; ya que este tipo de geotextil presenta mayor tensión en una que en la otra dirección.

4.6.2 Relación alto/ancho (h/B)

La relación h/B es un indicador de la estabilidad del tubo en aplicaciones ribereñas y costeras. De manera que la base del tubo totalmente emplazado no exceda a más de dos veces el alto.

$$\frac{h}{B} \leq 0.5 \quad (4.34)$$

4.7 DISEÑO CON EL SOFTWARE GEOCOPS

Este software de Ingeniería fue desarrollado por Dov Leshchinsky y Ora Leshchinsky (1996), es una herramienta computacional de diseño que permite determinar la geometría del Geocintado y otros parámetros dando como

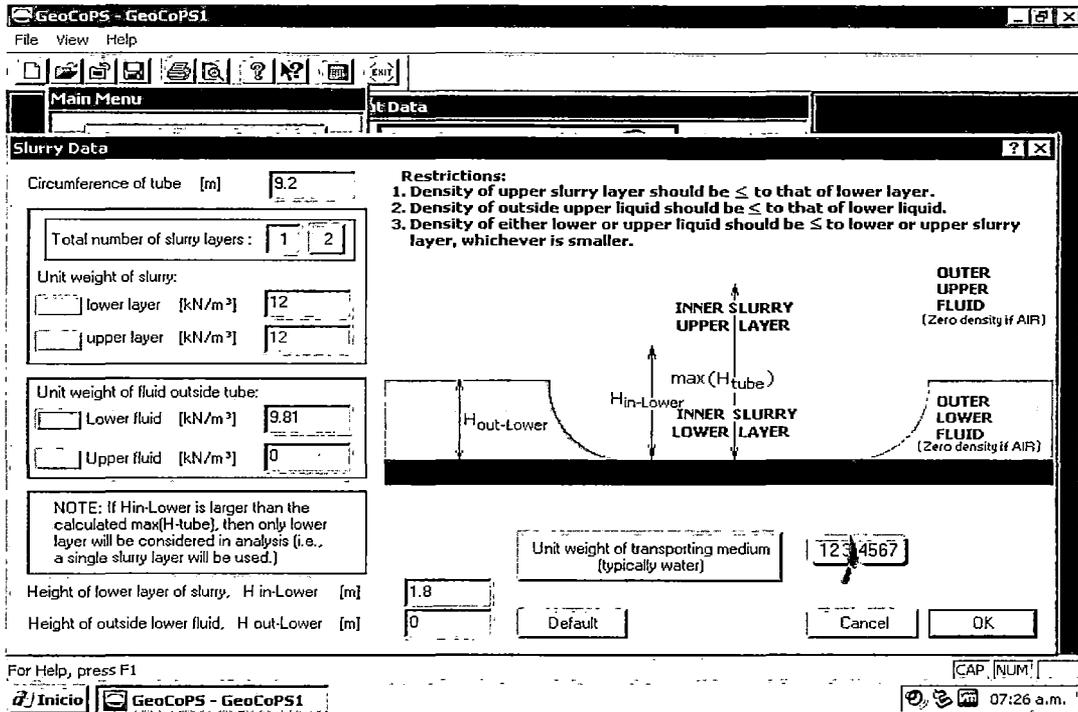
datos de entrada altura final del Geocontenedor, asumiendo pesos específicos del relleno antes y después de su consolidación, factores de seguridad del geotextil, presión de llenado, etc.

Del mismo modo este software también calcula los valores de $T_{circ.}$ y $T_{axial.}$, de manera que se pueda elegir el geotextil más adecuado, también ofrece la ventaja de poder especificar en el cálculo hasta dos tipos de materiales de relleno, tanto dentro como fuera del tubo.

Todos los resultados de cálculo lo veremos a modo de presentación que ofrece el programa.

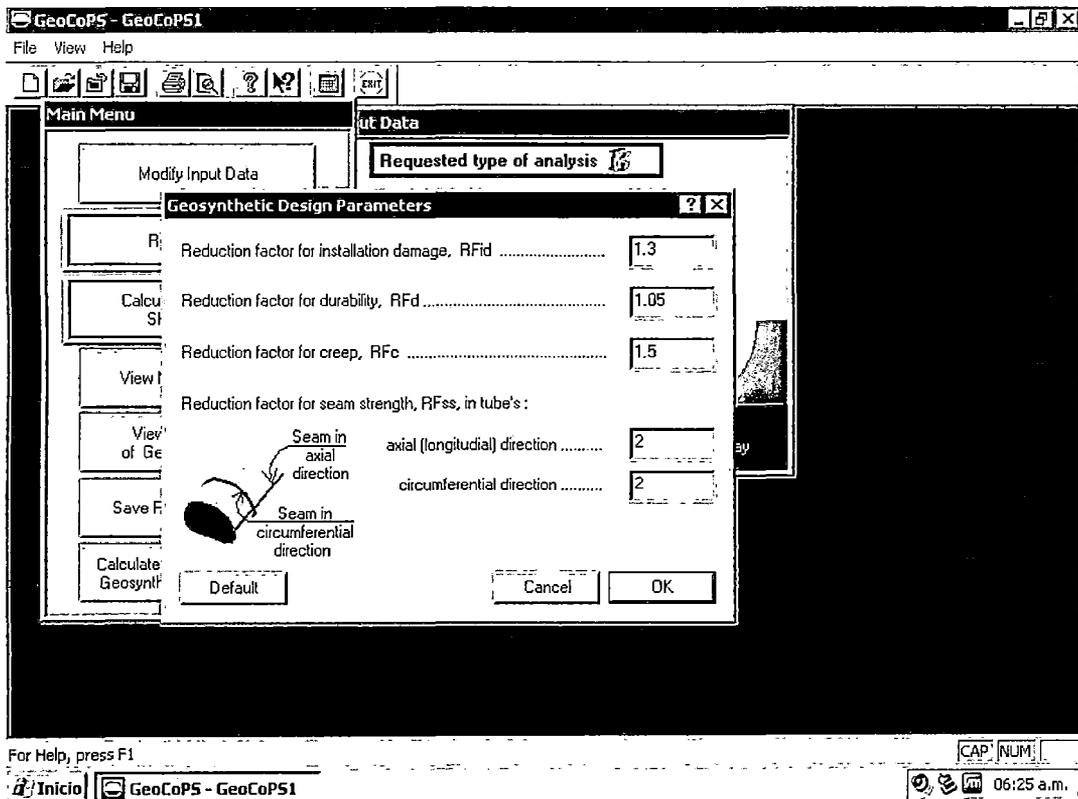
De acuerdo al análisis de diseño para la altura del rompeolas se ha creído conveniente la realización de dos niveles de Geocontenedores de 1.80m de altura cada nivel; es por ello que el diseño siguiente realizado con la ayuda del programa GeoCoPS, hace referencia al análisis de una unidad de Geocontenedor, para poder apreciar la tensión mínima necesaria de Geotextil tejido a utilizar, la presión de llenado y la forma final de la unidad estructural.

En base a ello se procede a colocar los resultados con el programa GeoCoPS a modo de ventanas (ver Figura N° 4.4 a la Figura N°4.8):



*Fuente: Presentación programa Geocops 2.0

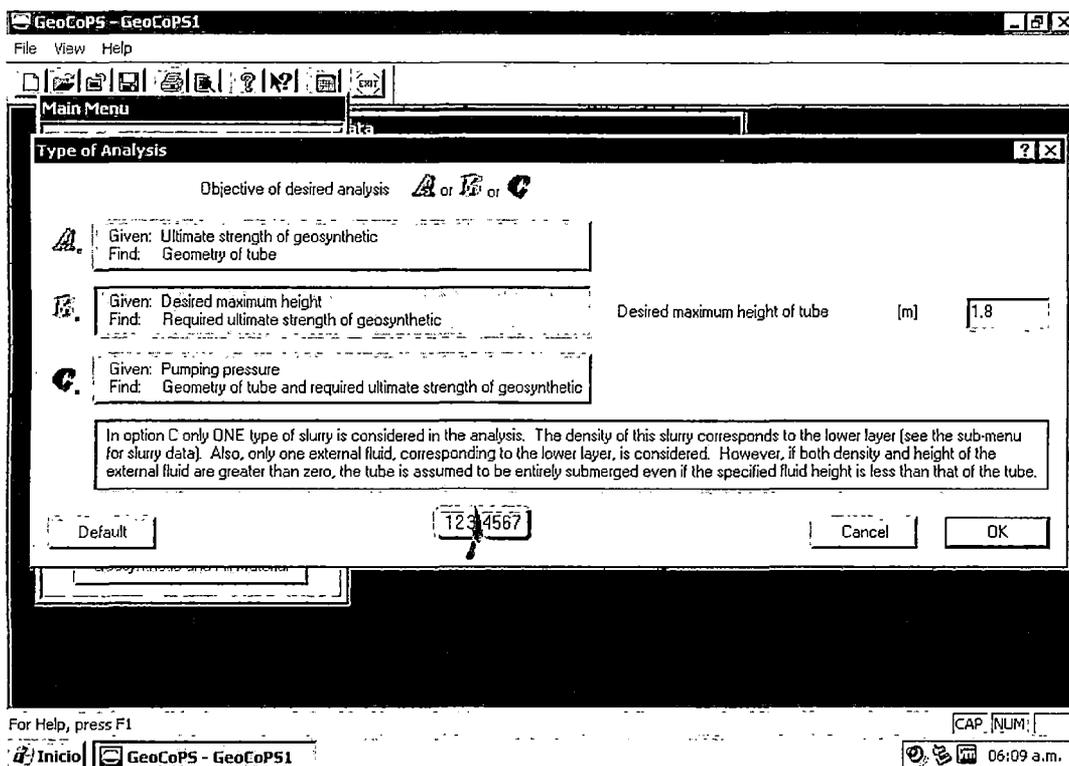
Figura N° 4.4 Datos de ingreso para material de relleno y condiciones iniciales.



*Fuente: Presentación programa Geocops 2.0

Figura N° 4.5 Ingreso de factores de Seguridad para el Geotextil a utilizar.

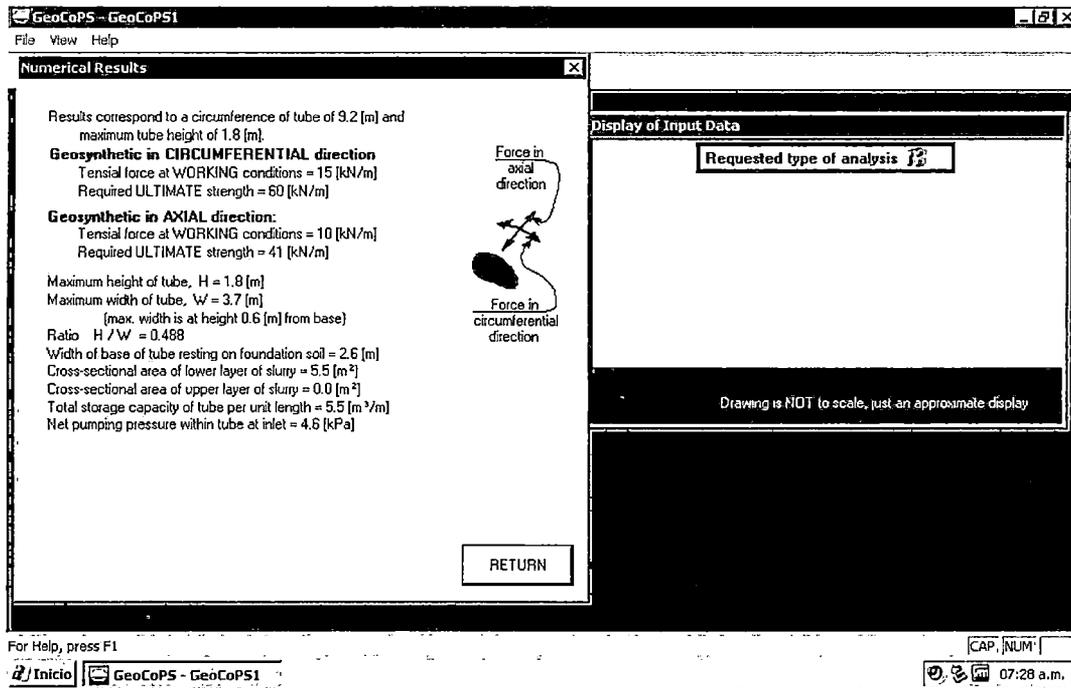
Dentro del programa se tienen tres formas de análisis, de acuerdo a los datos o condiciones que se conozcan se procede a la utilidad de cada una. En la primera forma de análisis se ingresa como dato principal la resistencia última a la tensión del material de geotextil; en la segunda forma, se ingresa como dato principal la altura del Geocontenedor a diseñar; y en la tercera forma se ingresa como dato la presión de la bomba de llenado. Para nuestro caso en particular se tiene que el principal requerimiento es la altura del Geocontenedor a alcanzar, es por ello que se elegirá trabajar con la segunda forma de análisis, cuya ventana de presentación se visualiza en la Figura N° 4.6.



*Fuente: Presentación programa Geocops 2.0

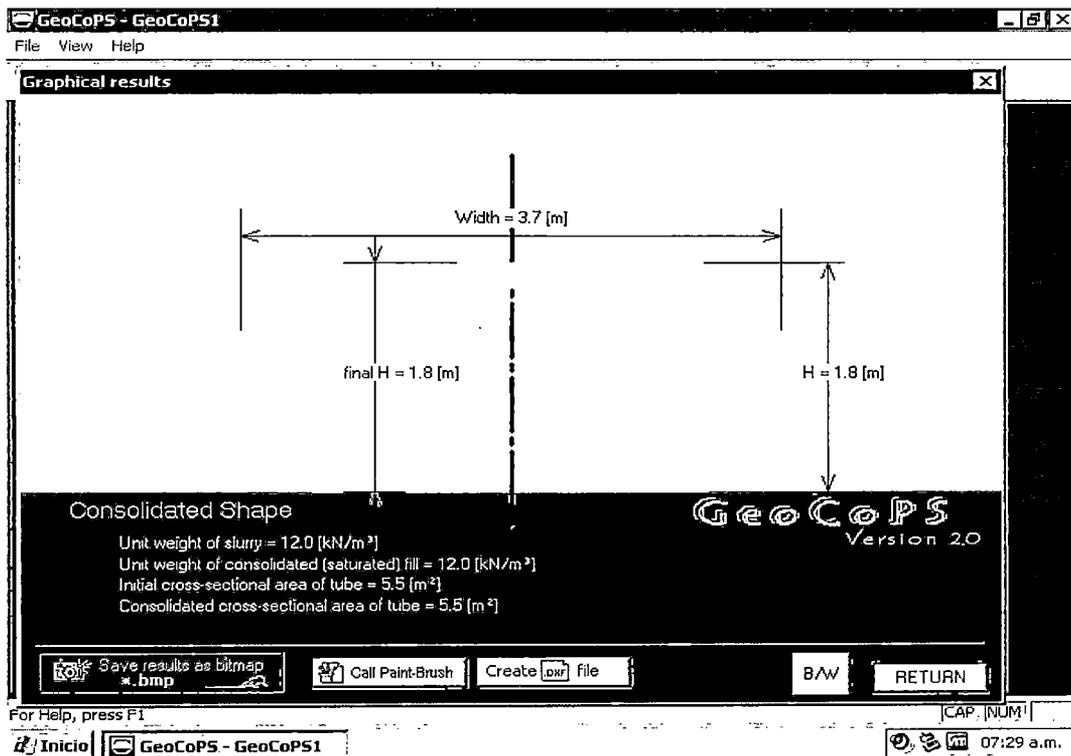
Figura N° 4.6 Tipo de análisis a realizar.

De acuerdo a la altura de la estructura de Geocontenedor, se obtienen los requerimientos necesarios para tal fin, los cuales se presentan en la Figura N° 4.7.



*Fuente: Presentación programa Geocops 2.0

Figura N° 4.7 Resultados del análisis.



*Fuente: Presentación programa Geocops 2.0

Figura N° 4.8 Resultados gráficos de la forma del Geocontenedor.

Los resultados obtenidos con el programa GeoCoPS son resumidos en el Cuadro N°4.2

Cuadro N° 4.2 Resultados obtenidos con el programa GeoCopPS

Resultados Analizados	GeoCoPS
Tensión Circunferencial (T_{circ})	15.0 KN/m
Tensión Axial (T_{axial})	10.0 KN/m
Ancho máximo (B)	3.70 m.
Base de Apoyo (b)	2.60 m.
Area de la sección Transversal (A)	5.50 m ²
Estabilidad $\frac{h}{B}$	0.488
Presión de llenado (P)	4.60 KPa

*Elaboración propia (resultados Geocops 2.0).

Para el análisis de la presión necesaria para el llenado, se necesita una presión de llenado de 4.60 KN/m², por lo que el uso de la bomba puede dejarse de lado y emplear el método mecánico, como se muestra en la Figura N°4.9. La tolva contenedora del material deberá ubicarse a la altura “e” sobre los 1.80 m. de altura del tubo, de tal modo que simule por gravedad la presión necesaria para el llenado.

$$P_o = \gamma \cdot e \quad (4.35)$$

$$e = \frac{P_o}{\gamma} = \frac{4.60}{12} = 0.383m..$$

$$e \approx 0.40m.$$

Se puede monitorear el peso específico del relleno, durante el llenado de los Geocontenedores; aunque ello no tiene mucha implicancia, ya que la variación no afecta demasiado la altura de llenado.

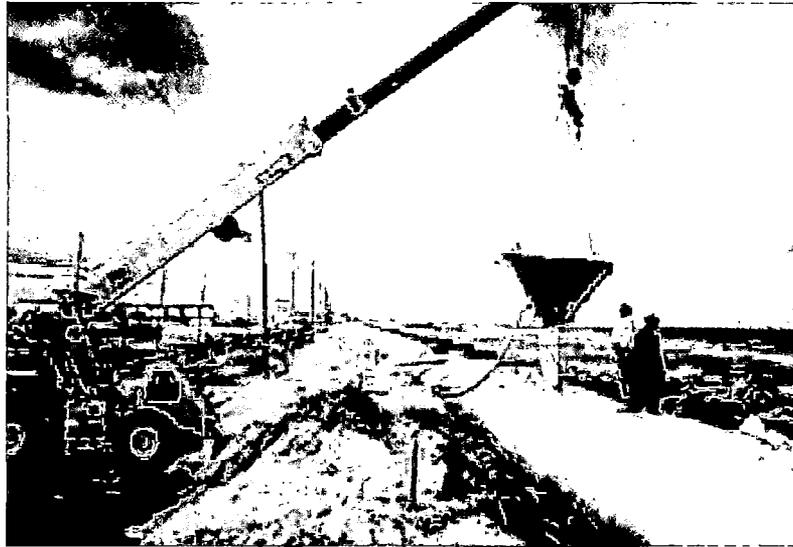


Figura N° 4.9 Método de Llenado del Geocontenedor por Medio de Tolva

Para la conformación de los Geocontenedores es necesario un perímetro de 9.20m, el cual se obtendrá con la unión de dos paños de 5.0 m de ancho, según el geotextil propuesto. Por ello se tendrá que la longitud del perímetro es:

$$L_{Perimetro} = 2xW_{Rollo} - 4xW_{Costuras} \quad (4.36)$$

Donde:

$L_{Perimetro}$: Longitud del perímetro conseguido.

