



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela de Ingeniería Unidad Ensenada

**" ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS
OCEANOGRÁFICAS FRENTE AL ROMPEOLAS DEL
PUERTO DE ENSENADA, B.C. ; PARA EL
DISEÑO DE UN DEFLECTOR DE OLEAJE ".**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JORGE VICENTE GUILLÉN SÁNCHEZ



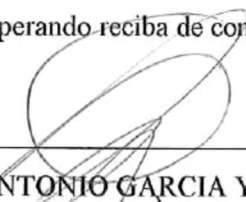
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA . JULIO DE 1998

**ASUNTO: EMISION DE VOTOS APROBATORIOS
DEL TRABAJO DE TESIS PROFESIONAL.**

**ING. HUMBERTO CERVANTES NAVA.
SUBDIRECTOR ACADEMICO DE LA ESCUELA
DE INGENIERIA ENSENADA – UABC.
P R E S E N T E .**

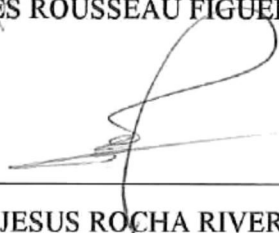
Después de haber efectuado una revisión minuciosa, sobre el trabajo de tesis presentado por el **C. JORGE VICENTE GUILLEN SANCHEZ**, para poder presentar su examen profesional y obtener el título de Ingeniero, nos permitimos comunicarle que le hemos dado nuestros votos **APROBATORIOS**, sobre su trabajo titulado: **“ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS FRENTE AL ROMPEOLAS DEL PUERTO DE ENSENADA, B.C.; PARA EL DISEÑO DE UN DEFLECTOR DE OLEAJE ”.**

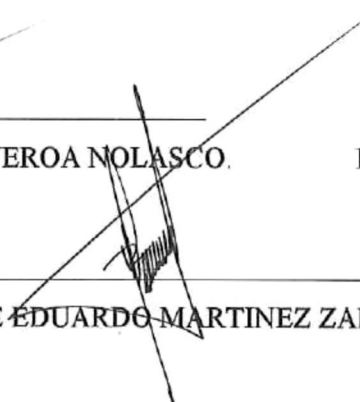
Esperando reciba de conformidad, quedamos de usted muy atentamente.



ING. ANTONIO GARCIA YAÑEZ.

ING. PABLO ANDRES ROUSSEAU FIGUEROA.

ING. MANUEL OTHON FIGUEROA NOLASCO.

ING. JESUS ROCHA RIVERA.

ING. RENE EDUARDO MARTINEZ ZABATDENY.

Ensenada, B.C.; a 30 de Julio de 1998.

C.c.p. Archivo.

A mis raíces, mis Abuelos:

Ing. Jorge Sánchez Patiño (†) y Amelia O. de Sánchez Patiño.

Antonio Guillen Gutiérrez(†) y Zenaida Barrios Curiel.

Principio de mis motivos:

Ocean. Amelia Sánchez Ochoa.

Ing. Vicente Guillen Barrios.

Juan Antonio y Claudia.

A mi grande, y gran Familia Guillen y Sánchez.

IN MEMORIAM

Señor.

A otra de tus naves voy a penetrar, permite:

Que la contemplación sea mas que nada por tu grandeza.

Que la serenidad de tus ojos guíe mis movimientos.

Que la fascinación no me separe de mis semejantes.

Y que la conquista de la cima no ponga vanidad en mi boca.

Víctor M. Minov (Manual de Buceo).

Al Ingeniero en Obras Portuarias Idelfonso "Poncho" Muñoz.

Orgullosa Cimarrón y gran amigo, quien dedico su vida al mar.

AGRADECIMIENTOS.

Durante mi formación académica, tuve grandes escuelas de enseñanza y pensamientos, con cariño y respeto agradezco a mi Universidad, a mi Escuela de Ingeniería y a mis Maestros.

Al Ing. Antonio García Yañez, con agradecimiento por haber dirigido esta tesis, por las facilidades prestadas, enseñanzas y sobre todo su amistad.

A mis sinodales, Ing. Pablo Rousseau, Ing. Jesús Rocha, Ing. Othon Figueroa, Ing. Rene Zabaldeny, por sus comentarios, asesoría y sugerencias durante la revisión de la tesis.

Al Ing. Cesar Obregón y Sra. Carmelita de Obregón, así como al Ing. Felipe de Jesús Ricalde, Padrinos de la XIII Generación, por enseñarme la parábola de los talentos.

Al Arq. Hector Daniel Chavez, por inculcarme la responsabilidad.

Al Ing. Hector Ramos García, por su amistad y contribución en mi desarrollo Profesional.

Al Lic. Sergio Figuerola, por su amistad, confianza y sobre todo su paciencia.

Al Ing. Hisatoche Uyeji Minato, por sus inapreciables consejos técnicos.

A mis tíos Roberto y Georgina, por su gran generosidad y mucho más.

A mis amigos Dr. Jorge Shinohara y Anita de Shinohara, así como también al Maestro Francisco Rosas por sus buenos consejos y su amistad.

Al Ing. Gunther Padilla, por su apoyo y solidaridad.

A mis grandes amigos y compañeros de Frente.

A mi Draga.

Y por sobre todo, Gracias a Dios.

ÍNDICE.

	Pagina
CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO II.- GENERALIDADES.	3
2.1.- Ubicación del Puerto de Ensenada, B.C.	3
2.2.- Actividades económicas de la ciudad de Ensenada, B.C.	4
2.3.- Condiciones climatológicas del puerto de Ensenada, B.C.	5
2.4.- Estructuras de protección del puerto de Ensenada, B.C.	5
2.5.- Actividades del Puerto de Ensenada, B.C.	7
2.6.- Infraestructura portuaria.	7
CAPITULO III.- ANTECEDENTES Y OBJETIVO.	9
CAPITULO IV.- ESTUDIOS BÁSICOS.	10
4.1.- Aspecto teórico.	10
4.1.1.- Fenómenos producidos por el oleaje.	12
4.1.2.- Criterios y leyes de similitud de oleaje.	16
4.1.2.1.- Tipos de modelos hidráulicos.	17
4.1.2.2.- Modelos de agitación.	18
4.2.- Estudio estadístico de oleaje.	18
4.2.1.- Análisis de datos de oleaje.	19
4.2.2.- Oleaje extremal.	19
4.2.3.- Oleaje incidente.	21
4.2.4.- Fuentes estadísticas de oleaje.	21
4.2.5.- Altura de ola significativa de acuerdo a la velocidad, viento, duración y Fetch.	22
4.3.- Niveles de mar.	24
4.3.1.- Marea astronómica.	24
4.3.2.- Marea de tormenta.	25