W_{Rollo} : Ancho del rollo de geotextil

$W_{Costuras}$: Ancho de costura.

$$L_{Perimetro} = 2 \times 5.0 - 4 \times 0.05$$

$$L_{Perimetro} = 9.8 \text{ m} \approx 9.2 \text{ m} \text{ Cumple lo requerido.}$$

4.8 DISEÑO DEL TIPO DE GEOTEXTIL

4.8.1 Resistencia efectiva del Geotextil

Del análisis al Geocontenedor lleno, realizado con el software Geocops 2.0, obtenemos la fuerza de Tensión circunferencial mayor "T" a la que se someterá el geotextil en condiciones de trabajo. Sin embargo, para seleccionar el geotextil apropiado que pueda resistir la tensión última T_{ULT} , deben aplicársele factores de reducción, según la relación siguiente:

$$T_{\text{PERM}} = \frac{T_{\text{ULT}}}{FS_{\text{DI}} \times FS_{\text{DQ}} \times FS_{\text{DB}} \times FS_{\text{RF}} \times FS_{\text{RCU}}} \quad (4.37)$$

Para lo cual se tiene:

T_{PERM}	:	Resistencia a la Tensión del geotextil Permitida a largo Plazo (KN/m)
T_{ULT}	:	Resistencia a la Tensión última del Geotextil, según valores MARV (KN/m).
FS_{DI}	:	Factor de Seguridad por Daños de Instalación.
FS_{DQ}	:	Factor de Seguridad por Daños Químicos.
FS_{DB}	:	Factor de Seguridad por Daños Biológicos.
FS_{RF}	:	Factor de Seguridad por Resistencia a la Fluencia, Creep.
FS_{RCU}	:	Factor de Seguridad por Resistencia a las Costuras y Uniones.

Para tener mejor noción de los factores mencionados se describirán brevemente cada uno de ellos:

- **FS_{DI} (Daños de instalación)** = Para los Geocontenedores, este factor se refiere a un aumento accidental de la presión de bombeo, por lo que podría ser definido como un seguro ante variaciones inesperadas de presión de bombeo, con lo cual el geotextil puede verse perjudicado disminuyendo su tensión de trabajo.
- **FS_{DQ} (Daños químicos)** = La mayoría de los geotextiles son inertes ante este tipo de daños. Para verificar si una mezcla puede causar degradación química, se especifica la prueba ASTM D5322-92 (Standard Practice for Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics of Liquids), la cual puede usarse de guía siempre y cuando se use la mezcla de campo. La degradación química también puede ser causada externamente por la exposición directa del geotextil al sol (radiación ultravioleta - UV). Para evaluar la tal degradación, se especificó un procedimiento de prueba en la Norma ASTM D4355-92 (Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles from Exposure to Ultraviolet Light and Water). Asumiendo que el geotextil sea inerte ante el relleno y que estará expuesto a los rayos del sol sólo durante el periodo de

construcción (y poco después de que el relleno se solidifique), se recomienda un valor preliminar mínimo de $FS_{DQ} = 1.0$. Pero en caso que el Geotextil permanezca expuesto, sin cubierta durante su tiempo de servicio, deberá usarse un FS_{DQ} mayor. Debe señalarse que la mayoría del geotextiles contienen sustancias protectores a los rayos UV, como negro de humo o *Negro Carbón* que es resistente a la foto-oxidación y permite su degradación lenta, cuando se exponen a rayos UV.

- **FS_{DB} (Daños biológicos)** = La degradación biológica, no parece ser un problema en la mayoría de los casos, dónde se usan los geotextiles para Geocontenedores; por tanto se recomienda un valor preliminar de $FS_{DB} = 1.0$.

- **FS_{RF} (Daños por Creep)** = Se utiliza para la reducción de resistencia última del geotextil al final del periodo de servicio de la estructura. El comportamiento de un geotextil a largo plazo puede ser determinado mediante la prueba especificada en el ASTM D5262-92 (Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep Behavior of Geosynthetics). Sin embargo, este factor debe evaluarse teniendo en cuenta que la fuerza de tracción máxima en el geotextil se hará presente durante el llenado; después del bombeo, el relleno se solidifica, y la tensión se reduce. Por consiguiente, esta fuerza máxima existirá en un periodo de tiempo corto, en consecuencia un FS_{RF} relativamente pequeño puede asignarse. Este valor debe asegurar que la fuerza de ruptura en la fluencia será mayor que T_{TRAB} . El valor mínimo de FS_{RF} , depende del tipo de polímero, se recomienda que el valor preliminar mínimo para todos los polímeros sea mayor o igual a 1.5.

FS_{RCU} (Reducción de resistencia a la costura) = La eficiencia de las costuras puede ser bastante baja para geotextiles tejidos de alto módulo. Se recomienda un valor preliminar mínimo de 2.0, aunque, el valor exacto de FS_{RCU} deberá ser determinado en la prueba especificada en la Norma ASTM D4884-90 (Standard Test Method for Strength of Sewn or Thermally Bonded Seams of Geotextiles), de donde se obtiene la eficiencia de la costura para luego calcular el valor de FS_{RCU} haciendo $1/(\text{eficiencia de costura})$. Se debe notar que las costuras defectuosas reducen la eficiencia de los geotextiles, pudiendo fallar especialmente durante el proceso de bombeo; sobre todo si se utiliza tierra arcillosa como relleno.

Según la Especificación Técnica del tipo de Geotextil a usar para el diseño de los Geocontenedores se tiene el cuadro de factores de reducción (ver Cuadro N°4.3), a aplicar para el cálculo de la tensión efectiva del Geotextil. La elección dependerá mucho de las condiciones del lugar de la obra, de la importancia de la misma y del criterio del proyectista.

Cuadro N° 4.3 Factores de Reducción para el Geotextil Tejido

APLICACIÓN	RANGO DE FACTORES DE REDUCCIÓN (FR)				
	FR _{DI}	FR _{DQ}	FR _{DB}	FR _{RF}	FR _{RCU}
Geocontenedor	1.30	1.05		1.50	2.0

*Elaboración propia ; según especificaciones técnicas del Geotextil.

De acuerdo al análisis con el programa GeoCoPS la resistencia mínima a la tensión de tira ancha que deberá soportar el Geotextil, luego de habersele aplicado los factores de seguridad (T_{PERM}) deberá ser mayor que 15 KN/m. Este valor lo compararemos con el Geotextil propuesto para la fabricación de los Geocontenedores, el cual asimismo cumple con los valores de resistencia mínima recomendada por la GRI, de 70 KN/m (ver Cuadro N°4.6).

Para el Geotextil propuesto, según la relación (4.37), se obtiene:

$$T_{PERM} = \frac{108}{1.30 \times 1.05 \times 1.00 \times 1.50 \times 2.00}$$

$$T_{PERM} = 26.37 \frac{KN}{m}$$

$$26.37 \frac{KN}{m} \geq 15 \frac{KN}{m}$$

$$T_{PERM} \geq T \quad \text{Cumple el requerimiento}$$

4.8.2 Tamaño de abertura aparente (TAA) del Geotextil

Normalmente el Geotextil que encapsula el relleno tiene que funcionar también como filtro, es decir, permitir que el agua en el suelo encapsulado escape a través del geotextil debido al gradiente hidráulico y densidad del suelo, mientras

que las partículas sólidas son retenidas. Para ello el Geotextil debe poseer dos propiedades esenciales, ser permeable y al mismo tiempo retener los sólidos.

En aplicaciones tradicionales de filtración, se requiere cierta compatibilidad entre el tamaño de las partículas de suelo y el tamaño del TAA del geotextil. Se utiliza la Norma ASTM D 4751- 93 (Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile), con la cual se puede determinar el tamaño de apertura aparente (TAA ó O_{95}) del geotextil especificando el tamaño de partículas más grandes que pasan a través del Geotextil.

Muchos criterios se han aplicado para calcular el TAA del geotextil para el uso de geocontenedores. Estos usualmente se basan en el coeficiente de uniformidad del suelo (C_u). Sin embargo en últimas investigaciones, el ingeniero Lechchinsky (1992) notó que cuando el suelo filtrado era lodo con arcilla, el escape de las partículas a través del geotextil de refuerzo se detenía rápidamente y el agua que escapaba se tornaba transparente. Esto ocurre debido a que el geotextil se colmata, y a que la estructura interna del tubo se transforma en un gran filtro en el que las partículas más gruesas del suelo se encuentran cerca al geotextil y las más finas hacia adentro, alejadas de la capa externa. En otras palabras el tubo se forma como un Filtro que incrementa su capacidad de filtración y disminuye su permeabilidad. Para evaluar en campo si el geotextil no se va a tapar, se puede usar el relleno normal y verificar con el uso de la Norma ASTM D5101-90 (Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio).

Al inicio del llenado las partículas más finas escapan del tubo, pero mientras el proceso continúa los granos más gruesos (que no pueden salir a través de los poros) van quedando atrapados e impidiendo que otras de menor tamaño pasen. Así sucesivamente hasta que incluso las partículas más finas no pueden escapar.

Partiendo del fenómeno anterior, el TAA de un geotextil que formará el Geocontenedor no es un parámetro importante para predecir su capacidad de filtración, especialmente cuando el relleno es arena.

Si en caso se quiera una perfecta retención de finos combinado con un material de alta resistencia, se puede optar por un revestimiento no tejido el cual también

servirá como una medida de seguridad en caso de una costura defectuosa, el costo de este revestimiento es bajo en comparación al alto costo del geotextil tejido. También se tienen geotextiles que tienen una capa de tejido y otra de no tejido, unidas de fábrica, lo cual a la vez brinda mayor seguridad en lugares expuestos al constante punzonamiento.

4.9 DISEÑO DEL MANTO ANTISOCAVANTE

Para el uso del tipo de Geotextil para la confección del manto antisocavante, por lo general se usa el mismo geotextil de alto módulo con el que se confecciona los Geocontenedores; ya que no hay estudios que justifiquen las propiedades que deben tener este tipo de geotextiles, también se puede tener en cuenta las recomendaciones del GRI (ver Cuadro N°4.7). Por ello se ha creído conveniente la confección del manto antisocavante del mismo tipo de Geotextil que se utilizará para los Geocontenedores.

Es recomendable que este manto, se coloque a lo largo de la estructura de Geocontenedores y a ambos lados de la misma; ya que cuando se llena la estructura, el agua escurre y escapa por todos lados, pudiendo erosionar el suelo de la cimentación disminuyendo la capacidad de soporte o alterando los niveles iniciales del terreno, haciendo que el Geocontenedor ruede se deforme o colapse por sobreesfuerzos en el Geotextil.

La longitud que debe extenderse el Manto antisocavación, desde la base es de aproximadamente 3 veces la H_s , y caso una de las partes del Geocontenedor este enterrada o no este expuesto directamente al choque del oleaje, este debe extenderse 2 veces H_s (Ver Figura N° 1.10)

Para el caso nuestro de los Geocontenedores consideraremos:

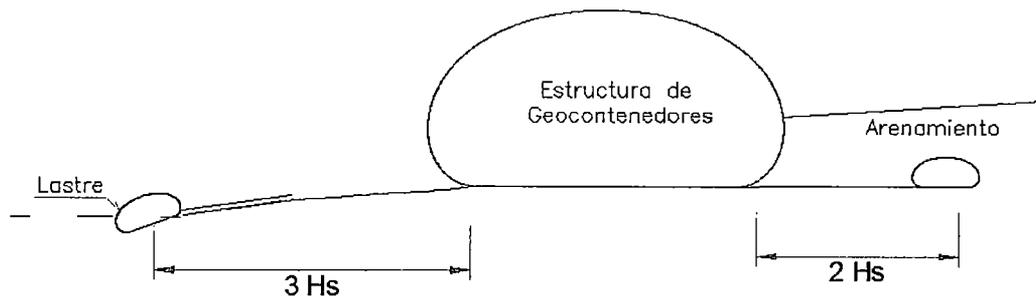
$$L_{PA} = 5H_s + B \quad (4.38)$$

Donde:

- L_{PA} : Ancho total de la pantalla antisocavante a lo largo de toda la defensa.
- H_s : Profundidad de Socavación.

Para una profundidad de socavación de 1.20 m se tendrá:

$$L_{PA} = 5 \times 1.20 + 13.20 = 19.20$$



*Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4. 10 Dimensiones de la pantalla Antisocavante.

Para el lastre se recomienda una altura de aproximadamente 30 cm, aunque esto dependerá del criterio del diseñador. De cualquier modo, se han reportado lastres longitudinales de 1.20 m de perímetro, que han resistido adecuadamente las olas en caso de tormentas.

4.9.1 Recomendaciones de GRI

El Geosynthetic Research Institute – GRI (Instituto Para el Desarrollo de los Geosintéticos), en cooperación con los miembros de su organización, publicó en su documento GRI Test Method GT10 una guía de especificaciones para el geotextil del Tubo y la Pantalla Antisocavante, los cuales pueden servir de referencia en el diseño.

Cuadro N° 4.4 Valores MARV para el Geotextil del Tubo en Condiciones Agresivas

Propiedades	Método de Ensayo	Unidad	Valor	Frecuencia de Ensayo
Físicas				
Circunferencia del Tubo	Medido	m.	2..3/4.6/6.8/	n/a
Diámetro de las Bocas de Entrada	Medido	cm.	9.1/14/18 30 ó 45	n/a
Mecánicas				
Resistencia a la Tensión de Tira Ancha	D 4595	KN/m	175 x 175	7500 m ²
Elongación Máxima de la Tira Ancha	D 4595	% x %	15 x 15	7500 m ²
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	D 4533	KN	2.7 x 2.7	7500 m ²
Resistencia al Punzonamiento	D 4833	KN	1.8	7500 m ²
Resistencia de las Costuras (de Fábrica)	D 4884	KN/m	105	40000 m ²
Hidráulicas				
Tamaño de Abertura Aparente (TAA)	D 4751	mm.	0.425	40000 m ²
Tasa de Flujo	D 4491	lt/min/m ²	240	40000 m ²
Duración				
Resistencia a los Rayos UV (% retenido luego de 150 horas de exposición en laboratorio)	D 4355	%	65	Al Año

*Fuente GRI.

Cuadro N° 4.5 Valores MARV para el Geotextil de la Pantalla Antisocavante en Condiciones Agresivas

Propiedades	Método de Ensayo	Unidad	Valor	Frecuencia de Ensayo
Físicas				
Perímetro del Lastre	Medido	Metros	0.9 – 1.8	n/a
Mecánicas				
Resistencia a la Tensión de Tira Ancha	D 4595	KN/m	70 x 95	7500 m ²
Elongación Máxima de la Tira Ancha	D 4595	% x %	20 x 20	7500 m ²
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	D 4533	KN	0.8 x 1.2	7500 m ²
Resistencia al Punzonamiento	D 4833	KN	1.2	7500 m ²
Resistencia de las Costuras (de Fábrica)	D 4884	KN/m	60	40000 m ²
Hidráulicas				
Tamaño de Abertura Aparente (TAA)	D 4751	mm.	0.425	40000 m ²
Tasa de Flujo	D 4491	lt/min/m ²	240	40000 m ²
Duración				
Resistencia a los Rayos UV (% retenido luego de 150 horas de exposición en laboratorio)	D 4355	%	65	Al Año

*Fuente GRI.

Cuadro N° 4.6 Valores MARV para el Geotextil del Tubo en Condiciones Típicas
No Agresivas

Propiedades	Método de Ensayo	Unidad	Valor	Frecuencia de Ensayo
Físicas				
Circunferencia del Tubo	Medido	m.	2..3/4.6/6.8/	n/a
Diámetro de las Bocas de Entrada	Medido	cm.	9.1/14 30 ó 45	n/a
Mecánicas				
Resistencia a la Tensión de Tira Ancha	D 4595	KN/m	70 x 95	7500 m ²
Elongación Máxima de la Tira Ancha	D 4595	% x %	20 x 20	7500 m ²
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	D 4533	KN	0.8 x 1.2	7500 m ²
Resistencia al Punzonamiento	D 4833	KN	1.2	7500 m ²
Resistencia de las Costuras (de Fábrica)	D 4884	KN/m	35	40000 m ²
Hidráulicas				
Tamaño de Abertura Aparente (TAA)	D 4751	mm.	0.425	40000 m ²
Tasa de Flujo	D 4491	lt/min/m ²	240	40000 m ²
Duración				
Resistencia a los Rayos UV (% retenido luego de 150 horas de exposición en laboratorio)	D 4355	%	65	Al Año

*Fuente GRI.

Cuadro N° 4.7 Valores MARV para el Geotextil de la Pantalla Antisocavante en
Condiciones Típicas – No Agresivas

Propiedades	Método de Ensayo	Unidad	Valor	Frecuencia de Ensayo
Físicas				
Perímetro del Lastre	Medido	Metros	0.9 – 1.8	n/a
Mecánicas				
Resistencia a la Tensión de Tira Ancha	D 4595	KN/m	70 x 70	7500 m ²
Elongación Máxima de la Tira Ancha	D 4595	% x %	20 x 20	7500 m ²
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	D 4533	KN	0.8 x 1.2	7500 m ²
Resistencia al Punzonamiento	D 4833	KN	1.2	7500 m ²
Resistencia de las Costuras (de Fábrica)	D 4884	KN/m	35	40000 m ²
Hidráulicas				
Tamaño de Abertura Aparente (TAA)	D 4751	mm.	0.425	40000 m ²
Tasa de Flujo	D 4491	lt/min/m ²	240	40000 m ²
Duración				
Resistencia a los Rayos UV (% retenido luego de 150 horas de exposición en laboratorio)	D 4355	%	65	Al Año

*Fuente GRI.

4.10 CONSOLIDACIÓN DE LA ALTURA DEL GEOCONTENEDOR

La consolidación inicial de los Geocontenedores ocurre inmediatamente después de acabar el llenado, debido a que el agua excedente empieza a filtra. Por ello es importante dar un margen de seguridad en la altura de los Geocontenedores, para que al final de esta altura de consolidación se tenga la altura de diseño.

De acuerdo a la experiencia se demuestra que la altura del Geocontenedor disminuye, y a su vez el ancho "B" del mismo aumenta ligeramente. Esta reducción en la altura del Geocontenedor puede ser significativa sobre todo cuando se bombea suelo fino.

El procedimiento siguiente permite aproximar una estimación de la disminución en la altura del Geocontenedor. Suponiendo que el relleno está totalmente saturado (S = 100%) y usando las relaciones básicas de Volumen - Peso, se puede demostrar que:

$$W_o = \frac{G_s - \gamma_o}{\gamma_w} \quad (4.39)$$

$$G_s \left(\frac{\gamma_o}{\gamma_w} - 1 \right)$$

Y:

$$W_f = \frac{G_s - \gamma_f}{\gamma_w} \quad (4.40)$$

$$G_s \left(\frac{\gamma_f}{\gamma_w} - 1 \right)$$

Donde:

- W_o : Contenido de agua del material de relleno al inicio de la consolidación.
- W_f : Contenido de agua del material de relleno al final de la consolidación.
- G_s : Gravedad específica relativa de los sólidos. (Constante para el suelo mismo, independientemente del cambio en el contenido de agua)
- γ_o : Peso Unitario del relleno, al inicio de la consolidación .
- γ_f : Peso Unitario del relleno, al final de la consolidación .
- γ_w : Peso Unitario de agua.

Asumiendo que el material a consolidarse solo se desplaza verticalmente en una sola dimensión (es decir, asentamiento vertical y movimiento lateral despreciable) y haciendo uso de la relación:

$$\frac{\Delta h}{h_o} = \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad (4.41)$$

Se obtiene:

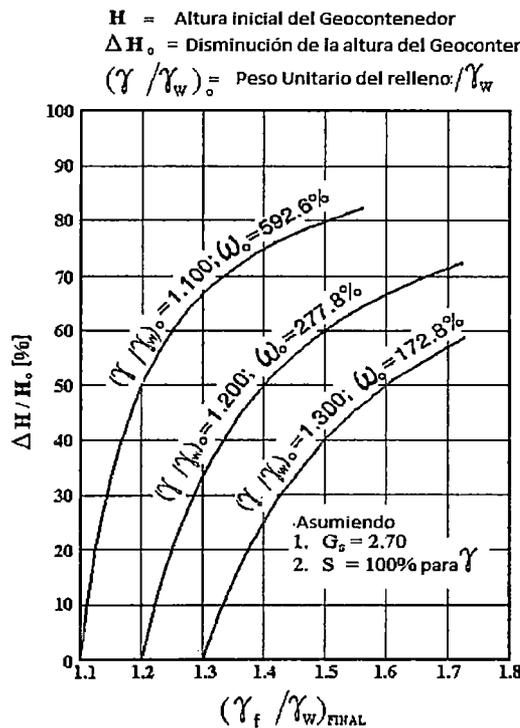
$$\frac{\Delta h}{h_o} = \frac{G_s \cdot (\omega_o - \omega_f)}{1 + \omega_o \cdot G_s} \quad (4.42)$$

Donde:

- Δh : Disminución de la altura del geocontenedor.
 h_o : Altura inicial del tubo.

Combinando las ecuaciones (4.39) y (4.40) con (4.42), se puede estimar la disminución de la altura del Geocontenedor por densificación.

La Figura N° 4.11 Muestra los resultados de la combinación de estas ecuaciones, asumiendo $G_s = 2.70$



*Fuente: Manual de Geocops 2.0; preparado por Dov Lshchinsky y Ora Leshchinsky
Figura N° 4.11 Disminución de la Altura del Tubo en Función de la Densidad del Suelo

Para las condiciones de campo se tienen los siguientes datos, con los cuales realizará una aproximación para el cálculo de la consolidación del Geocontenedor:

$$\begin{aligned} G_s & : & 2.65 \\ \gamma_o & : & 12.0 \text{ KN/m}^3 \\ \gamma_f & : & 19.2 \text{ KN/m}^3 \\ \gamma_w & : & 10.3 \text{ KN/m}^3 \end{aligned}$$

Entonces:

$$W_o = \frac{2.65 - \frac{12}{10.3}}{2.65 \times \left(\frac{12.0}{10.3} - 1 \right)} = \frac{1.48}{0.44} = 3.36$$

$$W_f = \frac{2.65 - \frac{19.2}{10.3}}{2.65 \times \left(\frac{19.2}{10.3} - 1 \right)} = \frac{0.79}{2.29} = 0.34$$

Cálculo del asentamiento en el primer llenado:

$$\frac{\Delta h}{h_o} = \frac{2.65 \times (3.36 - 0.34)}{1 + 3.36 \times 2.65} = \frac{8.003}{9.904} = 0.81$$

$$\Delta h = h_o \times 0.81 = 1.80 \times 0.81 = 1.45 \text{ m.}$$

De acuerdo a ello para varios tiempos de llenado, se tendrá:

$$\Delta h = h_{on} \times 0.81^n = 1.45 \times 0.81^{20} = 0.026 \text{ m.}$$

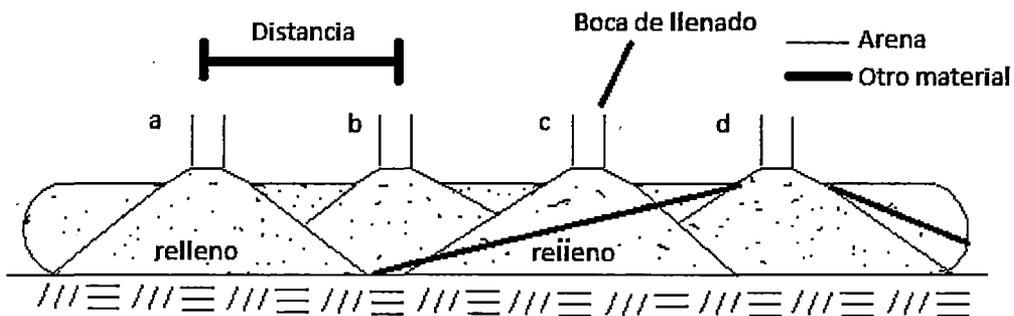
El subíndice indica el tiempo de llenado; entonces después varios llenados, se obtiene una consolidación de 2.6 cm; para este caso después de veinte llenados.

Leshchinsky (1992), indica según experiencia, que cuando el material a bombear es de grano fino, el tubo disminuirá al mes aproximadamente 50% de

su altura inicial. En esta etapa, el suelo sólido permitirá caminar sobre el Geocontenedor. Si el objetivo es formar un tubo de una cierta altura deseada, relleno adicional puede bombearse nuevamente. Este proceso puede repetirse hasta que se logre la altura final de diseño. Alternativamente, si se bombea arena (o suelo con más del 50% de sus partículas retenidas en la malla No. 200) se producirán dimensiones finales previsibles, típicamente después de un único bombeo.

4.11 CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE BOCAS

Para determinar el espaciamiento entre las bocas de entrada del material, debe tomarse en cuenta las propiedades de asentamiento del mismo, basado en las propiedades del ángulo en reposo del material de relleno, como puede apreciarse en la Figura N° 4.12. Por ello según la imagen, si el material de relleno fuese arena, el llenado del Geocontenedor se efectuaría por las bocas a, b, c y d; en cambio si el relleno tuviese un ángulo de reposo inferior, el llenado se realizaría por las bocas a y d.



*Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.12 Espaciamientos entre bocas de entrada

Para determinar la distancia máxima de separación entre las bocas de llenado; a fin de que se logre distribuir el relleno en toda la longitud del Geocontenedor, se hace uso de la relación propuesta por Golman (1986):

$$L = \frac{Q}{(W \times V_s)} \quad (4.43)$$

Donde:

L : Longitud entre bocas de llenado, m.

Q : Caudal de entrada, m³/s.

W : Ancho del flujo, m.

V_s : Velocidad de asentamiento de las partículas, m/s.

Para determinar la velocidad de sedimentación se hace uso del Abaco de Goldman, ver Anexo N° 07, el cual relaciona la velocidad de sedimentación con el tamaño de las partículas de las que está compuesto el relleno; es por ello que se pueden ver el tamaño de partículas de los principales tipos de suelo en la Figura N° 4.15.

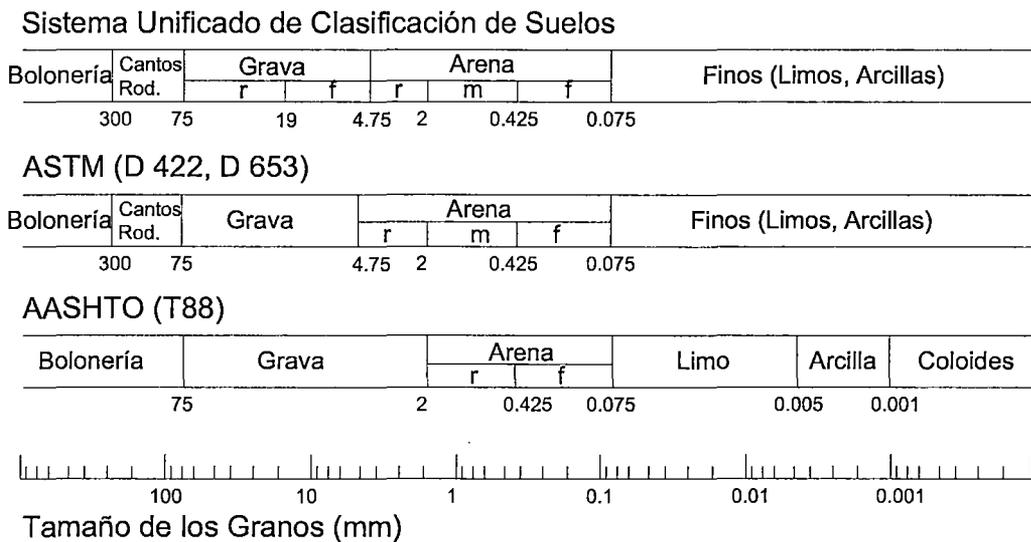


Figura N° 4.13 Diferentes Clasificaciones de Suelo de Acuerdo al Tamaño de sus Partículas

4.11.1 Velocidad de entrada del flujo al Geocontenedor

La velocidad de entrada al flujo, según el llenado mecánico, se calculará haciendo uso de la siguiente relación

$$V_f^2 = V_o^2 + 2.g.e \quad (4.44)$$

Donde:

- V_f : Velocidad al final de la boca de entrada. m/s.
- V_o : Velocidad al inicio de entrada = 0 m/s, llenado mecánico
- g : Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg²

Reemplazando:

$$V_f = \sqrt{0 + 2 \times 9.81 \times 0.40} = 2.80 \text{ m / seg.}$$

4.11.2 Cálculo del caudal que ingresa al Geocontenedor

Para el proceso de llenado se propone bocas de llenado que tengan un diámetro aproximado de 8" (0.20 m.). De acuerdo a ello se obtiene el área de entrada del flujo:

$$A_{Boca} = \pi.R^2 \quad (4.45)$$

Donde:

A_{Boca} : Área de la sección transversal del círculo (Boca).

R_{Boca} : Radio de la boca de entrada

$$A_{Boca} = \pi.0.10^2 = 0.03m^2$$

Sabemos que:

$$Q = V_f \times A_{Boca} \quad (4.46)$$

Entonces:

$$Q = 2.80 \times 0.03 = 0.084 \approx 0.08m^3 / seg.$$

4.11.3 Cálculo del ancho del Flujo

Para cálculo del ancho del flujo se idealizará el Geocontenedor en forma rectangular, de modo que:

$$W = \frac{A}{h} \quad (4.47)$$

Donde:

W : Ancho de flujo, m.

A : Área transversal del Geocontenedor, m^2 .

h : Altura del Geocontenedor, m.

$$W = \frac{5.50}{1.80} = 3.06m$$

4.11.4 Velocidad de Asentamiento de la Partículas

Para el cálculo de asentamiento de las partículas, se hará uso del Anexo N° A.12 para curvas de sedimentación de partículas propuesto por Godman, de acuerdo a ello se tiene que:

- d_{50} : 3.1 mm.

Obteniéndose:

$$V_s = 0.0028 \text{ pies/seg} = 0.000853 \text{ m/seg}$$

Con los cálculos realizados podemos determinar el espaciamiento máximo entre bocas:

$$L = \frac{0.08}{3.06 \times 0.00085} = 30.75 \approx 30m.$$

Para el dimensionamiento de las bocas de llenado, se necesitará que su diámetro sea mayor que el de la manguera proveniente de la tolva (8"), de manera que ésta pueda ingresar a las bocas sin dificultad, y pueda asegurarse para evitar filtraciones en el momento del llenado. En promedio deberán tener un diámetro de 10", es decir 0.25 m.

La longitud de la boca que es necesaria para conseguir la presión de llenado, es de 0.40m por la presión, más unos 0.20 m. para sujetarla a la tolva. Haciendo un total de 0.60 m de largo para la boca de llenado.

CAPÍTULO V: PROCEDIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GEOCONTENEDORES

En los últimos años, en muchas regiones alrededor del mundo, los efectos naturales y antropogénicos, como el calentamiento global y el descontrolado desarrollo de la infraestructura costera, han generado cambios importantes en la dinámica del litoral, es por ello que se ha buscado alternativas para Protección Costera y Rehabilitación de playas; dentro de ellas, la construcción de Geocontenedores hechos a base de Geotextil tejido, ha logrado ser exitosa ganando mucha acogida, al ser un sistema fácil y rápido en la colocación, de bajo costo y mínimo impacto ambiental.

El llenado de los Geocontenedores, puede realizarse hidráulica o mecánicamente, se puede usar gran variedad de materiales susceptibles a ser dragados; ya que las propiedades desfavorables que puedan tener los materiales de grano fino; como su alto contenido de humedad, bajo ángulo de fricción, baja resistencia a la tracción, dificultad para el control de la migración de finos, no los limitan para usarse como relleno. Este sistema de Geocontenedores promueve la deshidratación de suelos, los cuales pueden ser blandos; confinándolos para conformar una estructura sólida, que a su vez es flexible, que puede acomodarse a las condiciones externas y del terreno, siendo un sistema estable en el tiempo y resistente a impactos.

El sistema de Geocontenedores puede construirse y llenarse del tamaño que se necesite; ya que puede darse un acabado en terraplén, banquetas apoyadas en talud natural, o conformado como base para seguir llenando otros geocontenedores al lado o encima, según los requerimientos del proyecto.

El trabajo de ejecución del sistema de Geocontenedores consiste en el suministro, confección, la instalación y llenado del Geocontenedor, conformando de ese modo la estructura para el control que se requiera.

En los siguientes apartados se describirán los procesos mencionados, para tener una base de construcción referente al sistema propuesto; las cuales pueden variar en algunos aspectos, según las condiciones que puedan encontrarse.

5.1 CONFECCIÓN Y COSTURA DEL GEOCONTENEDOR

En el medio hay empresas especializadas, en la confección y costura de Geocontenedores de Geotextil tejido; de acuerdo a ello se describirá el proceso de la manufactura, las herramientas y procedimientos que se utilizan para dicho fin:

5.1.1 Materia Prima

Dentro de los materiales principales a usar en la fabricación de los Geocontenedores tenemos:

- Geotextil Tejido, es el principal componente en la fabricación de los Geocontenedores; ya que de sus propiedades mecánicas, hidráulicas, durabilidad, y demás descritas, dependerá el desempeño de la estructura. Para escoger el tipo de Geotextil, se hace uso de la hoja de Especificaciones Técnicas, las cuales son elaboradas por los fabricantes, dentro de ellas encontraremos el material con el cual fueron elaboradas, sus distintas propiedades, sus factores de reducción para diseño, geometría de los rollos, entre otras.

Para el diseño de la estructura de rompeolas en la zona de aplicación, se confeccionará los Geocontenedores con Geotextil Tejido, del tipo PES 108/108 DW, del cual se puede observar las especificaciones técnicas principales en el Cuadro N° 5.1. Este tipo de Geotextil tejido está elaborado con poliéster, y es del tipo biaxial; es decir, presenta igual resistencia mecánica en ambas direcciones, lo que facilita su uso y disminuye los desperdicios por cortes; las dimensiones del rollo son de 5 m de ancho y 300 m de largo. En la Figura N° 5.1, se puede apreciar el tipo de geotextil descrito anteriormente.

Cuadro N° 5.1 Propiedades del Geotextil Tejido

PROPIEDADES	STABILENKA PES 108/108
Resistencia a la tensión Nominal	
Dirección Longitudinal	108 KN/m
Dirección Transversal	108 KN/m
Módulo de Rigidez al 5% de deformación	
Dirección Longitudinal	≥ 920 KN/m
Deformación según resistencia nominal	
Dirección Longitudinal	≤ 10 %
Carga de Rotura por Fluencia(120 años)	
Dirección Longitudinal	≥ 71 KN/m
Permeabilidad Normal	≥ 5 x 10 ⁽⁻³⁾ m/s
Coefficiente de interacción	
Suelos finos	≥ 0.6
Suelos arenosos	≥ 0.7
Dimensiones	
Ancho	5 m
Largo	300 m

*Especificaciones Técnicas de Geotextil Tejido.



*Fuente: Propia

Figura N° 5.1 Geotextil tejido de Poliéster de alta tenacidad, PES 108/108.

- Hilo Poliéster de alta resistencia; esta materia prima es de suma importancia para alcanzar la resistencia mecánica de los Geocontenedores; para ello se realizan ensayos de resistencia según los distintos tipos de costuras. Los ensayos con el tipo de hilo a usar, han sido descritos en el Capítulo III, apartado 3.2.1. La presentación de hilo a usar para la costura es en cono de aproximadamente 1 kg, lo cual puede visualizarse en la Figura N°5.2.



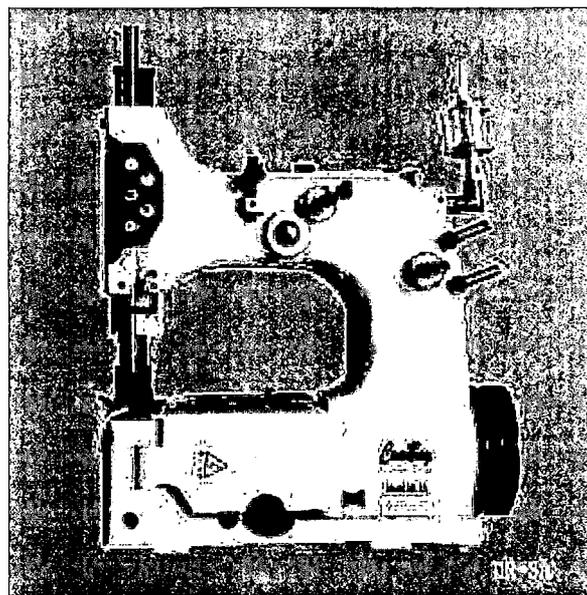
*Fuente: Propia

Figura N° 5.2 Presentación en cono de Hilo de Poliéster.

5.1.2 Herramientas

Entre los equipos básicos que se tiene para la confección de Geocontenedores se tiene:

- Máquina de coser; hay diferentes tipos de máquina de coser, las cuales realizan diferentes tipo de costura como se explicará posteriormente. Para la confección de los Geocontenedores propuestos se usará la máquina tipo Cadeneta, la cual puede ser de una, dos o tres agujas, dependiendo de la tensión a la cual estará expuesto el Geocontenedor a confeccionar. En la Figura N°5.3, puede visualizarse la Máquina de coser tipo Cadeneta doble.



*Fuente: Internet.

Figura N° 5.3 Máquina de Coser tipo Cadeneta doble.

- Tira Línea, Herramienta usada para realizar el marcado de los cortes, con ello se conseguirá un corte más preciso.
- Cautiles tipo Hacha, herramienta utilizada para generar los cortes en el material de Geotextil, luego de hacer el trazo o marcado. La capacidad del cautil debe ser mayor a los 400 W, para realizar un corte más preciso y evitar deteriorar el geotextil.



*Fuente: Internet

Figura N° 5.4 Cautil tipo Hacha de 400 W de potencia.

5.1.3 Procesos en la Confección de los Geocontenedores

5.1.3.1 Proceso de Corte

De acuerdo a la Geometría de los Geocontenedores, se debe definir el trazo del Geotextil Tejido a utilizar, con el fin de obtener el menor desperdicio posible. Los pasos a seguir en el proceso de corte son los siguientes:

- Tender el rollo de Geotextil sobre la mesa o área de trabajo, suspendiendo el rollo con la ayuda de un soporte longitudinal para luego desenrollarlo según las necesidades del área a utilizar.
- Una vez tendido el rollo de Geotextil se procederá a marcar y trazar las dimensiones para el corte, con la ayuda de alguna herramienta de marcado, como un tiralíneas; este paso es importante ya que nos facilitará dirigir el corte con el cautil. Este proceso puede visualizarse en la Figura N°5.5.



*Fuente: Andex

Figura N° 5.5 Marcado del Geotextil Tejido.

- Con el uso de los cautiles se procederá a efectuar los cortes previamente marcados sobre el Geotextil Tejido, para ello y evitar deterioros en el material la punta del Cautil debe estar lo suficientemente caliente al momento del corte. Tener en cuenta de dejar en las piezas requeridas los cortes circulares para las bocas de llenado (ver figura N°5.6).



*Fuente: Andex

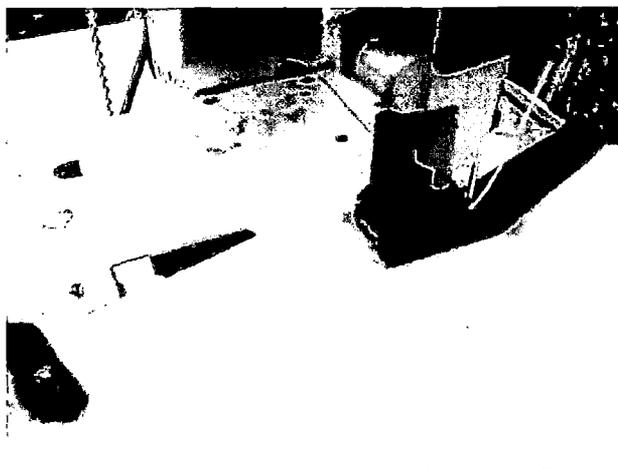
Figura N° 5.6 Corte del Material de Geotextil Tejido.

- El material del corte debe ser identificado según la geometría y apilados sobre un área habilitada, para luego proceder al armado y cocido de la estructura.