4.4.- Localización de los ejes de referencia.	25
4.5.- Batimetría.	25
4.6.- Condiciones iniciales de oleaje.	27
4.6.1.- Propiedades básicas de las olas.	27
4.6.2.- Fundamentos de la teoría del oleaje.	28
4.6.3.- Longitud de ola.	29
4.6.4.- Determinación de la profundidad relativa.	31
4.7.- Calculo de refracción.	32
4.7.1.- Método de frente de olas.	33
4.7.2.- Construcción de la regleta para trazar diagramas de refracción.	34
4.7.3.- Procedimiento constructivo por el método de frente de olas...	37
4.7.4.- Calculo del coeficiente de refracción.	38
4.8.- Altura de la ola de diseño.	39
4.8.1.- Altura a la cual rompen las olas.	39
4.8.2.- Calculo del coeficiente de fondo.	42
4.8.3.- Calculo de la altura de la ola de diseño.	43
 CAPITULO V.- FUERZA DE LA OLA.	45
5.1.- Aspecto teórico.	45
5.2.- Análisis del fenómeno denominado Run up.	46
5.3.- Sobre-elevacion de oleaje.	48
5.4.- Fuerza de la ola sobre la estructura.	52
5.4.1.- Fundamentos.	53
5.4.2.- Calculo de las resultantes hidrodinámicas e hidrostáticas.	56

CAPITULO VI.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DEFLECTOR DE OLEAJE.59

6.1.- Aspecto teórico.	59
6.2.- Condiciones de diseño.	59
6.3.- Condiciones del terreno sobre el cual se va a desplantar el muro deflector.	60
6.4.- Dimensionamiento del muro deflector.	60
6.5.- Calculo de las fuerzas horizontales.	61
6.6.- Calculo de las fuerzas verticales.	62
6.7.- Calculo de los momentos producidos por las fuerzas horizontales.	62
6.8.- Calculo de los momentos producidos por las fuerzas verticales.	64
6.9.- Calculo de la fuerza resultante.	65
6.10.- Análisis por volteo.	67
6.11.- Análisis por deslizamiento.	68

VII.- RESULTADOS.

VIII.- CONCLUSIONES.

IX.- REFERENCIAS.

X.- ANEXO.

Tablas del "Manual de obras marítimas", Vol. I.

Tablas del "Shore protection Manual"

Plano de Frente de olas.

LISTA DE FIGURAS.

	Pagina
Fig. 1.- La República Mexicana.	1
Fig. 2.- La península de Baja California.	3
Fig. 3.- El puerto de Ensenada, B.C.	6
Fig. 4.- Fenómeno de refracción sobre una línea de playa.	13
Fig. 5.- Fenómeno de difracción.	14
Fig. 6.- Fenómeno de reflexión total o clapotis total.	15
Fig. 7.- Variables que intervienen en una onda progresiva.	27
Fig. 8.- Regleta para trazar diagramas de refracción.	37
Fig. 9.- Relación de esbeltez limite para aguas profundas.	40
Fig. 10.- Esquema del oleaje de diseño actuando sobre el rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.	44
Fig. 11.- Fenómeno del Run up.	46
Fig. 12.- Presiones de oleaje de rompiente sobre un muro diseñado sobre el nivel de marea de referencia.	54
Fig. 13.- Dimensiones básicas para la obtención de presiones, fuerzas y momentos producidos por el oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.	56
Fig. 14.- Dimensiones básicas para la obtención de presiones, fuerzas y momentos producidos por el oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.	58
Fig. 15.- Dimensiones de proyecto del deflector de oleaje.	61
Fig. 16.- Diagrama de fuerzas actuantes.	63
Fig. 17.- Diagrama de fuerzas resistentes.	65
Fig. 18.- Magnitud y ubicación de la fuerza Resultante.	67

LISTA DE TABLAS.

Página

Tabla I.- Periodos de altura ciclónica para la costa del sur de California, U.S.A.	20
Tabla II.- Alturas de ola significativa según el "Ocean waves statistics" zona 14 y el "Sea and Swell" :	22
TABLA III.- Alturas de ola significativa según la velocidad del viento.	23
Tabla IV.- Niveles de marea en el puerto de Ensenada, B.C.	24
Tabla V.- Construcción de la regleta para trazar diagramas de refracción.	36
Tabla VI.- Cálculo de los momentos producidos por las fuerzas horizontales.	63
Tabla VII.- Cálculo de los momentos producidos por las fuerzas verticales.	64

I.- INTRODUCCIÓN.

Una Bahía es una rada, caleta, ensenada o entrada en el mar o de un lago o la desembocadura de un río en donde pueden entrar los barcos y protegerse de las tormentas. Un puerto debe tener las instalaciones suficientes para que atraquen barcos, se maneje y almacene carga y puedan transferirse los pasajeros desde tierra para la transportación por agua.

En la Bahía de Todos Santos de la Península de Baja California, sobre el litoral del Pacífico y a escasos 110 kilómetros de la frontera con Estados Unidos, se localiza la ciudad y puerto de Ensenada, uno de los puertos modernos y operacionales de la República Mexicana.



FIGURA 1.- La República Mexicana.

La diversa gama de actividades que existen en el Puerto de Ensenada lo posicionan con atractivas ventajas dada su naturaleza de vocación de uso múltiple. Desde su apertura en el siglo pasado y hasta hoy, esta ha sido su característica más importante y al mismo tiempo una riqueza a explotar dentro del nuevo orden económico al que México ha ingresado.

El Puerto de Ensenada cuenta con las siguientes actividades preponderantes: zona comercial para el manejo de carga de altura y cabotaje, graneles minerales, carga general y perecederos, zona de pesca de altura adecuada a las necesidades de las embarcaciones atuneras modernas y de otras especies; una zona de astilleros y reparaciones navales, así como diversas áreas para el desarrollo del ramo turístico en cruceros, marinas, comercios y hoteles.

CAPITULO II.- GENERALIDADES.

2.1.- UBICACIÓN DEL PUERTO DE ENSENADA.