5.1.3.2 Proceso de Armado

Con el material de Geotextil cortado y almacenado en el área apropiada, se realizará el proceso de Armado de los Geocontenedores, en el cual se tiene los siguientes pasos:

- Se separan las unidades más grandes de Geotextil cortadas; con la identificación de las mismas, se procede a sobreponerlas para iniciar la costura o unión entre ambas.
- Se procede a doblar las piezas de geotextil Tejido a coser, según el tipo de costura que necesite; la costura más recomendable es el dobles tipo mariposa doble, la cual se explicará en el apartado siguiente, referente al proceso de costura.
- Se procede a la costura del material doblado y sobrepuesto, en este proceso se debe tener el mayor cuidado posible; ya que es un punto débil por el cual puede fallar la estructura del Geocontenedor (ver figura N°5.7). Las consideraciones a tener en cuenta para la ubicación y tipo de costura se describirán en el ítem 4.1.4.



*Fuente: An dex

Figura N° 5.7 Costura del material de Geotextil, doble costura tipo mariposa.

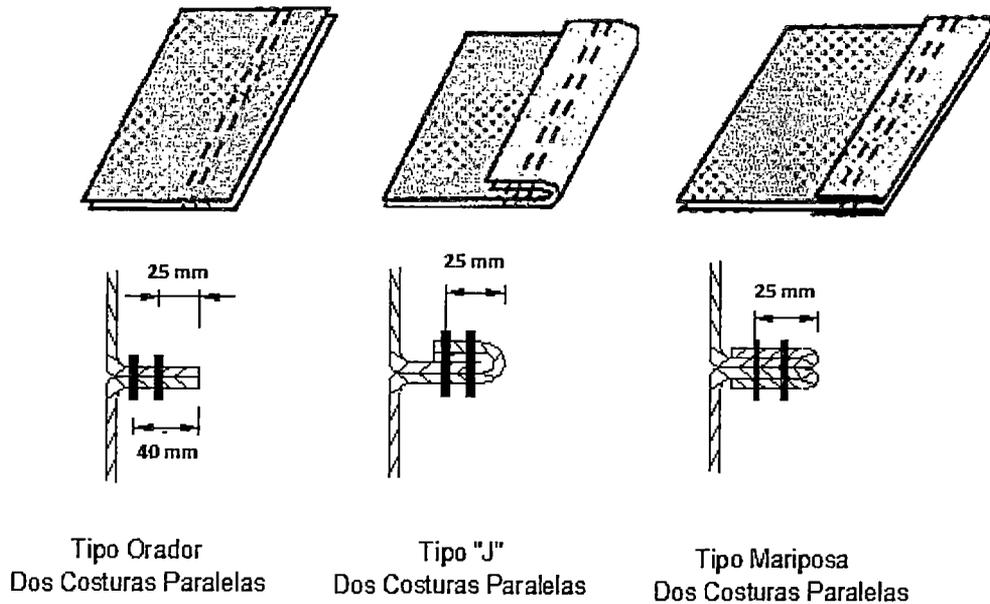
5.1.4 Costura de los Geocontenedores

Para la costura de los Geocontenedores, se utilizará el mismo tipo de hilo, del cual se tiene resultados de la eficiencia a la costura, según el tipo de costura y la relación con la tensión del Geotextil utilizado; caso contrario puede determinarse con la realización de ensayos de laboratorio esforzando la costura a tensión.

La tensión del hilo en la costura debe ajustarse en el momento, de tal modo que esté lo suficientemente tenso; pero sin llegar a cortar o dañar el geotextil. La densidad de puntadas a coser, generalmente están entre 150 a 200 por metro para el caso de Geotextiles Tejidos.

Las costuras efectuadas son por lo general del tipo sobrepuesta (SS), formadas por la sobre posición de las piezas de Geotextil a unir, por una o más líneas de puntos. Este tipo de costura puede ser dividida en tres sub-tipos, las cuales pueden visualizarse en la Figura N°5.8, y serán descritas a continuación:

- Costura tipo Orador o SS_a , es la más simple y fácil de realizar; este tipo de costura se consigue sobreponiendo las piezas de Geotextil y pasando una, dos o tres líneas de puntadas, ofrece poca resistencia como para usarse en la confección de Geocontenedores.
- Costura tipo "J" o SS_b , es más resistente que la del tipo Orador, por ello es más difícil de ser efectuada; este tipo de costura se consigue sobreponiendo dos piezas de Geotextil, doblándolas en forma de J, consiguiendo cuatro láminas de Geotextil unidas.
- Costura Tipo Mariposa o SS_c , es muy resistente también; pero al igual que la del Tipo "J" es difícil de efectuar; este tipo de costura se consigue sobreponiendo las piezas de Geotextil, la diferencia con la del tipo "J" es que los dobles se realizan para ambos lados del Geotextil, obteniéndose también 4 láminas unidas.



*Fuente: Cortesía Andex – SAR, Huesker.

Figura N° 5.8 Tipos de Costuras

5.1.4.1 Eficiencia de la Costura

La eficiencia de la costura, indica la relación en porcentaje que existe entre la tensión que se obtiene por costura de los Geotextiles y la tensión del Geotextil Tejido utilizado.

La siguiente relación nos indica la eficiencia de costura:

$$E(\%) = \frac{T_{\text{COSTURA}}}{T_{\text{GEOTEXTIL}}} \times 100 \quad (5.1)$$

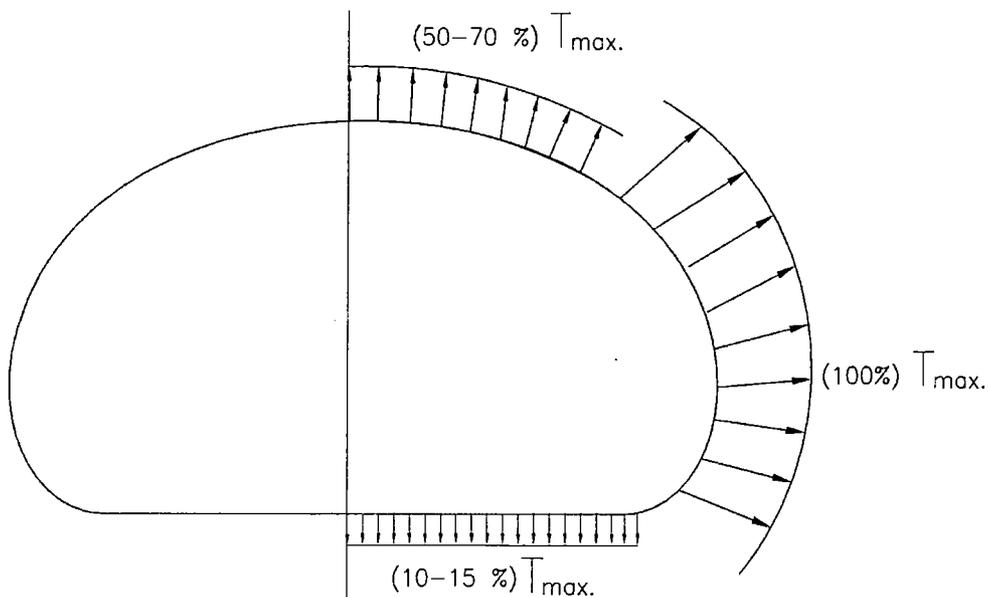
La eficiencia para las costuras simples tipo "J", están cerca del 50% de eficiencia en Geotextiles con resistencia a la tensión de aproximadamente 70 KN/m. Para Geotextiles de mayor resistencia a la tensión deben ser costurados con la costura del tipo Mariposa, cuya eficiencia de costura varía entre 40 % al 75 %, disminuyendo la eficiencia cuando más resistente es el geotextil a costurar.

Para garantizar una buena seguridad de las costuras, Tominaga (2010), comenta que estas deben situarse a una distancia mínima de 2.5 cm del borde.

5.1.4.2 Localización de las Costuras

Es ideal que las costuras se localicen en las regiones de menores sollicitaciones de tensión en los Geocontenedores.

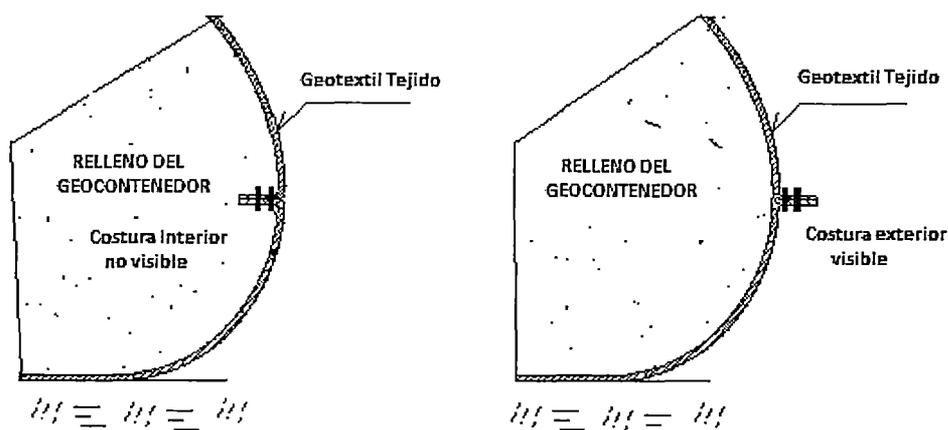
Con la consideración de cero fricciones en la interfaz suelo con la base de geotextil, se puede estimar la sollicitación máxima en tracción. Lawson (2006) propone que se considere la distribución esquematizada de la Figura N°5.9, la cual nos ayudará a posicionar adecuadamente la línea de costura.



*Fuente: Cortesía Andex – SAR, Huesker.

Figura N° 5.9 Distribución de tensiones en los Geocontenedores de Geotextil tejido (Lawson 2006 adaptado por Martins 2006)

Las costuras para poder ser inspeccionadas y reparadas, se recomienda deben realizarse sobresaliendo hacia afuera y de un color de hilo que contraste con el del Geotextil, como puede apreciarse en la figura N° 5.10.



(a) Costura mal efectuada

(b) Costura bien efectuada

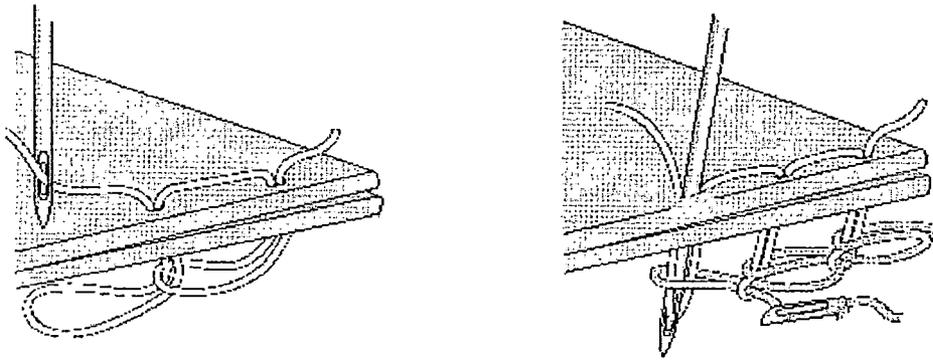
Figura N° 5.10 Diferencia en la Formación de Costuras en el Geocontenedor.

5.1.4.3 Tipos de Puntos

En la confección de Geocontenedores de Geotextil tejido puede utilizarse dos tipos de puntos para la costura, el punto tipo 101, y el punto 401.

El punto 101 es más conocido como tipo cadeneta ("chain stitch"); es formado por líneas simples, este tipo de punto es utilizado para la costura de geotextiles de menores resistencias; ya que no garantiza buena seguridad en grandes solicitaciones. Tiene como característica integrar los puntos en el lugar en que la costura realizada se haya roto, como puede apreciarse en la figura N° 5.11 (a)

El punto 401, también conocido como punto cerrado o de cadena doble, lo cual ofrece más resistencia que la anterior puntada, es usado para costurar geotextiles de mayor resistencia ($> 26 \text{ KN/m}$); ya que garantiza mayor seguridad debido a su característica de no cortar la carrera si se rompe el punto, este tipo de punto puede apreciarse en la Figura N°5.11 (b).



*Fuente: Cortesía Andex – SAR, Huesker.

(a) Tipo 101, Puntada de Cadena Simple **(b)** Tipo 401, Puntada de Cadena Doble

Figura N° 5.11 Diferencia en la Formación de Costuras en el Geocontenedor.

5.1.4.4 Número de Puntos

El número de puntos es definido en puntos por pulgada (spi), para la costura en los geotextiles tejidos esta densidad puede variar entre 3 a 7 puntos por pulgada. En general la máquina para la costura es preparada para un número de puntos que permite ofrecer la más alta resistencia a la tensión de costura, denominado "punto óptimo", a partir de este número, puntos adicionales descomponen las fibras del geotextil, reduciendo la resistencia a la costura.

Las costuras pueden estar hechas con una o más filas de puntos, independientemente del punto elegido. En campo, por lo general las máquinas de coser, realizan una línea de puntos a la vez, al igual que para la reparación de los Geocontenedores; si es necesario cumplir con más solicitaciones, se realizarán más líneas.

5.1.4.5 Máquina de Costura

Las costuras pueden efectuarse en campo o pueden venir hechas de fábrica; pero para grandes sistemas como son la confección de Geocontenedores, es recomendable que la costura tenga un control de calidad industrial que permita dar una mejor calidad y una mejor respuesta del sistema; es decir en su mayoría deben venir hechas de fábrica, y en campo puede realizarse algunas costuras para el mejoramiento o reparación en zonas débiles con el uso de cosedoras

manuales, las cuales son usadas por lo general, para costura de resistencia baja ($< 42 \text{ KN/m}$).

5.2 EJECUCIÓN EN OBRA DEL SISTEMA DE GEOCONTENEDORES

Para la ejecución en obra del sistema de Geocontenedores, se sugiere seguir las siguientes recomendaciones; además de seguir las especificaciones dadas en los esquemas o planos de diseño, aprobadas por los especialistas a cargo del proyecto.

5.2.1 Preparación del Sitio

El terreno o zona de fundación para la colocación de los Geocontenedores y la pantalla o manto antisocavación; deberá estar plano, debidamente nivelada, libre de protuberancias o elementos punzantes que puedan ocasionar daños al geotextil. En caso de existir restos de roca, madera, pilotes, apoyos, cimentaciones, construcciones subterráneas, etc., que estén bajo la superficie en un radio menor de 6.00 m del lugar del proyecto; están deberán ser removidas hacia una zona lejana. Asimismo en caso de encontrarse terrenos de fundación débiles que no presenten el soporte adecuado para apoyar los Geocontenedores, este material se removerá o estabilizará.

En campo se tendrá en cuenta que:

- Los Geocontenedores de geotextil y las pantallas antisocavantes no deben ser arrastrados a lo largo del piso, ya que serán deteriorados.
- No se podrán usar ganchos, navajas u otros instrumentos afilados para manejar el geotextil.
- El equipo de movimiento de tierras no debe ser operado ni maniobrar directamente sobre el geotextil de los Geocontenedores.
- Solo se podrá transitar encima de los Geocontenedores de geotextil llenos y las pantallas antisocavantes; si tienen un mínimo de 0.30 m de material cubriendo las estructuras.

5.2.2 Alineamiento de los Geocontenedores

Los Geocontenedores utilizados generalmente en obras para defensas, requieren de un alineamiento de $\pm 0.60\text{m}$ desde el eje de emplazamiento o línea

de base, lo cual puede obtenerse de diversas maneras; con cuñas de tierra, amarrado con estacas y cordeles, contrafuertes, etc. Para brindar una mayor seguridad al alineamiento, se puede excavar una zanja de 0.30 m de profundidad, de ser posible; para luego sobre la zanja extender la pantalla antisocavante, la cual es la base de los Geocontenedores. Parte de este procedimiento puede apreciarse en la Figura N°5.12.



* Fuente: Internet - Proyecto Islas Artificiales Amwaj Bahrain

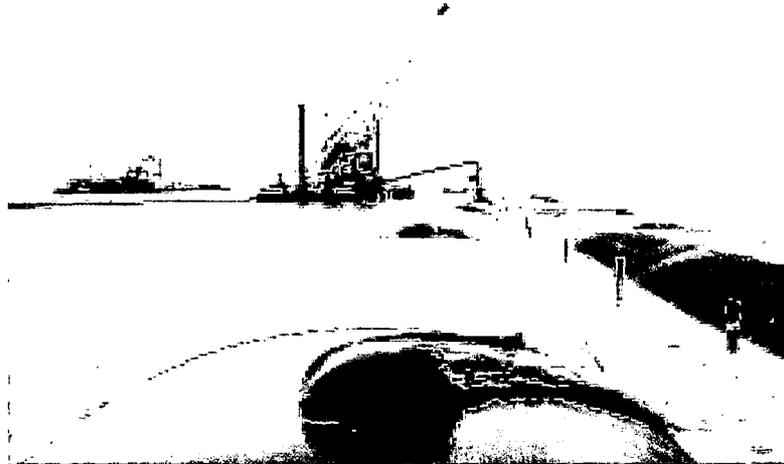
Figura N° 5.12 Colocación de los Geocontenedores, en la cual se pueden apreciarse el emplazamiento de los alineamientos laterales

Los Geocontenedores rellenos suelen alcanzar una altura efectiva variable en ± 0.15 m respecto de las especificaciones. La altura efectiva se define desde la fundación hasta el promedio del borde superior del tubo lleno, medida cada 7 m a lo largo de la longitud del tubo entre las bocas de llenado.

Cualquier hundimiento del coronamiento del Geocontenedor por debajo de la altura especificada debe corregirse por medio de un relleno suplementario; o si a causa de ello el Geocontenedor se encontrase dañado, este debe repararse o reemplazarse por otro. Con el fin de conseguir los niveles en el proyecto, no se recomienda rellenar el tubo por sobre la altura especificada por el proveedor; ya que ello puede conducir a su falla durante la construcción.

5.2.3 Anclaje y fijación de los Geocontenedores

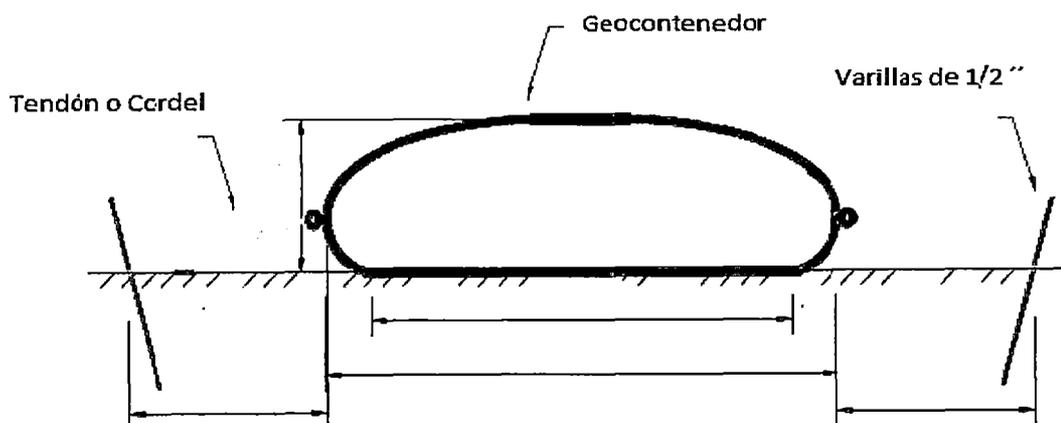
Luego de colocada la pantalla antisocavante, se desenrolla el tubo principal, verificando siempre su correcta alineación; a fin de que no ocurra desestabilidad al momento del llenado, este proceso puede apreciarse en la Figura N°5.13.



* Fuente: Internet - Dique de Contención Naviduct, Lago Ijssel, Holanda

Figura N° 5.13 Colocación de Geocontenedores con las estacas laterales, para alineamiento y fijación

Es necesario asegurar la estructura para garantizar su ubicación durante y después del llenado; para lo cual, generalmente se hace uso de las eslingas o argollas de amarre, hechas de poliéster, que van cosidas junto con el Geocontenedor a cada cierto tramo, para poder amarrar cordeles en ellos y anclarlos al suelo con estacas de madera o metálicas de $\frac{1}{2}$ " de diámetro. Este proceso puede apreciarse a modo de esquema en la Figura N°5.14 y Figura N° 5.15.



*Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 5.14 Esquema de amarre de las Geocontenedores.



*Fuente: Andex-Huesker (Acantilados de Mar de Plata- Argentina)

Figura N° 5.15 Fijación y anclaje de los Geocontenedores.