El Puerto de Ensenada se localiza en las coordenadas geográficas 31°51' Latitud Norte y 116°38' Longitud Oeste (fig.2). A 8 horas de navegación de los Puertos de Long Beach y Los Angeles, California. Ensenada se está convirtiendo en un Puerto de transferencia de carga internacional, no solo como punto de entrada de mercancías con origen y/o destino doméstico.



Fig. 2.- La Península de Baja California.

Debido a su estratégica posición geográfica, en el corto y mediano plazo, el Puerto de Ensenada puede impulsar la incorporación del Noroeste de México a la actividad comercial de la Cuenca del Pacífico, aprovechando los esquemas del Tratado de Libre Comercio y de otros similares con países de Centro y Sudamérica.

Las carreteras federales No.1 (libre y cuota) y la No.3 (libre), comunican por el Norte a Ensenada con las ciudades fronterizas de Tijuana, Tecate y Mexicali. Hacia el sur de la Península, por la continuación de la carretera No.1 (libre), hasta La Paz y Los Cabos, y hacia el Este por la continuación de la No.3 (libre) hasta Valle de la Trinidad y San Felipe en el Golfo de California.

A solo 3 kilómetros se localiza un aeropuerto militar con acceso a aeronaves comerciales de hasta tipo DC-8, por el cual se pueden transportar pasajeros y mercancías dentro del entorno regional. La pista aérea tiene 1,609 mts. De Longitud y 35 mts de ancho.

2.2.-ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LA CIUDAD Y PUERTO DE ENSENADA.

Las actividades significativas se desarrollan en el sector terciario como servicios comunales, sociales, y al turismo que es una importante fuente de divisas. Le siguen las actividades primarias entre la que destacan la pesca y la acuicultura. Las principales capturas son el atún, jurel, sardina, algas, tiburón lisa y crustáceos; la agricultura esta dirigida a la exportación de hortalizas: papa, jitomate, calabacita, chile, col cebolla, ejote y espinacas; así como al cultivo de melón, sandía, maíz, uva, olivo y trigo. La ganadería esta dedicada principalmente a la cría de bovinos. Por ultimo, dentro de las actividades secundarias, se procesan productos del mar y de los viñedos de los valles de Guadalupe y Santo Tomas así como de la industria de la transformación.

2.3.- CONDICIONES METEOROLOGICAS DEL PUERTO DE ENSENADA.

Sus condiciones físicas se caracterizan por tener clima semiseco, templado; veranos frescos y régimen de lluvia invernal con nieblas frecuentes en tierra y a lo largo de la costa. Precipitación pluvial escasa tendiendo a aumentar en invierno y a disminuir en verano.

El viento es uno de los fenómenos meteorológicos que se deben de tener muy en cuenta para el diseño y análisis de estructuras portuarias, ya que es un factor clave para determinar las perturbaciones a que se someterán dichas estructuras. Los vientos se determinan en frecuencia anual para los vientos reinantes y por su velocidad para los vientos dominantes. Para determinar los vientos anteriores tanto en rumbo y velocidad, normalmente se utilizan aparatos denominados comúnmente anemómetros. Para el caso del Puerto de Ensenada, sobre la base de estudios efectuados anualmente se obtuvo lo siguiente:

- Viento reinante procedente del Oeste con una frecuencia anual del 36%.
- Viento dominante procedente del Oeste con una velocidad de 41 km/hr.

Tomando en cuenta los datos anteriores y verificando sus características en escala Beaufort, se determina que para una velocidad de 41 km/hr; los efectos del viento es de fresco, marcando una agitación en los ramajes. Obteniendo la escala de 6.

2.4.- ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN DEL PUERTO.

La protección del Puerto de Ensenada (fig. 3) se logra mediante un rompeolas con una longitud de 1660 mts que se localiza al Sur del Puerto, construido entre los años de 1952 y 1956 con enrocamientos naturales y cuya coraza tiene elementos de 8 a 12 toneladas.

La corona del rompeolas tiene 6.10 mts. de ancho y se encuentra a una elevación de +7.20 mts. referidos al N.B.M.I. (Nivel de Bajamar Medio Inferior) y esta construida basándose en losas de concreto.

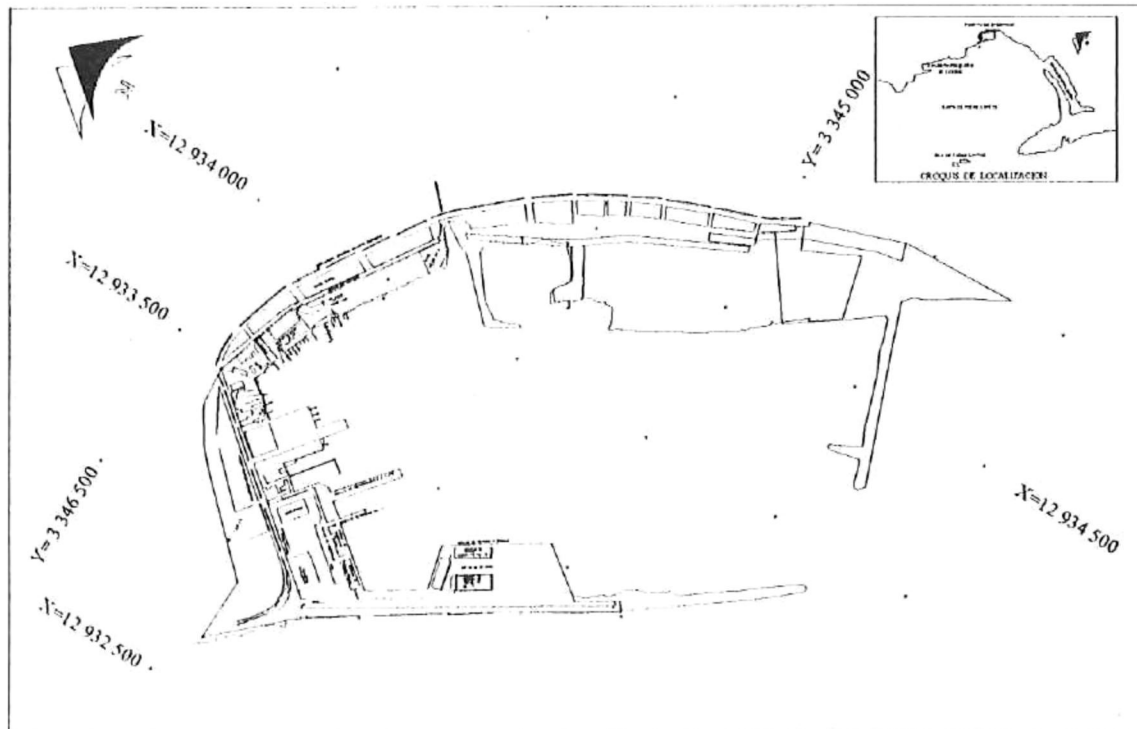


Fig. 3.- El puerto de Ensenada.