Ninguna porción del tubo deberá ser llenado hasta que todo haya sido anclado y fijado a su cimentación a lo largo del alineamiento planteado.

5.2.4 Traslape entre Geocontenedores

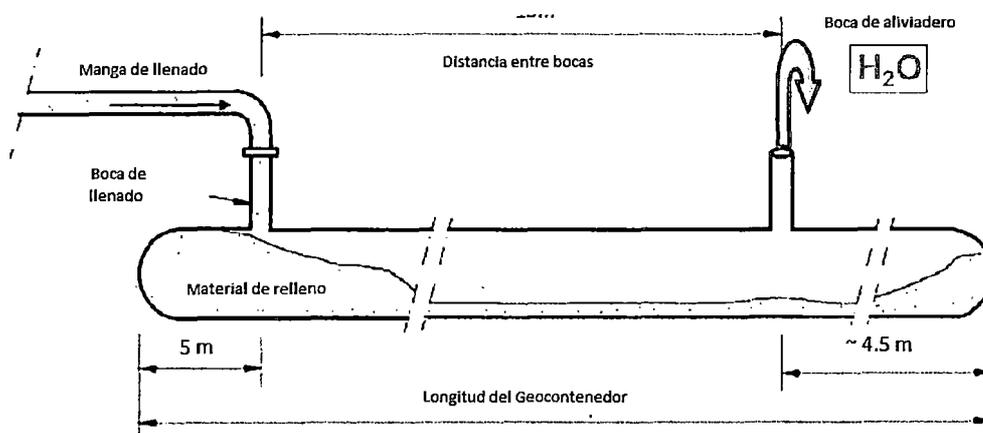
Por lo general, la longitud a proteger con Geocontenedores es larga, en consecuencia se realizan varios Geocontenedores para cubrir toda la distancia del proyecto; por ello se debe tener presente que en los encuentros de los extremos de los tubos, es importante realizar el traslape adecuado a fin de garantizar la continuidad de la estructura y no dejar vacíos en la defensa; a menos que sea permitido por el plan constructivo presentado y aprobado por los encargados del proyecto. Los traslapes para los Geocontenedores debe ser de aproximadamente 3.00 m; asimismo junto a los tubos principales, las pantallas antisocavantes y tubos secundarios deben traslaparse un mínimo de 1.50 m. La altura efectiva de la estructura del tubo en el traslape es típicamente el 80% de la altura prevista. Esto equivale a una reducción de 0.30 m de altura, en la zona de traslape, para un tubo de 1.80 m de alto.

5.2.5 Llenado de los Geocontenedores

Luego de completado el despliegado y anclaje de los Geocontenedores, se procederá al llenado con el material de relleno; para ello, se hace uso de la presión hidráulica o hidrostática para impulsar el material de relleno al interior del tubo a través de las bocas de llenado; esta presión es importante porque es un

factor que influye en el logro de la altura deseada del tubo. La línea de descarga de dragado del material a rellenar, debe contar con un sistema de válvulas que permita controlar el proceso, a fin de que cualquier exceso en la descarga, no llegue a afectar la alineación y resistencia de los Geocontenedores (ver Figura N°5.16).

Las bocas de llenado son mangas que por lo general tienen 1.50 m de longitud y unos 12" de diámetro, las cuales vienen cosidas de fábrica a la parte superior de los Geocontenedores, estas mangas son conectadas a la tubería de descarga del slurry (arena + agua) o relleno.



*Fuente: Presentación – SAR, Huesker.

Figura N° 5.16 Sección Longitudinal Típica Durante el Proceso de Llenado del Geocontenedor.

A continuación se explicarán los dos métodos más comunes para el llenado de los Geocontenedores:

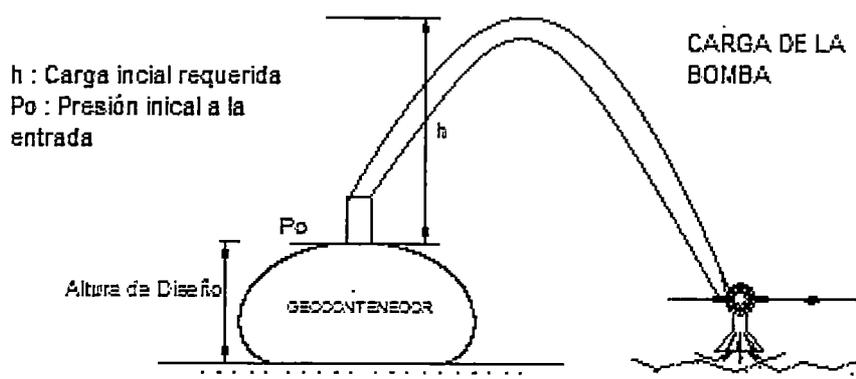
5.2.5.1 Llenado con Bomba

Por lo general este método es practicado en el extranjero, por la facilidad de encontrar los tipos de equipos necesarios para el bombeo de sólidos. Se recomienda las siguientes características de la bomba, para un adecuado llenado de los Geocontenedores:

- Potencia Aproximada : 150HP a 200HP
- Diámetro ϕ : 8 a 10 pulg.

- Flujo típico : 200 a 250 lt/seg. (de operación continua)
- Carga máxima : 30 m.
- Tamaño máximo de sólidos esféricos : 6 pulg.

El esquema del mecanismo de llenado por el método de bombeo de sólidos, puede apreciarse en la Figura N°5.17.



*Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 5.17 Mecanismo de llenado por Bomba Hidráulica.

Mediante esta bomba se obtendrán presiones de llenado tan altas, que en algunos casos pueden causar daños al geotextil del que ha sido fabricado los Geocontenedores; por lo que en la tubería de descarga se incluirá una válvula "Y" para desviar el exceso de flujo hacia alguna área libre, y mantener un mejor control del nivel de llenado. Esta válvula deberá tener un mecanismo interno tal como una compuerta, válvula mariposa o válvula esférica (de bola), que permita en el instante del llenado regular la descarga en el tubo de geotextil. Además, la tubería de descarga también deberá contar con un manómetro, para monitorear que la presión del flujo en el tubo no exceda de 3.5 Tn/m^2 (5 psi). Debe notarse que la presión interior y los esfuerzos en el geotextil del tubo pueden variar a lo largo de su longitud, en consecuencia la falla por tensión de las costuras del tubo y bocas de llenado no se evita por monitoreo simple de la presión de descarga, sino también por supervisión visual de las uniones, lo cual debe realizarse constantemente para evitar problemas posteriores.

Como regla práctica, las tuberías de descarga deben limitarse a diámetros menores o iguales a 10 pulgadas (250 mm); esto es debido a que para diámetros mayores puede generarse una sobrepresión sobre el Geocontenedor, pudiendo sobrepasar la resistencia del mismo. De otro lado diámetros menores a 6" (150 mm) para la tubería de descarga de la bomba, resultan ser demasiada pequeñas para alcanzar la altura esperada del Geocontenedor.

Un ejemplo puede apreciarse en la Figura N° 5.18; en la cual las bombas para el llenado de Geocontenedores se encuentran instaladas como parte de lanchas o barcasas.



*Fuente: Andex – Huesker.

Figura N° 5.18 Lancha Típica con Bomba Dragadora Acoplada

Con respecto a las bocas de llenado del Geocontenedor, se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- La tubería de descarga de la bomba deberá estar libre de elementos punzantes que puedan rasgar o dañar las bocas de llenado.
- Se recomienda introducir la tubería de descarga dentro de la boca de llenado, de modo que se reduzca la tensión en sus costuras.
- Fijar la tubería de llenado a fin de evitar movimientos excesivos durante el llenado, los cuales puedan ocasionar daños o diferencias de presión.
- Una buena práctica para llenar Geocontenedores largos, es utilizar múltiples bocas de llenado a lo largo de la longitud del tubo. Esto reduce

la tensión y el riesgo de saturaciones de arena en la boca, que puedan causar tensión local en el Geotextil.

- Se deberá iniciar el bombeo sólo con agua, para que el Geocontenedor se extienda y tome su forma; se recomienda este proceso por 5 minutos, una vez perdida la presión interna se bombeará el relleno.
- Los materiales que pasan la malla 200 saldrán en pequeñas cantidades por los poros del geotextil y de las bocas de llenado abiertas; por ello se espera que el agua se torne turbia y este fenómeno se termina en unos minutos después de interrumpir el bombeo.
- Se debe monitorear permanentemente el bombeo, a fin de evitar que se estén formando tapones de arena o material fino en los tramos iniciales de bombeo y de ese modo poder asegurar que el material de relleno fluya a lo largo del Geocontenedor; en caso contrario se deberá pasar la manguera de llenado por las demás bocas.
- La tubería de llenado deberá pasar la boca y entrar más de 0.50 m dentro del sistema.
- Se deberá amarrar la tubería a la boca de llenado, con cabo de polipropileno o poliéster de alta densidad. Las bocas adicionales deben estar totalmente abiertas para permitir la salida del exceso de agua.
- Luego del llenado del Geocontenedor, las bocas sirven de aliviaderos de presión; al finalizar estas se cerrarán y se fijarán al tubo principal de modo suficiente, a fin de prevenir su posible movimiento por acción del oleaje, corrientes u otras perturbaciones. Ver Figuras N° 5.19 y N°5.20, referentes al proceso de llenado de Geocontenedores.



* Fuente: Internet.

Figura N° 5.19 Inicio del Llenado del Geocontenedor.



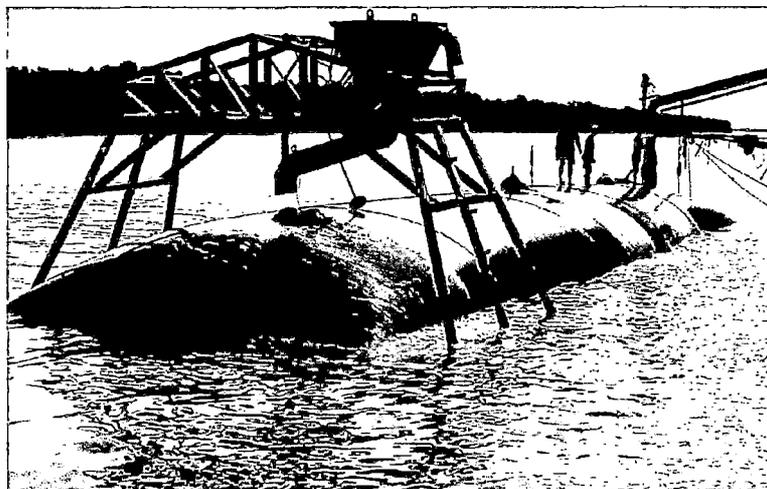
* Fuente: Andex – Huesker.

Figura N° 5.20 Término del Llenado del tubo principal del Geocontenedor.

5.2.5.2 Llenado con Tolva

Surge otro método que se está generalizando para el llenado de los Geocontenedores, el cual consiste en el uso de una tolva o embudo, colocada a una determinada distancia vertical sobre la altura de diseño final del Geocontenedor. Dentro de esta estructura, se procede a colocar el material de relleno, con la ayuda de un equipo de movimiento de tierras. Para generar el flujo del material de relleno, se adecuan junto a la tolva bombas de agua que harán fluir todo el material dentro del tubo de geotextil (ver Figura N°5.21).

Con este método, se puede controlar la altura necesaria para alcanzar la presión de llenado (P_o), acorde a la altura de diseño del Geocontenedor, sin riesgo a sobre-esforzar el material.



*Fuente: Andex-Huesker

Figura N° 5.21 Llenado por Medio de Tolva-Embudo.

5.2.6 Reparación de Geocontenedores

Esta etapa es muy importante, a fin de garantizar la calidad final de la ejecución del llenado de los Geocontenedores; por ello debe realizarse un monitoreo final del material del geotextil, y en caso, algunas áreas resulten dañadas, se deberá proceder a reparar las mismas, teniendo en cuenta:

- Medir el área dañada a reparar, y cortar un parche del mismo material de geotextil del que está hecho la estructura, de manera que tenga 0.30 m de distancia desde el agujero en cada dirección.
- Limpiar el área, donde se colocará el parche.
- Aplicar adhesivo epóxido no solvente, especial para geosintéticos; tanto en el parche, como en la superficie a ser reparada; luego de ello se unen los geotextiles, manteniéndolo por unos minutos, a fin de garantizar su adecuada adherencia; las instrucciones del fabricante dan una mejor noción del tiempo de curado.
- Cuando el pegamento haya secado completamente, retirar el exceso del mismo con una cuchilla u hoja de afeitar, con el cuidado de no dañar el geotextil.

Nota: Otra alternativa para poder unir el parche a la superficie dañada, sería cosiéndola a mano y con el cuidado necesario, para garantizar la adecuada adherencia.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Según las características geomorfológicas y oceanográficas de la zona, se diseñó una estructura de protección con el uso de materiales geosintéticos, con lo cual se ha desarrollado otra alternativa de protección que puede reemplazar el uso de elementos convencionales, como el caso de rocas de gran tamaño y densidad.
- De la comparación realizada de la estructura a base de Geotextil Tejido y enrocado; se tiene que la estructura a base de Geotextil tejido demanda una menor área transversal; menores costos de material de relleno, y menor área costera utilizada e impactada.
- La técnica de los Geocontenedores es relativamente novedosa; es por tanto que se tiene una metodología de diseño que viene evolucionando constantemente, mediante prueba y error; con el fin de involucrar en el diseño todos los parámetros necesarios.
- Se ha determinado los parámetros que son de utilidad para el diseño de la estructura de Geocontenedores de Geotextil Tejido, con estos parámetros se puede garantizar la estabilidad de la estructura.
- Esta alternativa nos brinda una posibilidad de solución rápida y efectiva a proyectos que con otras estructuras pueden parecer difícil.
- Es muy importante, seguir las recomendaciones de los fabricantes para el llenado de los Geocontenedores en campo; ya que si se excede la altura de llenado, se pueden generar falla durante el proceso constructivo.
- En ocasiones, se puede plantear una cobertura adicional para los Geocontenedores, con el fin de protegerlas del impacto que pueden ocasionar los residuos constructivos de estructuras, en especial de materiales punzocortantes.

- En nuestro medio el costo de los Geotextiles Tejidos, y en general de los Geosintéticos son altos; ya que no existen fábricas en Perú que puedan realizar este tipo de materiales de alta resistencia. En efecto tampoco existen muchos laboratorios que basen sus ensayos en recomendaciones ASTM; es por ello que los materiales geosintéticos que se usa en Perú, al momento de ser importados, tienen su respectiva hoja técnica que muestra valores de ensayos normados.
- La técnica de Geocontenedores, puede ser utilizada para otras aplicaciones, como es el caso en Defensas Ribereñas. también puede ser utilizada para contener y filtrar desechos industriales altamente tóxicos, en lo que se llama comúnmente la desecación de lodos.

6.2 RECOMENDACIONES

- La parte crítica en la fabricación de los Geocontenedores, es la costura de los mismos; ya que es en esa zona donde se tiene menor resistencia que en el mismo Geotextil; por ello se recomienda posicionar adecuadamente las líneas de costuras según el diagrama de tensiones, o elaborar una costura mucho más resistente a fin de compararla con lo que necesita la estructura.
- La tensión del Geotextil es muy sensible a la presión de bombeo; es por ello que se recomienda, en caso se utilice una bomba de lodos para el llenado, tener especial cuidado el controlar el aumento accidental de la presión que ejerce la bomba.
- Se recomienda hacer pruebas preliminares en campo, con el material de relleno, a fin de determinar los tiempos exactos del llenado de los Geocontenedores, y la consolidación de los mismos.
- Si bien esta técnica puede ser utilizada en otras aplicaciones; como es el caso de Defensas Ribereñas, o Desecación de lodos; los factores que influyen en el diseño deben estar previamente estudiados y analizados para su efectiva aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

- **Bezuijen A. y E. W. Vastenburg E. W.;** manual Geosystems. Desing Rules and Applications. Deltares, Delf , The Netherlands, Taylor and Francis Group, 2013.
- **Fuentes Ortiz, César,** "Ingeniería Portuaria", Coper Editores, Perú 2001.
- **Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas,** Dinámica del Litoral, Universidad de Cantabria, España, 2000.
- **Koerner, Robert,** "Designing with Geosynthetics" , New Jersey, PRENTICE HALL, 1998
- **Leshchinsky, Dov , Leshchinsky Ora,** "Geosynthetic Confined Pressurized Slurry (GeoCops): Supplemental Notes for Version 1.0", Report TR CPAR-GL-96-1, September 1996, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg Mississipi.
- **Leshchinsky Dov, Leshchinsky Ora, Ling Hoe, Guilbert Paul;** "Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry: Some Design Aspects"; Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 8, Agosto, 1996.
- **Pilarczyk, k. ,** "Geosynthetics and geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering", Balkema Rotterdam, 2000.
- **Seminario de Actualización y reciclamiento (SAR);** Huesker, Brasil, 2012.

ANEXOS

INDICE ANEXO A

LISTA DE CUADROS ANEXO A	1
LISTA DE FIGURAS ANEXO A	1
ANEXO N° A.1: UBICACIÓN GENERAL ZONA DEL PROYECTO	2
ANEXO N° A.2: TOMA DE DATOS BATIMÉTRICOS (RESULTADOS MARINE GROUP)	3
ANEXO N° A.3: TOMA DE DATOS DE MOVIMIENTOS DEL MAR EN LA ZONA DE ESTUDIO (RESULTADOS MARINE GROUP)	5
ANEXO N° A.4: CÁLCULO DE OLEAJE	7
ANEXO N° A.5: COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN DE OLAS	16
ANEXO N° A.6: TABLA DE MAREAS MES DE JULIO DEL 2012	18
ANEXO N° A.8: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOTEXTIL TEJIDO ESTABILENKA PES 108/108	21
ANEXO N° A.9: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOTEXTIL TEJIDO STABILENKA	22
ANEXO N° A.10: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL HILO DE COSTURA	23
ANEXO N° A.11: COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE OLEAJE PARA EL ESPIGÓN	25
ANEXO N° A.12 : CURVAS DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN (AFTER GOLDMAN, ET AL. - 1986)	26
ANEXO N° A.13 : DISMINUCIÓN DE LA ALTURA DEL GEOCONTENEDOR EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DEL SUELO (*) POR DOV LESHCHINSKY	27
PLANOS	28