Adicionalmente existe un espigón denominado “Del Gallo” que se localiza al Noroeste del Puerto y cuyos datos son los siguientes:

- Material de construcción : Piedra.
- Longitud del espigón: 855.00 mts.
- Ancho de corona: 5.00 mts. en el morro.
- Elevación: +6.20 mts. referida al N.B.M.I. en el morro.

Cuya finalidad es la de proteger al puerto de los acarreos litorales que se generan dentro de la Bahía de Todos los Santos.

2.5.- ACTIVIDADES DEL PUERTO DE ENSENADA.

En años recientes Ensenada ha registrado un crecimiento significativo en el volumen operado de granel mineral: el movimiento de contenedores, a partir de 1990, es una actividad que reporto volúmenes importantes, sin embargo, su consolidación se lograra mediante la instalación de grúas de pórtico y las obras relativas de la infraestructura ya prevista en lo que será una terminal especializada para el manejo de contenedores. Lo mismo sé esta haciendo en los renglones de graneles y carga en general.

El Puerto tiene un importante trafico de cruceros turísticos que lo han posicionado en el segundo lugar de la costa Oeste del Continente Americano, tanto en arribo de buques como de pasajeros. Durante los últimos años , se recibieron un promedio de 348,000 turistas y 610 buques por año.

2.6.- INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.

El Puerto de Ensenada ofrece la siguiente infraestructura:

AREAS DE AGUA.

- Canal de acceso de 150 mts. de ancho y 10 mts. de profundidad.
- Dársena de Ciaboga de 330 mts. de ancho y 10 mts. de profundidad.

OBRAS DE ATRAQUE.

- Muelle de pesca con una longitud de 240 mts. y 7 mts. de profundidad.
- Muelle de cabotaje con una longitud de 425 mts. y 7 mts. de profundidad.
- Muelle D-E (entremuro) con una longitud de 204 mts. y 10 mts. de profundidad.
- Muelle de Altura con una longitud de 642 mts. y 10 mts. de profundidad.

AREAS DE ALMACENAMIENTO.

- Patio de la Terminal de Usos Múltiples con una superficie de 21,000 m².
- Patio de cabotaje con una superficie de 10,000 m².

SERVICIOS DE APOYO.

- Alumbrado en todas las áreas de operación.
- Agua potable en todos los muelles.
- Vigilancia en toda el área.
- Báscula.
- Equipo contra incendios en toda el área de atraque.

III.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

La estructura de protección principal (rompeolas), han sufrido cuantiosos daños en los últimos años, manifestándose principalmente por el efecto de rebase del oleaje sobre la estructura (overtopping), ocasionando inclusive degradaciones en la misma, ya que esta fue diseñada únicamente para condiciones de oleaje normal.

En los inviernos de los años 1985, 1987 y 1992 el Puerto de Ensenada ha sufrido problemas derivados de condiciones meteorológicas y oceanográficas extraordinarias (marejadas) que han dado como consecuencia el paro de operaciones del puerto y daños cuantiosos en mercancías, embarcaciones e instalaciones.

En el año de 1988, se presentó una sobre elevación de marea que fue medida y se ubicó en la cota +3.00 con respecto al nivel de referencia; la altura de oleaje estimada en la zona próxima al rompeolas fue de 7.00 mts. consecuencia por el cual no se pudo evitar el rebase del oleaje sobre el rompeolas. Cabe hacer notar que la estructura del rompeolas fue calculada con una altura de ola de 4.50 mts. y al arribar una ola de 7.00 mts. esta rebasó la estructura causando daños a la sección.

OBJETIVO.

En el presente estudio se pretende obtener la sección de la estructura del deflector que hidráulicamente sea óptima tanto en geometría como en altura para absorber la energía del oleaje, incidente sobre la misma.

IV.- ESTUDIOS BÁSICOS.

4.1.- ASPECTO TEORICO.

El oleaje no es mas que un fenómeno natural generado por la acción de un agente perturbador sobre una masa de agua. Este agente perturbador puede ser:

- a) Artificial.- Tal como una embarcación en movimiento o una explosión.
- b) Natural.- Tal como terremotos, mareas o vientos.

Las olas se manifiestan por ondulaciones de la superficie de agua ocurriendo con una gran variedad de periodos, a continuación se muestran los tipos predominantes de oleaje según su clasificación y periodo.

- Olas capilares.- Son las olas con periodo más corto, cuyo periodo es de 0.07 seg. o menor, con una longitud de ola de 1.7 cm. o menor y una altura de 2 a 3 cm. como máximo. Son llamadas olas capilares debido a que la fuerza principal del movimiento de estas es la tensión superficial mas que la gravedad.
- Olas de viento.- Son las olas con periodos de 10 a 15 seg., la altura de ola varia según el periodo pero no es raro que tales olas excedan en 10 mts. su altura. Estas olas se refieren a las olas generadas por el viento, estando en estado de desarrollo, o habiendo sido completamente desarrolladas.
- Olas de periodo largo.- Son olas con periodos de 20 a 30 seg., como sus alturas son muy grandes, estas pueden ocultarse detrás de las olas ordinarias, y son difíciles de observar. La causa de generación de este tipo de olas es poco conocida, pero se cree que son generadas en áreas donde se producen perturbaciones meteorológicas notables, tales como un ciclón o el centro de una perturbación.

- **Marcas meteorológicas.-** Son oscilaciones de largo periodo, las cuales se deben al cambio en el nivel del mar producido por causas meteorológicas. Entre ellas el oleaje de tormenta. La duración del oleaje de tormenta puede ser de 10 o más horas, y la elevación del nivel del mar puede alcanzar varios metros.
- **Marca astronómica.-** A diferencia de las otras ondas esta marca a cualquier hora puede ser pronosticada exactamente. Además de poseer componentes de periodo largo de un año o mas, el nivel medio de aguas varía mensual y anualmente en algún rango.