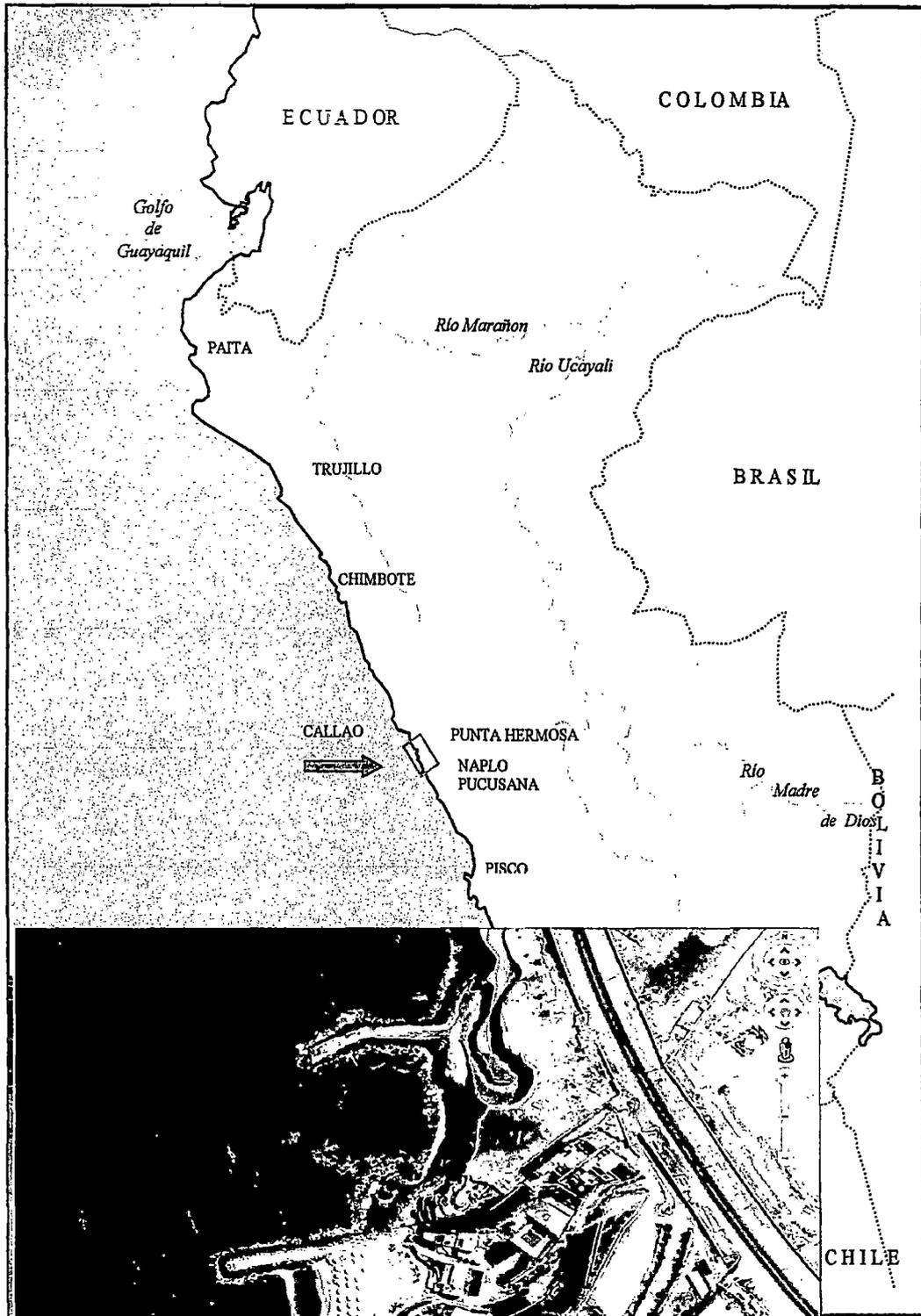
LISTA DE CUADROS ANEXO A

Cuadro N° A.1. 1 Movimientos del mar en la zona de aplicación.	5
Cuadro N° A.1. 2 Ubicación de estaciones de registro de olas	7
Cuadro N° A.1. 3 Registro Ola Significante Estación 32302	8
Cuadro N° A.1. 4 Registro de Período Pico - Estación 32302	9
Cuadro N° A.1. 5 Ubicación de estaciones de registro de olas.	11
Cuadro N° A.1. 6 Información de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (Proyecto Naylamp)	12
Cuadro N° A.1. 7 Promedio de datos de oleaje según HIDRONAV	15
Cuadro N° A.1. 8 Datos coeficiente de cambio de profundidad	16
Cuadro N° A.1. 9 Datos de Coeficiente de Refracción	17

LISTA DE FIGURAS ANEXO A

Figura N° A.1. 1 Esquema de toma de datos Batimétricos.	4
Figura N° A.1. 2 Reducciones de sondajes.	4
Figura N° A.1. 3 Mareograma puerto del Callao – Octubre 2010.	6
Figura N° A.1. 4 Alturas de Ola Significante (m). Estación 32302 del 2/86-12/93.	10
Figura N° A.1. 5 Período Pico Dominante(s). Estación 32302 del 2/86-12/93.	10

ANEXO N° A.1: UBICACIÓN GENERAL ZONA DEL PROYECTO



ANEXO N° A.2: TOMA DE DATOS BATIMÉTRICOS (RESULTADOS MARINE GROUP)

Para el posicionamiento de la embarcación hidrográfica se realizó, por la intercepción de una dirección y una distancia, para lo cual se utiliza un teodolito y un distanciometro digital de alta precisión. La toma de datos batimétricos y topográficos fue realizado en el mes de octubre del 2010.

Para el registro de las profundidades, se empleó una ecosonda digital de la Marca Foruno, modelo FE 4200 (bi-frecuencia de 50 khz/ 200 Khz); que permite registrar en forma permanente la información de sondaje, mediante la velocidad de eco reflejado en el fondo del mar (se emite un pulso ultrasónico que en agua de mar se propaga a 1500 m/s). Para referenciar levantamientos batimétricos se requiere un Datum Vertical, que es el nivel de referencia o reducción que sirve para estandarizar los sondajes, en este caso se utilizó como nivel de referencia el Nivel Medio de Bajamares da Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O).

Para la reducción de los sondajes se aplican las siguientes; por transducer, es la reducción debida a la posición del transducer en el momento de la medición, debajo del nivel del agua; también la reducción por nivel de la marea; la reducción por oleaje no ha sido significativa, por tanto no se aplica como reducción. A modo de esquema se presenta la posición de toma de datos y el cálculo por reducciones (ver Figura N° A.1.1 y Figura N°A.1.2).

Para la toma de registro de datos en zona de rompientes, donde es casi imposible realizarlo en la embarcación, destinada a realizar el sondaje, por el riesgo que ello implica; se realizó con la ayuda de buzos, utilizando para ello bastones con prisma, la cual es sostenida por los buzos y así se determina la profundidad.

POSICIONAMIENTO DE LA EMBARCACIÓN
 EN EL INSTANTE DE MEDICIÓN DE SONDAJES
 MÉTODO DE INTERSECCIÓN DE UNA DIRECCIÓN Y UNA DISTANCIA

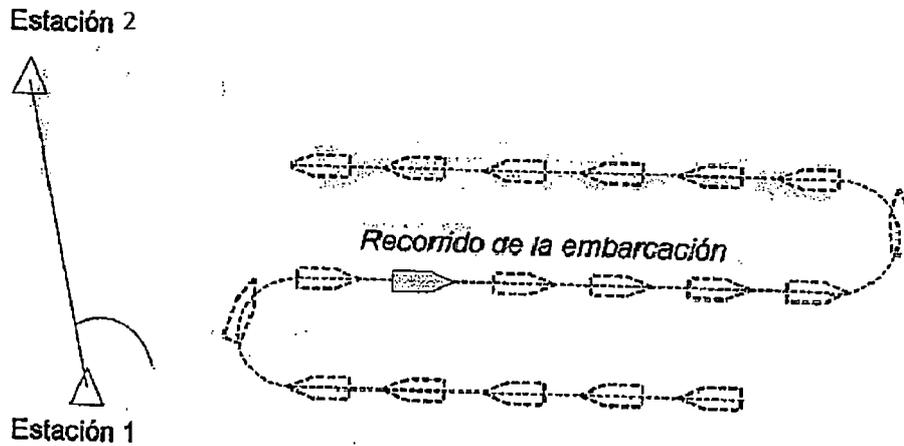


Figura N° A.1. 1 Esquema de toma de datos Batimétricos.

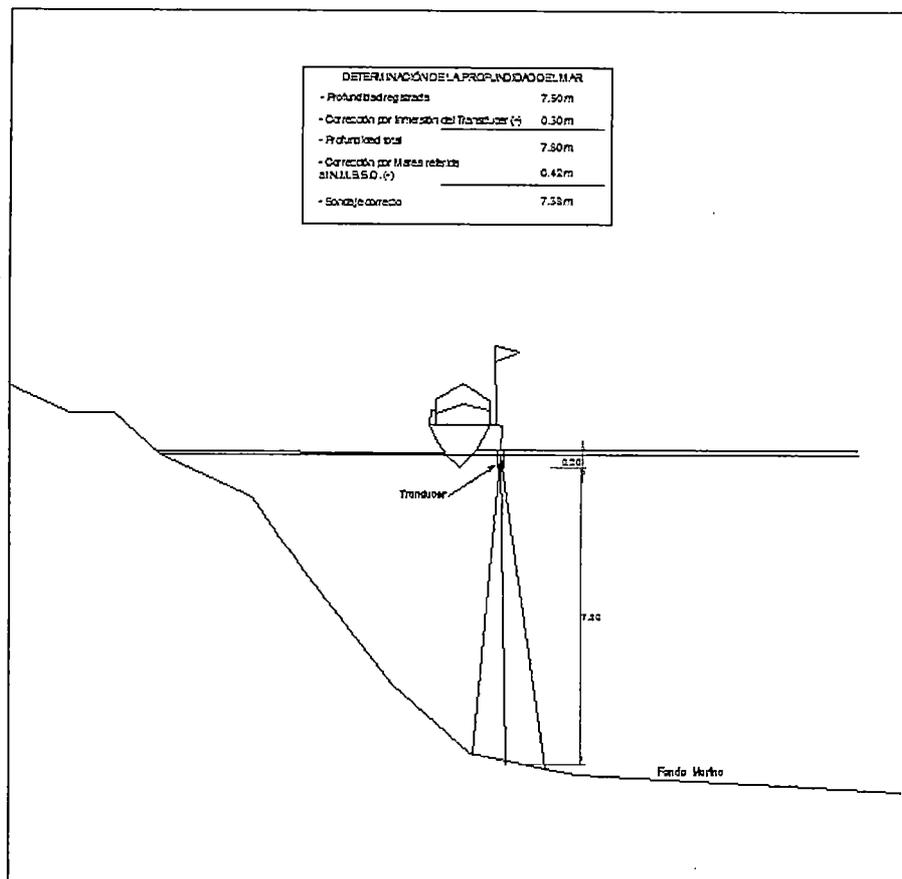


Figura N° A.1. 2 Reducciones de sondeajes.

ANEXO N° A.3: TOMA DE DATOS DE MOVIMIENTOS DEL MAR EN LA ZONA DE ESTUDIO (RESULTADOS MARINE GROUP)

Los factores que comúnmente afecta la dirección y velocidad de los movimientos del mar locales, son los vientos, las mareas y la topografía submarina.

Para las mediciones de los movimientos del mar para la zona de estudio, se emplea el método euleriano (medidas tomadas en un punto fijo con un correntómetro) o langrangiano (consistente en seguir la trayectoria de uno o más flotadores, para luego calcular su velocidad y dirección).

Los movimientos para la zona de aplicación, se efectuaron en el mes de octubre del 2010, en mareas ascendentes y descendentes, para el tipo superficial y sub-superficial

El método utilizado para la medición, es el langrangiano; para el caso de los datos superficiales, se realizó utilizando una boya acondicionada a una pértiga, atada a 1 metro de distancia desde la boya hacia el fondo marino, efectuándose en mareas ascendentes y descendentes; para el caso de los datos sub-superficiales, se realizó utilizando una boya acondicionada a una pértiga, atada a 1/3 de longitud con respecto a la profundidad reinante en la zona, de igual modo se efectuarán en mareas ascendentes y descendentes.

En el Cuadro N° A.1.1, se muestra la velocidad y la dirección de los datos tomados, según método Langragiano:

Cuadro N° A.1. 1 Movimientos del mar en la zona de aplicación.

TIPO	Marea	VELOC. (m/s)	DES. (°)
Sub-superficial	Descendente	0.052	198
Sub-superficial	Ascendente	0.084	264
Superficial	Descendente	0.089	211
Superficial	Ascendente	0.101	268

Para el análisis de la dirección de los movimientos para la zona de estudio, hay que diferenciar etapas o periodos de circulación que van a responder principalmente a las estaciones de invierno y verano, a periodos de mareas ascendentes y descendentes y fases de luna.

Como sabemos durante el invierno los vientos alisios son más intensos, lo que origina que el sistema de movimientos de masa del Perú, que se dirige hacia el Norte, va a ser más intensa y por lo tanto, los movimientos del norte van a ser más predominante en las regiones costeras. Sin embargo, existe la influencia de las mareas, que en el caso de estudio proceden del Norte, lo que origina cambios en la circulación de los movimientos cercanos a la zona, entre pleamares y bajamares.

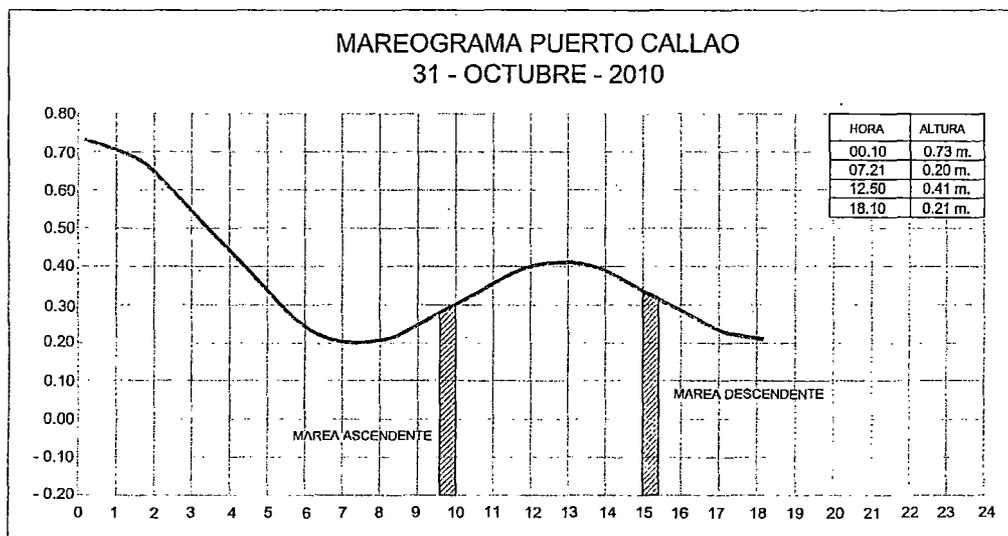


Figura N° A.1. 3 Mareograma puerto del Callao – Octubre 2010.

ANEXO N° A.4: CÁLCULO DE OLEAJE

Para obtener los datos de olas en aguas poco profundas, es necesario disponer de información de olas en aguas profundas. Por ello se pueden rescatar datos de la Sailing Directions for South América y de modelos numéricos de propagación de olas Wave Watch III que difunde el NCEP – NOAA.

Una de las fuentes para la obtención de olas en aguas profundas fue la siguiente:

- NATIONAL DATA BUOY CENTER , la obtención de olas se encuentra disponible en la siguiente página web:

<http://www.ndbc.noaa.gov/historical.data.shtml>.

Se tiene dos estaciones de registro de olas frente a las costas del Perú, como se muestra en el Cuadro N°A.1.2:

Cuadro N° A.1. 2 Ubicación de estaciones de registro de olas

Estación	Ubicación	Registro de Datos	Observación
32301	9°54'0" S 105°12' 0" W	1984-1986	Registro de olas de los años de medición
32302	18° 0' 0" S 85° 5' 59" W	1986-1995	Registros completos para el período de medición

A continuación se presenta la toma de datos según la NATIONAL BUOY CENTER, ver Cuadro N° A.1.3 y N° A.1.4, también se muestran las Figura N°A1.1.4 y N° A.1.5.

Cuadro N° A.1. 3 Registro Ola Significante Estación 32302

STATION: 32302

1 - MONTHLY AND ANNUAL FREQUENCY AND CUMULATIVE PERCENT FREQUENCY (10THS)

ELEMENT: SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (METERS) -- POR: (2/1986 - 4/1995) (68945 RECORDS, 96.4% HAVE ELEMENT)

	JAN		FEB		MAR		APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC		ANN		
	F	CPF																									
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	#
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	#	4	#	1	#	3	#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	#
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	5	999	9	999	7	999	10	999	3	#	3	#	-	-	3	#	40	999	
4.5	-	-	-	-	-	-	6	#	20	999	16	998	29	999	24	998	11	999	22	999	1	#	10	999	139	999	
4.0	-	-	-	-	15	#	19	999	105	996	86	995	137	993	139	993	109	997	51	995	18	999	5	998	684	997	
3.5	8	#	4	#	89	998	143	996	307	977	448	979	498	969	463	969	302	977	116	986	129	996	34	997	2541	987	
3.0	143	999	85	999	341	985	580	973	638	925	809	899	866	880	885	886	850	919	520	964	399	973	145	991	6261	950	
2.5	597	974	783	985	1187	934	1658	881	1471	815	1661	755	1416	726	1619	729	1409	757	1549	867	1178	899	863	966	15391	860	
2.0	2371	869	2656	850	3029	759	2573	617	1820	561	1691	458	1764	474	1840	441	1698	489	1850	577	2084	681	2293	814	25669	636	
1.5	2310	453	2085	394	1969	313	1254	207	1271	248	745	156	753	160	574	114	768	165	1100	231	1438	295	2101	413	16368	264	
1.0	277	49	209	36	150	22	49	8	167	29	130	23	149	27	65	12	100	19	132	25	154	29	260	46	1842	27	
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	*
0.0	-	-	1	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	*
75PCTL	2.0		2.1		2.2		2.5		2.6		2.7		2.8		2.8		2.7		2.5		2.4		2.1		2.5		
50PCTL	1.8		1.8		1.9		2.1		2.1		2.3		2.3		2.3		2.3		2.1		2.0		1.8		2.1		
25PCTL	1.6		1.6		1.7		1.8		1.8		1.9		1.9		2.0		1.9		1.8		1.7		1.6		1.7		
MEAN	1.8		1.9		2.0		2.2		2.2		2.4		2.4		2.4		2.3		2.2		2.1		1.9		2.1		
S.D.	0.4		0.4		0.5		0.5		0.6		0.6		0.7		0.6		0.6		0.6		0.5		0.5		0.6		
TOTAL	5706		5823		6780		6282		5805		5599		5620		5622		5250		5343		5401		5714		68945		
MAX	3.6		3.3		4.1		4.7		5.4		5.6		5.6		5.5		4.9		5.0		4.4		4.9		5.6		
DATE	1989010121		1993021516		1990033114		1994040900		1986050120		1994061820		1987072619		1992082302		1992092318		1986101709		1991110614		1992122406		1994061820		
MIN	1.0		0.0		0.9		1.0		0.9		0.8		0.9		0.8		1.0		0.9		0.9		0.8		0.0		
DATE	1994011512		1986021122		1994030500		1994040204		1986051501		1987062711		1987070920		1992082718		1993092112		1986100312		1992111023		1991123011		1986021122		

(* < 0.05% , # = 100.0%)

Cuadro N° A.1. 4 Registro de Período Pico - Estación 32302

ELEMENT: DOMINANT WAVE PERIOD (SECONDS) -- POR: (2/1986 - 4/1995) (68940 RECORDS, 96.4% HAVE ELEMENT)

	JAN		FEB		MAR		APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC		ANN		
	F	CPF																									
25	6	#	-	-	-	-	4	#	-	-	-	-	-	-	1	#	6	#	-	-	3	#	5	#	25	#	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	999	
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	999	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	999	
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	999	
20	367	999	165	#	146	#	122	999	110	#	87	#	83	#	61	999	73	999	62	#	91	999	241	999	1608	999	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	976	
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	976	
17	1035	935	752	972	924	978	919	980	938	981	806	984	631	985	902	989	531	985	569	988	691	983	696	957	9394	976	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	840	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	840	
14	1434	753	1748	842	2264	842	2430	834	1991	819	1818	840	1756	873	1701	829	1496	884	1473	882	1886	855	1537	835	21534	840	
13	1373	502	1441	542	1834	508	1421	447	1218	476	1121	516	1126	560	993	526	802	599	1040	606	1305	505	1533	566	15207	528	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	307	
11	535	261	505	295	590	238	295	221	427	267	447	315	427	360	297	349	383	446	402	412	428	264	765	298	5501	307	
10	257	168	270	208	180	151	155	174	236	193	193	236	223	284	269	297	288	373	221	336	162	185	214	164	2668	227	
9	164	123	215	161	82	124	119	149	172	152	166	201	311	244	354	249	398	318	362	295	161	155	120	127	2624	189	
8	234	94	381	125	282	112	416	130	429	123	647	171	741	189	630	186	890	242	708	227	378	125	319	106	6055	151	
7	227	53	265	59	378	71	305	64	215	49	271	56	266	57	360	74	314	73	388	95	204	55	203	50	3396	63	
6	72	13	77	14	96	15	87	15	62	12	41	8	53	10	53	10	69	13	113	22	84	17	73	14	880	13	
5	2	*	2	*	4	1	9	1	7	1	1	*	1	*	1	*	-	-	5	1	8	1	8	1	48	1	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	*	
75PCTL	14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3		14.3
50PCTL	12.5		12.5		12.5		14.3		14.3		12.5		12.5		12.5		12.5		12.5		12.5		12.5		12.5		12.5
25PCTL	11.1		11.1		12.5		12.5		11.1		11.1		10.0		10.0		9.1		9.1		11.1		11.1		11.1		11.1
MEAN	13.4		12.8		13.0		13.1		13.0		12.7		12.3		12.5		11.9		12.0		12.9		12.9		12.7		12.7
S.D.	3.2		3.0		2.9		2.9		2.9		3.1		3.0		3.2		3.2		3.2		2.9		3.0		3.1		3.1
TOTAL	5706		5821		6780		6282		5805		5598		5618		5622		5250		5343		5401		5714		68940		68940
MAX	25.0		20.0		20.0		25.0		20.0		20.0		20.0		25.0		25.0		20.0		25.0		25.0		25.0		25.0
DATE	1995011016		1995022300		1995033000		1989041910		1993052221		1994062308		1994071605		1994081906		1988090803		1994103002		1989110818		1994122401		1995011016		1995011016
MIN	5.0		5.3		4.8		4.8		4.8		5.3		5.0		5.3		5.6		4.8		4.5		5.0		4.5		4.5
DATE	1987012906		1992021309		1987032509		1988041111		1993052906		1994060302		1991071610		1986082109		1988093006		1986100805		1991112222		1986122413		1991112222		1991112222