Sin embargo, analizando solamente las formas irregulares de las olas no nos ayudaría a conocer las características del movimiento del oleaje. Para este propósito, consideramos un estado hipotético en el cual las olas de altura y periodo uniforme avanzan en sucesiones infinitas. Estas olas son llamadas olas regulares, mientras que las olas del mar son llamadas olas irregulares u olas aleatorias.

Debido a que las olas regulares son más fáciles para analizarlas teóricamente, sus propiedades deben ser completamente analizadas por medio de varias teorías. Para efectos de análisis del presente trabajo se realizara con la teoría de Airy (teoría de las olas de amplitud pequeña), para una forma de ola sinusoidal, aunque las olas del océano no son sinusoidales, tales expresiones han servido para determinar los fenómenos del oleaje.

4.1.1.- Fenómenos producidos por el oleaje.

La teoría del oleaje se puede considerar como el conjunto de conceptos físicos y expresiones matemáticas que rigen el comportamiento de las olas proporcionando con estas las características del oleaje. La teoría del oleaje comprende tres fenómenos, los cuales son:

a) REFRACCIÓN DE OLEAJE.

La velocidad de propagación de una ola progresiva para un periodo determinado, esta en función de la profundidad relativa d/L . Conforme la profundidad disminuye, el fondo empieza a afectar el movimiento de las partículas induciéndoles un efecto de fricción que provoca la reducción en la velocidad de las mismas y por ende en la velocidad de propagación y en la longitud de ola.

Conforme la profundidad disminuye, el fondo empieza a afectar el movimiento de las partículas de agua induciéndoles un efecto de fricción el que provoca una reducción en la velocidad de las mismas y por ende en la velocidad de propagación y en la longitud de ola. El efecto de estos cambios en la velocidad de la ola, significa que cuando un tren de olas de un periodo determinado entra en aguas intermedias y bajas, las distintas partes de la cresta se desplazan con diferentes velocidades de acuerdo con la profundidad, provocando que la cresta se doble, de tal forma que trata de seguir la configuración de la batimetría sobre la que se está propagando.

La importancia de la refracción de oleaje estriba en el hecho de que virtualmente todas las estructuras marítimas se construyen en aguas bajas o intermedias, donde las olas sufren considerables cambios debido al efecto de refracción. Estos efectos deben investigarse ya que el cambio en el patrón del oleaje puede causar un efecto de concentración de energía de forma tal que unas zonas de la costa pueden estar sometidas a condiciones más severas del oleaje que otras.

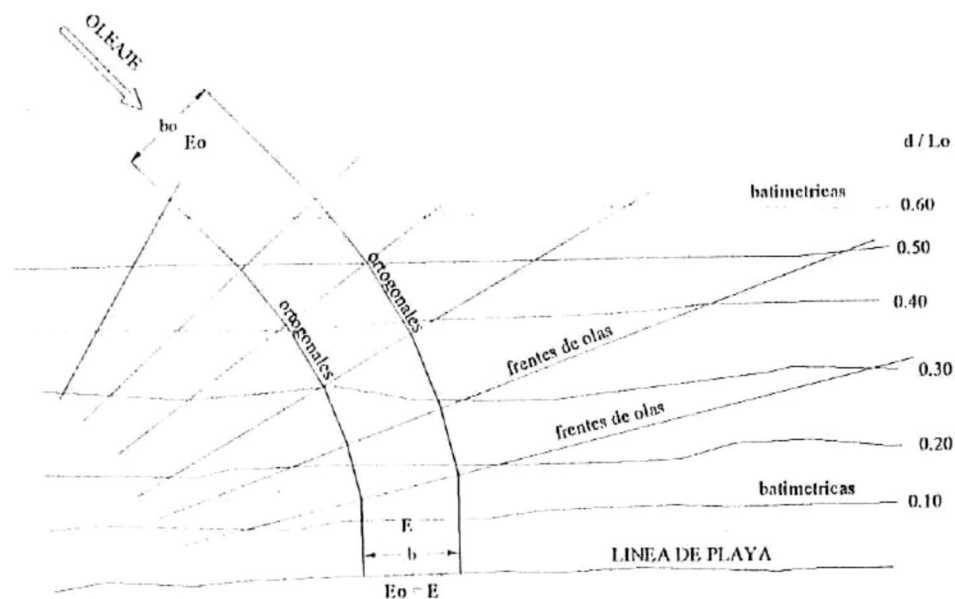


FIGURA 4.- Fenómeno de refracción sobre una línea de playa.

Donde:

b_o .- Ancho del canal de energía en aguas profundas.

b .- Ancho del canal en la zona de estudio.

E .- Energía de la ola en aguas profundas.

E_o .- Energía de la ola.

2. DIFRACCION DE OLEAJE.

Cuando una estructura, fija o flotante, natural o artificial de longitud finita se interpone en la propagación de un oleaje, este experimenta algún grado de reflexión, mientras que los frentes de ola que han rebasado los extremos de la estructura sufren en la vecindad a estos y atrás de la obra una expansión lateral a lo largo de las crestas, lo cual se conoce como fenómeno de difracción (fig. 5).

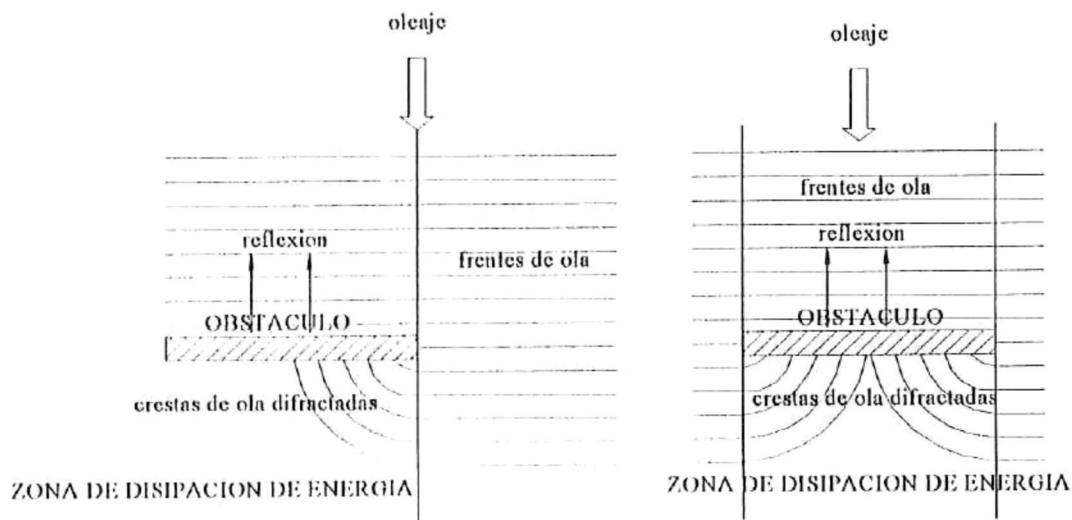


FIGURA 5.- Fenómeno de difracción.

3 . REFLEXIÓN DE OLEAJE.

La energía que posee un cierto oleaje es disipada parcial o totalmente cuando este es interceptado por alguna estructura artificial o por la costa. Cuando la disipación es parcial, la energía restante se mantiene en un nuevo oleaje que se genera y se propaga desde la estructura o costa hacia el mar, denominándose a este fenómeno reflexión.

La concentración de ondas de periodo reducido al entrar a un puerto, origina una agitación o la formación de ondas de largo periodo, en áreas del puerto o dársena donde no se determino por medio de los diagramas de difraccion.

Cuando una ola incide normalmente sobre una pared vertical, lisa e impermeable, esta se refleja totalmente creando el fenómeno denominado reflexión total o clapotis total, en el que se presenta una ola estacionaria cuya amplitud resulta el doble de la amplitud de la ola incidente (fig. 6).

En el caso de que el obstáculo este constituido por una pared inclinada, lisa o rugosa y permeable o impermeable, se producirá el fenómeno denominado clapotis parcial o reflexión parcial y este se reduce cuando la pendiente se hace más pequeña.

Muelle con paramento vertical

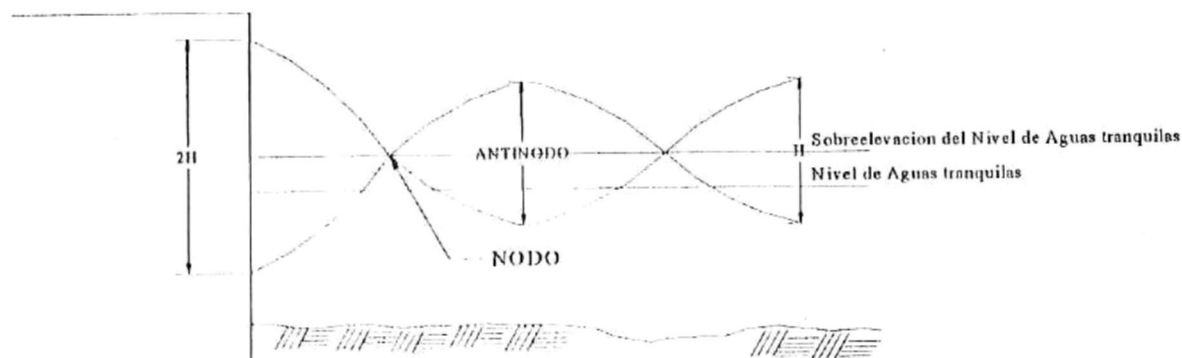


FIGURA 6.- Fenómeno de reflexión total o clapotis total.

Las reflexiones múltiples y la ausencia de una suficiente disipación de energía dentro de un puerto con geometría compleja puede resultar un desarrollo gradual de energía a la cual se manifiesta como agitación y sobreelevación del nivel del agua en el puerto. Estas fluctuaciones de la superficie del agua pueden ser la causa de un movimiento excesivo de las embarcaciones ancladas y de algunas instalaciones flotantes, generándose grandes esfuerzos en las líneas de amarre; por eso los muros, revestimientos, etc., localizados dentro del puerto deben disipar la mayor cantidad de energía del oleaje incidente.

Las playas naturales en una bahía son excelentes disipadoras de energía del oleaje y cuando se propongan modificaciones en la bahía mediante la disminución de las playas, aquellas deberán evaluarse muy cuidadosamente empleando el estudio en modelos hidráulicos reducidos antes de efectuar cualquier modificación.

Se puede considerar que cuando la ola encuentra un obstáculo de pared vertical o inclinada, la energía que transporta se divide en la forma siguiente:

- a) Una parte se disipa por turbulencia en el interior de la masa de agua especialmente al romper la ola.
- b) Una parte se disipa por fricción al contacto de la pared en función de la rugosidad de esta.
- c) Una parte se disipa por fricción a través del obstáculo en el caso de que este sea permeable (rompeolas de enrocamiento).
- d) Una parte se transmite a través del obstáculo si este es permeable o bien por la corona en el caso de que se produzca el efecto de rocío de agua.
- e) Finalmente una parte es reflejada por el obstáculo y se propaga en el sentido inverso al de la ola incidente sobreponiéndose a esta. El encuentro de dos olas da a lugar también a pérdidas de fricción interna.

La importancia de la reflexión sobre las obras marítimas y en la estabilidad de playas, ha dado a origen a numerosas investigaciones.

4.1.2.- Criterios de similitud.

En mecánica de fluidos el riguroso tratamiento matemático de los problemas, con base exclusivamente en los métodos analíticos, no siempre permite llegar a la solución completa, a menos que se planteen hipótesis simplificadoras que, además de restar generalidad a la solución, pueden llegar a falsear los resultados a tal grado que no tengan relación alguna con el comportamiento real del fenómeno.

Los modelos hidráulicos han encontrado creciente aplicación para controlar y modificar diseños analíticos de estructuras hidráulicas. Mediante el uso de modelos físicos es posible experimentar a costos relativamente bajos y con economías sustanciales de tiempo, hasta obtener condiciones de similitud óptimas.

Lo anterior no significa en ningún caso que una técnica sustituya a la otra. Sería un error suponer que una serie de resultados y de reglas sencillas obtenidas en la investigación experimental supla un tratamiento racional del mismo, pudiendo ocurrir que dichos resultados tuvieran validez solo en el intervalo de valores para el cual se efectuaron las mediciones.

Es por tal motivo que la investigación es una combinación de trabajos analíticos y experimentales; encaminados los primeros a encontrar los modelos matemáticos sobre la base de principios físicos fundamentales que expresen el comportamiento de los fenómenos, y los segundos, a reproducir dichos fenómenos para verificar su validez.