(* < 0.05% , # = 100.0%)

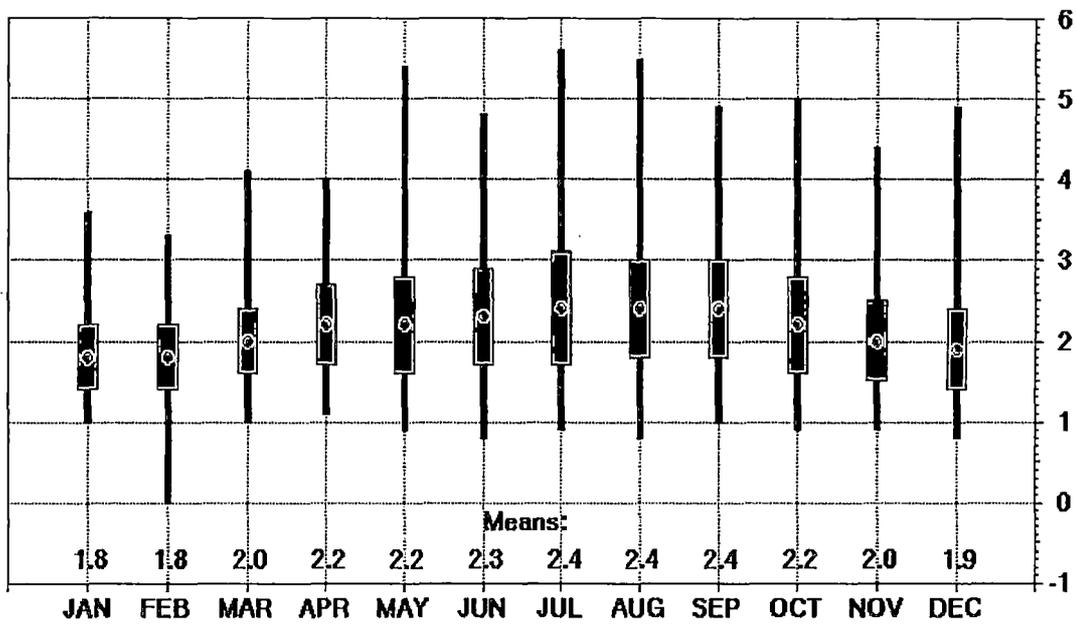


Figura N° A.1. 4 Alturas de Ola Significante (m). Estación 32302 del 2/86-12/93.

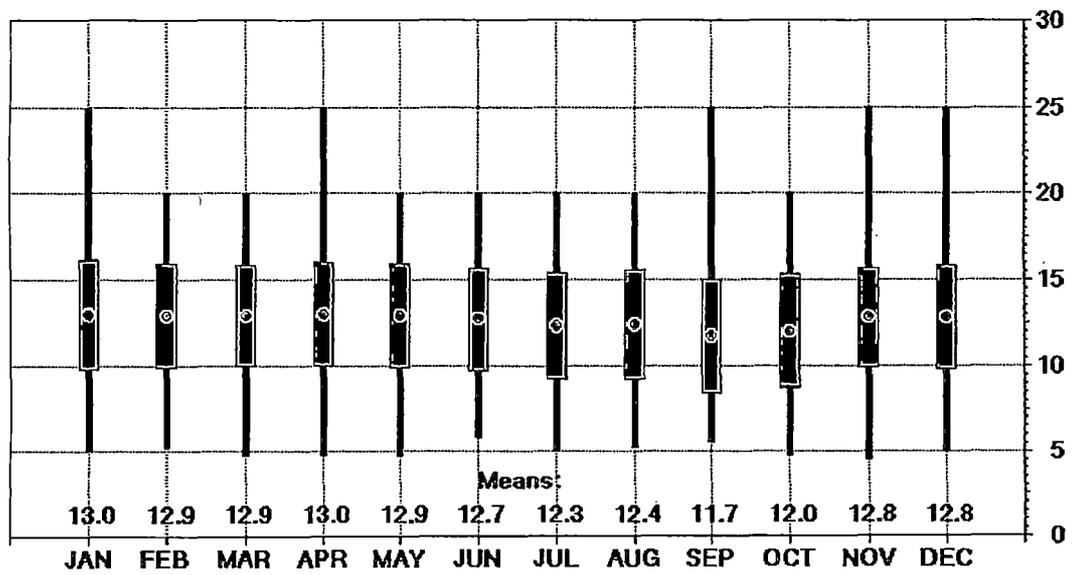


Figura N° A.1. 5 Período Pico Dominante(s). Estación 32302 del 2/86-12/93.

El análisis estadístico según lo expuesto en la página, se muestra en el Cuadro N° A.1.5:

Cuadro N° A.1. 5 Ubicación de estaciones de registro de olas.

Parámetro	Significante
Altura (m)	2.1
Período (s)	12.9

También se rescataron datos actualizados según el Proyecto Naylamp, proyecto implementado por la Marina de Guerra del Perú, a través de la Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV), el cual basa sus datos en el modelo Wave Watch III. Los datos de las características de ola significativa que inciden en la zona de estudio han sido tomados para el mes de Julio del año 2012 (Cuadro N° A.1.6)

Cuadro N° A.1. 6 Información de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (Proyecto Naylamp)

DIA	HORA	ALTURA (m)	DIR. OLA ° Respecto al Norte	PER. PICO seg.	PER. MEDIO seg.
1	0	1.5-2	22	12.0-13.0	10.0-11.0
	6	1.5-2	21	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	1.5-2	21	11.0-12.0	10.0-11.0
	18	1.5-2	16	11.0-12.0	11.0-12.0
2	0	2-2.5	18	12.0-13.0	12.0-13.0
	6	2-2.5	18	16.0-18.0	13.0-14.0
	12	2-2.5	17	16.0-18.0	13.0-14.0
	18	2.5-3.0	13	15.0-16.0	13.0-14.0
3	0	2.5-3.0	14	15.0-16.0	12.0-13.0
	6	2.5-3.0	14	15.0-16.0	11.0-12.0
	12	2.5-3.0	14	14.0-15.0	11.0-12.0
	18	2.5-3.0	14	14.0-15.0	10.0-11.0
4	0	2.5-3.0	11	13.0-14.0	10.0-11.0
	6	2.5-3.0	10	13.0-14.0	10.0-11.0
	12	2.5-3.0	14	13.0-14.0	10.0-11.0
	18	2.5-3.0	12	12.0-13.0	10.0-11.0
5	0	2.5-3.0	13	12.0-13.0	10.0-11.0
	6	2.5-3.0	11	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	2.5-3.0	10	12.0-13.0	10.0-11.0
	18	2.5-3.0	11	12.0-13.0	10.0-11.0
6	0	2.5-3.0	10	12.0-13.0	10.0-11.0
	6	2.5-3.0	7	11.0-12.0	10.0-11.0
	12	2.5-3.0	6	11.0-12.0	10.0-11.0
	18	2.5-3.0	8	16.0-18.0	11.0-12.0
7	0	2.5-3.0	5	16.0-18.0	11.0-12.0
	6	3.0-3.5	10	15.0-16.0	12.0-13.0
	12	3.0-3.5	12	15.0-16.0	12.0-13.0
	18	2.5-3.0	16	14.0-15.0	11.0-12.0
8	0	2.5-3.0	14	14.0-15.0	11.0-12.0
	6	2.5-3.0	12	13.0-14.0	11.0-12.0
	12	2.5-3.0	15	13.0-14.0	11.0-12.0
	18	2.0-2.5	12	12.0-13.0	10.0-11.0
9	0	2.0-2.5	15	12.0-13.0	10.0-11.0
	6	2.0-2.5	13	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	2.0-2.5	15	12.0-13.0	10.0-11.0
	18	1.5-2.0	14	11.0-12.0	10.0-11.0

DIA	HORA	ALTURA (m)	DIR. OLA ° Respecto al Norte	PER. PICO seg.	PER. MEDIO seg.
10	0	1.5-2.0	14	11.0-12.0	10.0-11.0
	6	1.7-2.2	15	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	1.7-2.2	15	12.0-13.0	10.0-11.0
	18	1.7-2.2	15	12.0-13.0	10.0-11.0
11	0	0.5-1.0	0	7.0-8.0	5.0-6.0
	6	0.5-1.0	0	6.0-7.0	5.0-6.0
	12	1.0-1.5	0	6.0-7.0	5.0-6.0
	18	1.0-1.5	0	6.0-7.0	5.0-6.0
12	0	0.5-1.0	0	6.0-7.0	5.0-6.0
	6	1.0-1.5	0	6.0-7.0	6.0-7.0
	12	1.0-1.5	0	6.0-7.0	6.0-7.0
	18	1.0-1.5	4	15.0-16.0	8.0-9.0
13	0	1.5-2.0	4	15.0-16.0	9.0-10.0
	6	1.5-2.0	3	14.0-15.0	10.0-11.0
	12	2.0-2.5	7	13.0-14.0	10.0-11.0
	18	2.0-2.5	9	13.0-14.0	10.0-11.0
14	0	0.5-1.0	-17	12.0-13.0	10.0-11.0
	6	0.5-1.0	0	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	0.5-1.0	0	11.0-12.0	9.0-10.0
	18	0.5-1.0	0	11.0-12.0	9.0-10.0
15	0	0.5-1.0	0	10.0-11.0	9.0-10.0
	6	0.5-1.0	0	10.0-11.0	9.0-10.0
	12	1.0-1.5	0	10.0-11.0	9.0-10.0
	18	1.0-1.5	0	12.0-13.0	9.0-10.0
16	0	1.5-2.0	0	11.0-12.0	8.0-9.0
	6	1.5-2.0	0	7.0-8.0	6.0-7.0
	12	1.5-2.0	0	7.0-8.0	6.0-7.0
	18	1.5-2.0	0	7.0-8.0	6.0-7.0
17	0	1.5-2.0	0	8.0-9.0	6.0-7.0
	6	1.5-2.0	13	8.0-9.0	6.0-7.0
	12	1.5-2.0	11	8.0-9.0	6.0-7.0
	18	1.5-2.0	15	14-15	6.0-7.0
18	0	1.5-2.0	21	14-15	6.0-7.0
	6	1.0-1.5	21	13-14	6.0-7.0
	12	1.0-1.5	18	12.0-13.0	6.0-7.0
	18	1.0-1.5	19	12.0-13.0	6.0-7.0
19	0	1.0-1.5	20	12.0-13.0	7.0-8.0
	6	1.0-1.5	19	11.0-12.0	9.0-10.0
	12	1.0-1.5	22	11.0-12.0	10.0-11.0
	18	1.0-1.5	22	11.0-12.0	10.0-11.0

DIA	HORA	ALTURA (m)	DIR. OLA ° Respecto al Norte	PER. PICO seg.	PER. MEDIO seg.
20	0	1.0-1.5	32	16.0-18.0	11.0-12.0
	6	1.5-2.0	32	18.0-20.0	12.0-13.0
	12	1.5-2.0	28	16.0-18.0	13.0-14.0
	18	1.5-2.0	32	16.0-18.0	13.0-14.0
21	0	1.5-2.0	36	16.0-18.0	13.0-14.0
	6	1.5-2.0	36	16.0-18.0	13.0-14.0
	12	1.5-2.0	36	16.0-18.0	13.0-14.0
	18	1.5-2.0	36	16.0-18.0	13.0-14.0
22	0	1.5-2.0	31	15.0-16.0	13.0-14.0
	6	1.5-2.0	34	14.0-15.0	13.0-14.0
	12	1.5-2.0	26	14.0-15.0	13.0-14.0
	18	1.5-2.0	32	13.0-14.0	11.0-12.0
23	0	1.5-2.0	31	13.0-14.0	11.0-12.0
	6	1.5-2.0	32	13.0-14.0	11.0-12.0
	12	1.5-2.0	32	13.0-14.0	11.0-12.0
	18	1.5-2.0	35	12.0-13.0	11.0-12.0
24	0	1.5-2.0	32	12.0-13.0	11.0-12.0
	6	1.5-2.0	33	12.0-13.0	10.0-11.0
	12	1.5-2.0	29	12.0-13.0	11.0-12.0
	18	1.5-2.0	30	16.0-18.0	11.0-12.0
25	0	2.0-2.5	19	16.0-18.0	11.0-12.0
	6	2.0-2.5	22	15.0-16.0	12.0-13.0
	12	2.5-3.0	17	15.0-16.0	12.0-13.0
	18	2.5-3.0	24	15.0-16.0	12.0-13.0
26	0	2.5-3.0	22	14.0-15.0	12.0-13.0
	6	2.5-3.0	18	14.0-15.0	12.0-13.0
	12	2.5-3.0	20	14.0-15.0	11.0-12.0
	18	2.5-3.0	17	14.0-15.0	11.0-12.0
27	0	2.5-3.0	21	14.0-15.0	11.0-12.0
	6	2.5-3.0	21	14.0-15.0	11.0-12.0
	12	2.5-3.0	21	14.0-15.0	11.0-12.0
	18	2.5-3.0	21	14.0-15.0	11.0-12.0
28	0	2.5-3.0	15	13.0-14.0	10.0-11.0
	6	2.5-3.0	13	13.0-14.0	10.0-11.0
	12	2.5-3.0	14	13.0-14.0	10.0-11.0
	18	2.0-2.5	18	13.0-14.0	10.0-11.0
29	0	2.0-2.5	11	13.0-14.0	10.0-11.0
	6	2.0-2.5	9	13.0-14.0	9.0-10.0
	12	2.0-2.5	8	13.0-14.0	9.0-10.0
	18	2.0-2.5	9	13.0-14.0	9.0-10.0

DIA	HORA	ALTURA (m)	DIR. OLA ° Respecto al Norte	PER. PICO seg.	PER. MEDIO seg.
30	0	2.0-2.5	14	12.0-13.0	9.0-10.0
	6	1.5-2.0	17	12.0-13.0	9.0-10.0
	12	1.5-2.0	13	12.0-13.0	9.0-10.0
	18	1.5-2.0	16	11.0-12.0	9.0-10.0
31	0	1.5-2.0	14	13.0-14.0	10.0-11.0
	6	1.5-2.0	17	14.0-15.0	10.0-11.0
	12	1.5-2.0	16	18.0-20.0	11.0-12.0
	18	1.5-2.0	14	18.0-20.0	12.0-13.0

De los datos dispuestos en el Cuadro N° A.1.6, se ha tomado el promedio de las mediciones, los cuales se muestran en el Cuadro N° A.1.7.

Cuadro N° A.1. 7 Promedio de datos de oleaje según HIDRONAV

APLICACIÓN	DATOS DE OLEAJE SEGÚN HIDRONAV			
	H_{so} (m)	θ	T_M (s)	T_P (s)
Datos Promedios	1.95	15 ° NE	10.5	13.0

De los datos antes expuestos que de la toma de datos actualizados para el mes de Julio de 2012, la ola significativa promedio es mayor que la tomada según la página de la NDBC (National Data Buoy Center).

Además se comprueba que el mayor porcentaje de olas provienen de la dirección Sur y Suroeste; es decir, tienen dirección hacia el Norte, con una pequeña inclinación hacia el Este.

Es importante mencionar que el tipo de olas SEA, originadas por vientos locales, que se caracterizan por ser olas cortas de mucha pendiente y superficie muy confusa; no han sido tomadas en cuenta para el presente informe, ya que para la zona de estudio este tipo de olas es de muy corto período, poca altura y escasa ocurrencia. Las olas consideradas son las SWELL, las que se detallaron anteriormente, que son olas que se originan en alta mar y viajan grandes distancias, este tipo de oleaje es la fuente principal de las alturas de olas cuya incidencia determina la dinámica de la Costa del Perú.

ANEXO N° A.5: COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN DE OLAS

Los datos del oleaje obtenidos de la Sailing Directions for South América y de modelos numéricos de propagación de olas Wave Watch III que difunde el NCEP – NOAA; hace referencia a datos en aguas profundas. Es por ello que con esta información y en base a la batimetría obtenida para la zona de interés, se proyecta el oleaje en base a las ortogonales, efectuando el cálculo de alturas de las olas utilizando los diferentes coeficientes de refracción y de cambio de profundidad expuestos a continuación:

- COEFICIENTE POR CAMBIO DE PROFUNDIDAD (K_s)

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot n \cdot \tanh(k \cdot h)}}$$

Donde:

- K_s : Coeficiente de cambio de profundidad.
 h : Profundidad a la cual se quiere sacar el coeficiente, m.
 k : Frecuencia angular, $2\pi / T$.
 n : Coeficiente, según la relación.

$$n = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{\frac{4\pi \cdot h}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi \cdot h}{L}\right)} \right)$$

De acuerdo a ello se ha obtenido el coeficiente para distintas profundidades, en el Cuadro N° A.1.8.

Cuadro N° A.1. 8 Datos coeficiente de cambio de profundidad

Profundidad (m)	H_0 (m)	T_P (s)	K_s
30	2.10	12.9	0.93
20	2.10	12.9	0.97
10	2.10	12.9	1.08
3	2.10	12.9	1.40

- COEFICIENTE DE REFRACCIÓN (K_R)

En el Cuadro N° A.1.9, se muestran los valores de los coeficientes de refracción según las profundidades.

Cuadro N° A.1. 9 Datos de Coeficiente de Refracción

Profundidad (m)	H_o (m)	T_P (s)	K_R
30	2.10	12.9	0.78
20	2.10	12.9	0.75
10	2.10	12.9	0.72
3	2.10	12.9	0.69

- COEFICIENTE DE DIFRACCIÓN (K_D)

Debido a que no existen barreras que modifiquen, las olas antes de llegar al rompeolas propuesto, se considera, para cualquier profundidad:

$$K_d = 1$$

Estos coeficientes han sido tomados para los cálculos de olas realizados en el apartado 2.3.2.1.