4.1.2.1.- Tipos de modelos hidráulicos marítimos.

Los modelos marítimos son aquellos que permiten reproducir a escala los fenómenos marítimos. Este tipo de modelos físicos se puede dividir en los cuatro grupos siguientes.

- a) *Modelos de agitación de fondo fijo.* Estos modelos físicos permiten estudiar problemas de agitación en el vaso portuario; para lograrlo se simula el oleaje que llega al puerto pudiéndose obtener resultados cualitativos y cuantitativos.
- b) *Modelos de fondo móvil.* La operación de estos modelos permite estudiar problemas de azolves, formación de playas y la solución más eficiente que se le debe de dar a las bocanas de los puertos. Este tipo de estudios se realizan en tres dimensiones y generalmente se distorsionan las escalas de las líneas. Además se obtienen resultados cualitativos.
- c) *Modelos para comparar condiciones de estabilidad de estructuras diseñadas teóricamente.* Se realizan en canales hidráulicos, empleándose batidores de paleta con filtro, para evitar el reflejo de la ola en el batidor. Se obtienen generalmente resultados cualitativos. El estudio se hace en dos dimensiones.

4.1.2.2.- Modelos de agitación.

Los modelos de agitación, permiten el estudio fundamental de fenómenos de oleaje, como son: refracción, difracción, transmisión de energía a través de rompeolas y otras estructuras en la costa, resonancia, reflexiones dentro del puerto, rompimiento del oleaje, corrientes playeras inducidas por oleaje, sobreelevación de oleaje y transporte de masa.

Específicamente dentro de un puerto, estos modelos pueden ser divididos en dos categorías:

- a) Modelo hidráulico de oscilaciones dentro del puerto (periodos largos) los cuales son aplicables a puertos de gran magnitud (comerciales, petroleros e industriales).
- b) Modelo hidráulico de alturas de ola excesiva para oleajes normales (periodos pequeños) incidiendo en puertos para embarcaciones pequeñas (turísticos y pesqueros) y de alguna importancia para puertos que permitan el acceso a embarcaciones medianas. Hay ciertamente otros tipos de problemas hidráulicos en los puertos, tales como intercambio de agua por marea, efectos de Tsunamis que son tratados bajo las mismas leyes de similitud de oleajes de largos periodos.

En general, para las categorías del modelo mencionado, la condición de similitud a cumplir es la de refracción, difracción, reflexión y sobreelevación de oleaje.

4.2.- ESTUDIO ESTADÍSTICO DE OLAJE.

Debido a que el viento es una variable aleatoria en su intensidad y dirección, las olas que genera varían en altura, longitud y dirección de propagación. La práctica común en el diseño de estructuras costeras, ha sido la de seleccionar la altura de ola que potencialmente cause mas daño.

Para una ola que no rompe, casi siempre se supone que la ola de diseño, será la ola que más grande se espera que alcance a las estructuras, en un intervalo de recurrencia específica de 50 a 100 años. Para una ola que rompe, en general se supone que la ola de diseño será la más grande que romperá directamente contra las estructuras. Por lo tanto, se deben hacer análisis estadísticos en el sitio para determinar cual será la ola de diseño.

4.2.1.- Análisis de datos de oleaje.

En relación con el oleaje, la determinación de sus características a largo plazo requiere realizar mediciones extensas y cuidadosas de direcciones, longitudes, alturas y periodos de olas a lo largo de varios años, para que la información obtenida sea confiable y los recursos invertidos proporcionen resultados suficientes para poder llevar a cabo predicciones a futuro con un grado aceptable de seguridad. Estas mediciones serian objeto de una labor larga, continua y costosa, motivo por el cual se efectuara un análisis de las fuentes estadísticas de oleaje.

Para poder determinar la energía del oleaje se procedió al análisis y extrapolación por medio de técnicas existentes y disponibles para el sitio donde se efectúan los estudios. Esto debido a la imposibilidad de obtener información de oleaje incidente sobre el sitio de estudio, ya que la información con la que se cuenta es escasa y no es confiable para determinar un análisis real de oleaje por estadística, en el sitio de estudio.

4.2.2.- Oleaje extremal.

La costa de California de los Estados Unidos de Norte América, por su importancia económica, política y a su relativa susceptibilidad al ataque del oleaje ocasionado por las grandes tormentas que se generan en esa zona, tiene quizá la más grande concentración de estaciones de medición de oleaje que cualquier otra área del mundo.

Por lo anterior, durante la gran tormenta de Enero de 1988 fue posible llevar un seguimiento en su desarrollo y movimiento hacia la costa de California. Por encontrarse Ensenada, tan solo a 100 Km de la frontera con los Estados Unidos, esta información es de gran utilidad para el análisis de oleaje extraordinario y sus efectos sobre el rompeolas de Ensenada.

Cabe aclarar que en el litoral mexicano en la zona de Ensenada, no se tenía operando equipo de medición de oleaje durante la tormenta de Enero de 1988. De acuerdo con el reporte efectuado por Richard Seymour, se muestra la tabla (I), resultante de los cálculos realizados por Walker y Moffat-Nicholl para determinar el periodo de retorno de las alturas registradas durante la tormenta de 1988, así como para varias alturas de ola de tormenta reportadas en el periodo de 1900-1993. En dicha tabla muestra que la tormenta de 1988 podría tener un periodo de retorno aproximado de 250 años.

PERIODO DE RETORNO Tr (AÑOS)	ALTURA SIGNIFICANTE DE OLA (WALKER 1984)	ALTURAS SIGNIFICANTES DE OLA (MOFFAT Y NICHOLL 1988)
5	16.0 ft (4.88 mts)	15.5 ft (4.72 mts)
10	18.5 ft (5.64 mts)	18.7 ft (5.70 mts)
25	22.0 ft (6.70 mts)	21.2 ft (6.46 mts)
50	24.6 ft (7.50 mts)	24.6 ft (7.50 mts)
75	26.1 ft (7.95 mts)	25.5 ft (7.77 mts)
100	27.2 ft (8.29 mts)	27.9 ft (8.50 mts)
150	30.0 ft (9.14 mts)	29.9 ft (9.11 mts)
200	31.5 ft (9.60 mts)	30.9 ft (9.42 mts)
250	33.4 ft (10.18 mts) *	33.4 ft (10.18 mts) *

* Tormenta de 1988.