ANEXO N° A.6: TABLA DE MAREAS MES DE JULIO DEL 2012

DIA	HORA	ALTURA (cm)
1	03:56	100
	10:16	41
	15:07	74
	21:34	8
2	04:48	107
	11:13	35
	16:00	73
	22:28	5
3	05:38	113
	12:04	30
	17:08	73
	23:19	5
4	06:26	117
	12:54	27
	18:05	73
5	00:09	5
	07:12	117
	13:45	27
	18:59	74
6	00:57	10
	00:56	115
	14:35	28
	19:50	74
7	01:43	18
	08:39	110
	15:25	29
	20:42	74
8	02:30	28
	09:20	103
	16:12	31
	21:39	74
9	03:18	39
	10:01	94
	16:56	33
	22:48	74
10	04:14	49
	10:45	86
	17:39	34

DIA	HORA	ALTURA (cm)
11	00:12	76
	05:32	56
	11:35	78
	18:22	34
12	01:29	79
	07:19	60
	12:32	72
	19:09	32
13	02:32	83
	09:01	58
	13:27	68
	19:59	30
14	03:23	87
	10:05	54
	14:18	65
	20:48	27
15	04:05	90
	10:45	49
	15:06	64
	21:32	23
16	04:42	93
	11:16	45
	15:50	63
	22:10	20
17	05:15	96
	11:46	42
	16:33	64
	22:46	17
18	05:47	99
	12:15	40
	17:13	65
	23:20	15
19	06:17	102
	12:45	39
	17:52	67
	23:55	15
20	06:04	103
	13:16	38
	18:32	69

DIA	HORA	ALTURA (cm)
21	00:31	17
	07:20	104
	13:51	37
	19:13	71
22	01:09	21
	07:52	103
	14:28	36
	19:57	72
23	01:51	27
	08:25	101
	15:07	34
	20:46	73
24	02:36	35
	09:00	96
	15:49	32
	21:46	73
25	03:29	42
	09:39	91
	16:34	29
	23:06	75
26	04:35	50
	10:27	84
	17:23	27
27	00:39	80
	06:07	54
	11:33	77
	18:19	24
28	01:53	86
	07:56	52
	12:49	72
	19:24	21
29	02:54	93
	09:18	46
	14:00	70
	20:30	17
30	03:48	101
	10:16	39
	15:04	70
	21:30	13
31	04:38	107
	11:04	33
	16:05	72
	22:24	9

**ANEXO N° A.8: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOTEXTIL TEJIDO
ESTABILENKA PES 108/108**

HUESKER

HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13-15 · D-48712 Gescher
Postfach 1262 · D-48705 Gescher
Telefon +49 (0) 25 42/ 7 01-0
Telefax +49 (0) 25 42/ 7 01-499
Internet: <http://www.huesker.com>
E-mail: info@huesker.de



Project Peru

PES 108/108 DW

DATA SHEET

**High Strength Woven Geotextile for
Soil Reinforcement**



**S
O
I
L

R
E
I
N
F
O
R
C
E
M
E
N
T**

PRODUCT DATA:

Raw Material	PET/PET
Weight <i>DIN EN ISO 9864</i>	~ 320 g/m ²
Ultimate tensile strength <i>EN ISO 10.319</i>	
longitudinal	≥ 108 kN/m
transversal	≥ 108 kN/m
Tensile strength at 5 % strain <i>EN ISO 10.319</i>	
longitudinal	≥ 46 kN/m
Transversal	≥ 46 kN/m
Strain at nominal tensile strength <i>EN ISO 10.319</i>	
longitudinal	≤ 10 %
transversal	≤ 10 %
Standard dimensions	
Width	5.00 m
Length	300.00 m

No responsibility is accepted for any change in product properties due to environmental influences and / or improper application or handling. Rights are reserved to modify the product to effect improvements.

Stabilenka® Datasheet, 01/2012 Rev. A

ANEXO N° A.9: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOTEXTIL TEJIDO STABILENKA



Stabilenka®

Especificações técnicas gerais dos tecidos Stabilenka (modelos de linha)

Descrição do material

Geotêxtil tecido de poliéster de alta tenacidade e de baixa fluência na direção principal de tracionamento, cujas principais funções são o reforço e a separação de solos. Stabilenka pode ser fornecido com resistência nominal de até 2.000 kN/m.

Principais aplicações

Atérros sobre solos moles, aplicações em engenharia hidráulica.

Propriedades (*)	Stabilenka 100/50	Stabilenka 150/45	Stabilenka 200/45	Stabilenka 300/45	Stabilenka 400/50	Stabilenka 600/50	Stabilenka 800/50	Stabilenka 1000/100
Matéria-prima principal	Filamentos de Poliéster (PET) de alta tenacidade e baixa fluência							
Resistência à tração nominal (ABNT 12.824) . Direção longitudinal . Direção transversal	100 kN/m 50 kN/m	150 kN/m 45 kN/m	200 kN/m 45 kN/m	300 kN/m 45 kN/m	400 kN/m 50 kN/m	600 kN/m 50 kN/m	800 kN/m 50 kN/m	1000 kN/m 100 kN/m
Módulo de rigidez a 5% deformação (ABNT 12.824) . Direção longitudinal	≥ 1.000 kN/m	≥ 1.500 kN/m	≥ 2.000 kN/m	≥ 3.000 kN/m	≥ 4.000 kN/m	≥ 5.000 kN/m	≥ 8.000 kN/m	≥ 10.000 kN/m
Deformação na resistência nominal (ABNT 12.824) . Direção longitudinal	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %	≤ 10,0 %
Carga de ruptura por fluência (120 anos, ≤ 30° C) . Direção longitudinal	≥ 65 kN/m	≥ 99 kN/m	≥ 132 kN/m	≥ 198 kN/m	≥ 264 kN/m	≥ 396 kN/m	≥ 528 kN/m	≥ 660 kN/m
Carga de ruptura por fluência (2 anos, ≤ 30° C) . Direção longitudinal	≥ 71 kN/m	≥ 106 kN/m	≥ 142 kN/m	≥ 213 kN/m	≥ 284 kN/m	≥ 426 kN/m	≥ 568 kN/m	≥ 710 kN/m
Deformação por fluência após 2 anos de carregamento a 50% da carga de ruptura	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %	≤ 1,0 %
Permeabilidade normal (ISO 11053)	≥ 15x10 ⁻³ m/s	≥ 5x10 ⁻³ m/s	≥ 5x10 ⁻³ m/s	≥ 3x10 ⁻³ m/s				
Coefficiente de Interação . Solos finos . Solos arenosos	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7	≥ 0,6 ≥ 0,7
Apresentação e dimensões das bobinas . Largura . Comprimento (**)	5,0 m 300 m	5,0 m 300 m	5,0 m 300 m	5,0 m 300 m	5,0 m 200 m	5,0 m 200 m	5,0 m 100 m	5,0 m 100 m

(*) Materiais Certificados ISO 9001.

(**) Comprimentos especiais são possíveis.

Atualização: junho/2012

**ANEXO N° A.10: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL HILO DE
 COSTURA**



CERTINTEX S.A.C.
 ISO/IEC 17025 ACCREDITED LABORATORY



1. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO			
Recibido :		Reporte Anterior N° : N/A	
Completado :			
2. INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Cliente :		Contacto : EVERT R. CÁCERES PEREZ	
Dirección :		E-mail :	
		Teléfono :	
3. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:			
Muestra : HILO DE COSTURA		Color / Código :	
4. INSTRUCCIONES DE CUIDADO PROPORCIONADA		INSTRUCCIONES DE CUIDADO SUGERIDA	
NO PROPORCIONADA		NO REQUERIDA	
5. SIMBOLOS DE ETIQUETA DE CUIDADO SUGERIDA			
NO REQUERIDA			

6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO N° 01

MÉTODO DE ENSAYO

: ASTM D2256 – 2009
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, ELONGACIÓN Y TENACIDAD

1. CÓDIGO INTERNO

: C0180

2. EQUIPO

: MICRO-ADVANCED UNIVERSAL TESTING MACHINE – CRE

3. PROCEDIMIENTO

: LONGITUD: 250 mm – VELOCIDAD: 300 mm/min

4. EVALUACIÓN

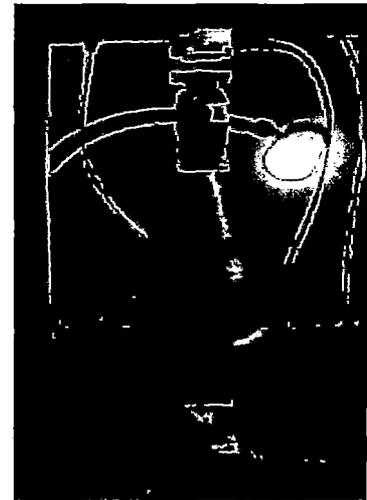
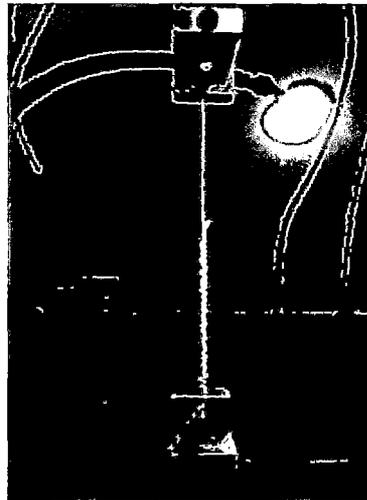
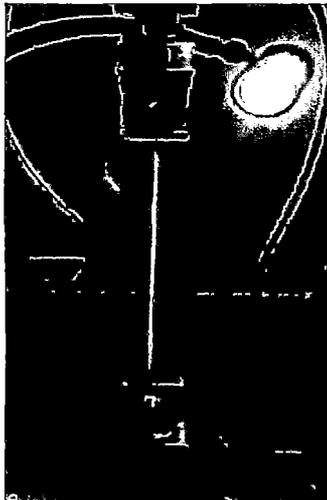
: REGISTRO DIGITAL DEL EQUIPO

RESULTADOS DEL ENSAYO

PROMEDIO DE 15:

MUESTRA	CARGA MÁXIMA	ELONGACIÓN		TENACIDAD
	(KgF)	(mm)	(%)	(g/De)
	16.98	36.16	14.00	2.423

CALCULOS EN BASE AL TITULO DEL HILADO REAL QUE ES 70004 De



ACONDICIONAMIENTO:

Los especímenes son acondicionados según la norma ASTM D 1776: Atmósfera Estándar para Ensayos Textiles: $21 \pm 1^\circ\text{C}$ ($70 \pm 2^\circ\text{F}$) y $\text{RH } 65 \pm 2\%$ o a las condiciones especificadas por los estándares.

VALIDEZ DEL INFORME:

Los resultados contenidos en el presente Informe Técnico se limitan únicamente y exclusivamente a las muestras descritas en el ítem que corresponde a "información de la muestra" y corresponden a la totalidad de las pruebas solicitadas por el cliente, no indican necesariamente la calidad de muestras aparentemente idénticas o de un producto/material similar. Este reporte es un documento oficial protegido bajo la actual legislación. Está destinado para su uso exclusivo, no debe ser copiado o reproducido excepto en forma íntegra, sin la aprobación escrita de Certintex.

ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS:

Los resultados en este informe no pueden ser usados como un certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad del propietario del reporte.

Las muestras serán almacenadas por un período de 60 días como máximo, después del cual serán destruidas. Si necesita que se le devuelvan sus muestras, deberá especificarlo al momento de solicitar el servicio.

CERTIFICACIONES DEL LABORATORIO:

Este Informe Técnico ha sido elaborado bajo los controles establecidos en nuestro Sistema de Gestión de la Calidad, el cual cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2008, con acreditaciones ANAB y UKAS. BR231265A (Febrero 02, 2012)

Certintex S.A.C ha sido reconocido con la acreditación para ensayos de laboratorio NTP-ISO/IEC 17025:2006 por el Servicio Nacional de Acreditación: INDECOPI-SNA. Certificado N° LE - 041, el 26 de Agosto de 2010. Para mayor detalle sobre nuestro alcance de acreditación visitar: <http://sistemas.indecopi.gob.pe/certacre/> CERTINTEX S.A.C. ha adquirido la acreditación para ensayos de laboratorio ISO/IEC 17025:2005 otorgado por ACLASS. Nuestro organismo de acreditación ACLASS es reconocido por ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) – Certificado de acreditación N° AT 14-41, en Marzo 11, 2010 (Re-acreditado en Febrero 27, 2012) <http://www.aiclasscorp.com/search-accredited-companies.aspx?>

TRANSMISIÓN POR E-MAIL:

Certintex se encuentra reconocido por la CPSC como un laboratorio de tercera parte para ensayos en productos para niños – Número de Identificación CPSC 1244. Nos pueden encontrar listado en la página web de la CPSC: <http://www.cpsc.gov/cgi-bin/LabSearch/ViewLab.aspx?LabID=1244>

El cliente reconoce que los resultados expuestos en este informe y otras comunicaciones por correo electrónico, no serán encriptados, por lo tanto no serán confidenciales.

Que dicha transmisión puede ser leída e interceptada por terceras personas, y que la versión electrónica u otra comunicación, puede ser modificada. CERTINTEX desconoce cualquier y todas las responsabilidades u obligaciones que provienen de o en conexión con transmisiones de correo electrónico de tal información.

IC

EDUARDO GUSHIKEN Y.
GERENTE TÉCNICO
CIP LIMA N° 57135L
CERTINTEX S.A.C.

**ANEXO N° A.11: COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE OLEAJE PARA EL
 ESPIGÓN**

CALCULO DEL COEFICIENTE DE REFRACCION

METODO VAN DER MEER

Altura de ola significativa (Hs) :	2.3
Francobordo (Rc):	-0.25
Ratio(Rc/Hs):	-0.109
Kt :	0.493

$$K_t = \begin{cases} 0.80 & -2 < \frac{Rc}{H_s} < -1.13 \\ 0.46 - 0.30 \frac{Rc}{H_s} & -1.13 < \frac{Rc}{H_s} < 1.2 \\ 0.10 & 1.2 < \frac{Rc}{H_s} < 2 \end{cases}$$

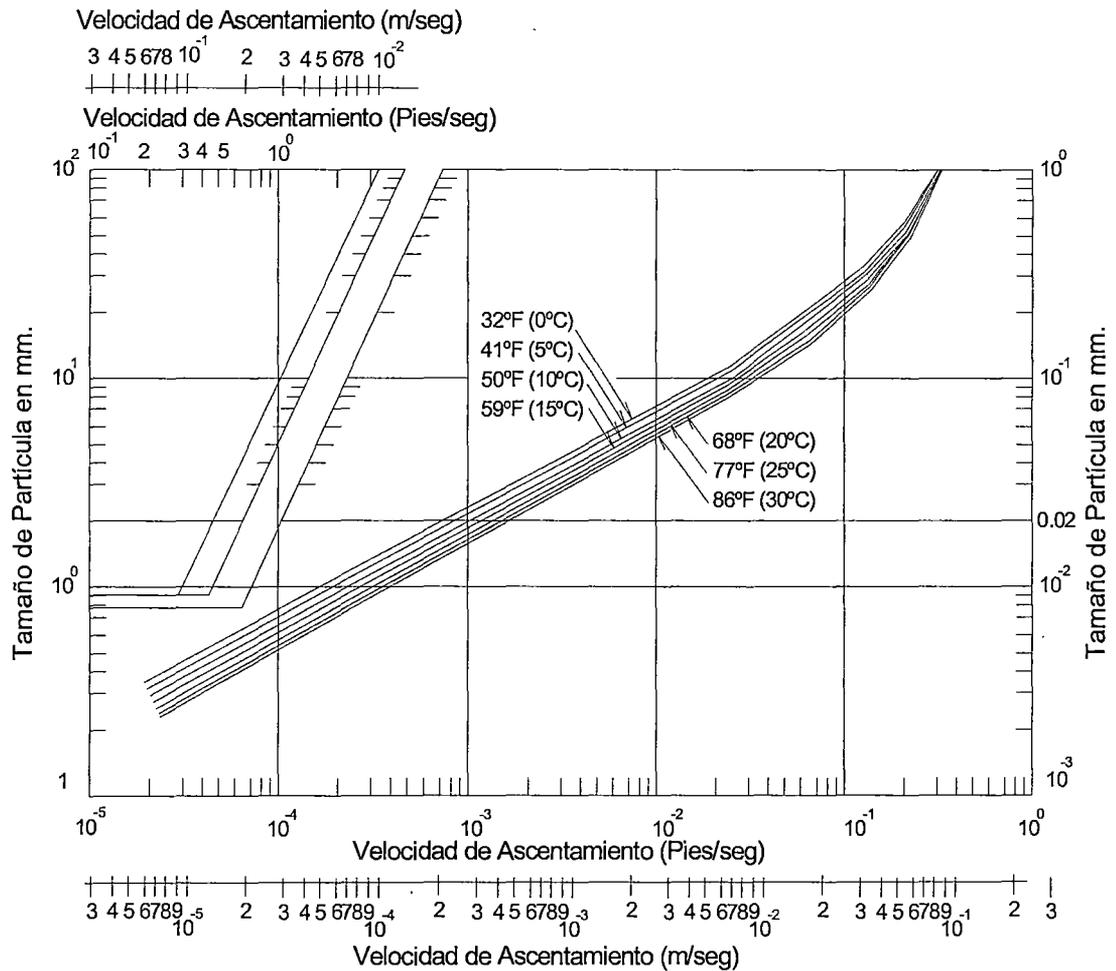
METODO ANGRENMOND

Ancho de corona (B) :	6
Altura de ola (Hi) :	2.3
Angulo de inclinacion (α) :	45
Long. de onda en aguas profundas (Lo):	259.55
Francobordo (Rc):	-0.25
coeficiente (C) :	0.64
Kt :	0.518

$$K_t = C \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} \left(1 - \exp \left(-0.5 \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_i/L_o}} \right) \right) - 0.41 \frac{Rc}{H_i} \quad \text{con } 0.075 \leq K_t \leq 1$$

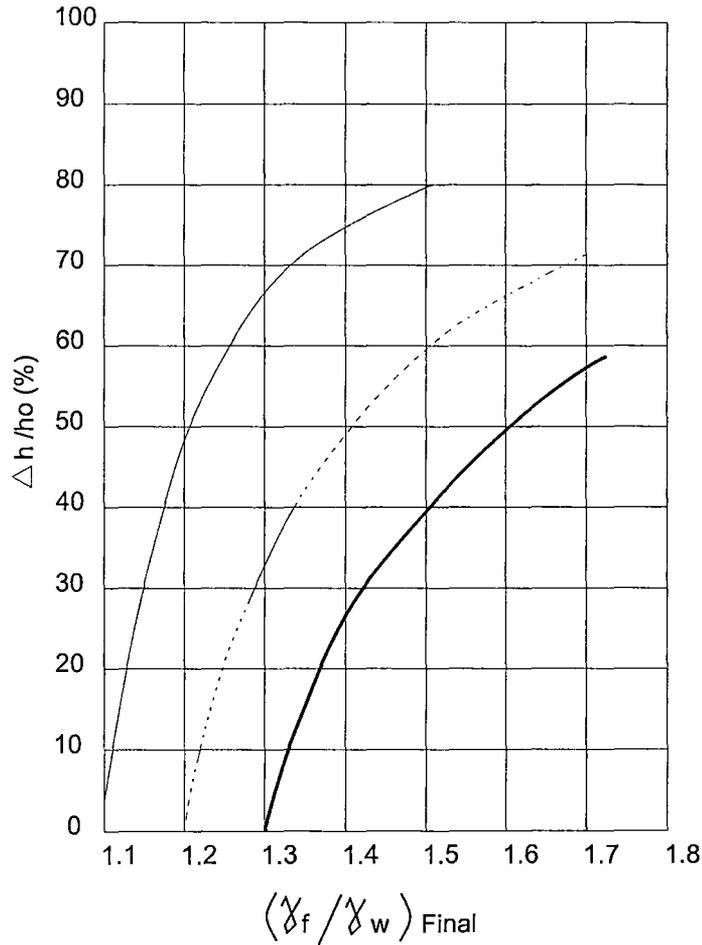
ANEXO N° A.12 : CURVAS DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

(AFTER GOLDMAN, ET AL. - 1986)



**ANEXO N° A.13 : DISMINUCIÓN DE LA ALTURA DEL GEOCONTENEDOR
 EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DEL SUELO**

(*) POR DOV LESHCHINSKY



- $\left(\frac{\gamma_f}{\gamma_w} \right)$ Inicial = 1.00; $W_o = 592.6\%$
- $\left(\frac{\gamma_f}{\gamma_w} \right)$ Inicial = 1.20; $W_o = 277.8\%$
- $\left(\frac{\gamma_f}{\gamma_w} \right)$ Inicial = 1.30; $W_o = 172.8\%$

Se asume:
 $G_s = 2.70$
 $S = 100\%$ (Para γ_f)

PLANOS