Tabla I.- Periodos de altura ciclónica para la costa sur de California, U.S.A.

4.2.3.- Oleaje incidente.

Como los datos de altura de la ola ciclónica indicados en la tabla (I), se refieren a las olas generadas por temporales en mar abierto, fue necesario realizar una propagación del oleaje hacia la Bahía de Todos Santos, donde se encuentra el Puerto de Ensenada, para determinar las características del oleaje que podría incidir sobre el rompeolas.

Dicha propagación se realizó por medio de un análisis de refracción de oleaje (ver plano en el anexo), considerando las direcciones que podrán incidir sobre el puerto, que de acuerdo con su posición geográfica, se considero la dirección Norte - oeste.

Sin embargo, es determinante que un grupo de olas de altura media que chocan en sucesión contra una estructura pueden hacer mas daño que una ola aislada muy grande; y una sucesión irregular de oleaje puede ocasionar mas daños a una estructura que una sucesión regular. Por lo tanto, los datos de oleaje se determinaran por medio de extrapolación de datos estadísticos, que como fuente de resultados estadísticos los es la costa de California, U.S.A.

4.2.4.- Fuentes estadísticas de oleaje ordinario.

Existe una fuente estadística de oleaje ordinario, el cual es reportado por las embarcaciones mercantes británicas que navegan por todo el mundo, estas fuentes se denominan "Ocean Waves Statistics" (resumen anual para todas las direcciones) zona 14 y el "Sea and Swell". Las alturas de oleaje significativa en aguas profundas reportadas para cada dirección son respectivamente pequeñas comparadas con los reportes de oleaje extremal (Tabla I).

Sobre la base de estadísticas de las fuentes anteriores y elaborando un resumen anual de altura de ola significativa (H_s) para la condición de oleaje distante, se llegó a los siguientes resultados:

DIRECCIÓN	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (Hs)*	TIEMPO DE ACCIÓN DE OLEAJE LOCAL	TIEMPO DE ACCIÓN DE OLEAJE DISTANTE
Norte	1.57	324.50	23.90
Noreste	0.00	0.00	0.00
Este	0.00	0.00	0.00
Sureste	0.00	0.00	0.00
Sur	0.00	0.00	0.00
Suroeste	0.00	0.00	0.00
Oeste	2.78	723.10	915.60
Noroeste	3.12	2188.45	1881.15

* Hs está dado en metros.

Tabla II.- Alturas de ola significativa según el "Ocean Waves Statistics" zona 14 y el "Sea and Swell".

De acuerdo a la tabla anterior (Tabla II), se tomaría como altura de ola significativa una ola de 3.12 mts. en aguas profundas; esto para definir las características del oleaje incidente sobre el rompeolas y posteriormente al deflector de oleaje, tanto de estabilidad como en orientación y desarrollo. La altura de ola significativa anterior, la cual transportada hacia la costa por efecto refractivo nos puede inducir alturas de diseño de 2.50 mts, las cuales definitivamente no son confiables debido al embate del oleaje sobre el rompeolas de Ensenada, el cual es común que exceda las alturas dadas por la citada fuente.

4.2.5.- Alturas de ola significativa de acuerdo a la velocidad, viento, duración y Fetch.

Para definir las características del arribo del oleaje a la zona de interés se selecciono el frente inicial de oleaje en el límite de aguas profundas con una dirección Oeste Noroeste, esto dado por el "Ocean Waves Statistics" (resumen anual en todas las direcciones) zona 14 y el "Sea and Swell".

Anteriormente (Tabla II) se indican los tiempos de acción por dirección siendo el frente WNW con el 67.3% anual de oleaje local y el 66.70% anual para tiempo de oleaje distante; estos tiempos de acción de oleaje son obtenidos de estudios estadísticos efectuados anualmente. El periodo de oleaje seleccionado para elaborar el plano de oleaje es de 7.0 seg., pues su porcentaje de acción anual para la dirección de estudio (WNW) según las fuentes estadísticas antes indicadas es de 66.3% anual, para 8.0 seg. es de 5.67% anual y para las otras direcciones es prácticamente nulo.

Insistiendo sobre la definición de la altura de diseño se concluye que las estadísticas analizadas solo dan información confiable en cuanto a dirección de aproximación del oleaje y el periodo; mas no así, a la información correspondiente a la altura de ola significativa. Bajo la condición anterior, **se tomo el criterio de definir la altura de oleaje significativa en aguas profundas de acuerdo a la velocidad del viento, su duración y de la máxima distancia sobre la cual el viento puede actuar sin perturbaciones geográficas, a lo cual se define como Fetch.**

De acuerdo a la consideración anterior, se presenta la siguiente tabla que muestra las características del oleaje en aguas profundas para diferentes velocidades de viento. Según la referencia R.C. Minikin "Winds, waves and maritime structures. Studies in harbor making and in protection of coasts".

VELOCIDAD DEL VIENTO (KM/HR)	ALTURA DE OLA (MTS)	LONGITUD DE OLA (MTS)	PERIODO DE LA OLA (SEG)
43	5.30	80.00	7.20
56	6.60	123.00	8.90
68	7.90	175.00	10.60
80	9.40	248.00	12.60
95	11.40	360.00	15.20
109	13.70	525.00	18.30

Tabla III.- Alturas de ola significativa según la velocidad del viento.

Si tomamos, de acuerdo a las estadísticas de oleaje presentadas anteriormente (Tabla III), para un periodo de 7.0 seg. tendremos una **altura significativa (Hs) en aguas profundas de 5.30 mts**, la cual afectada por su coeficiente de refracción (Kr) y su Shoaling (Ks), el cual se denomina como coeficiente de fondo y determina lo siguiente:

$$H_d = H_s K_r K_s$$

Lo cual nos arroja como resultado una altura de ola significativa promedio o altura de diseño (Hd). Tal altura se usa para definir la estabilidad de las estructuras, pues se considera por experiencia con diseño de obras similares que es la adecuada.

4.3.- NIVELES DE MAR.

Para este estudio fue necesario tomar en cuenta además del oleaje ciclónico, las características de la marea astronómica y la marea de tormenta.

4.3.1.-Marea astronómica.

La marea astronómica para el puerto de Ensenada, se determino de los datos proporcionados por el Servicio Mareografico Nacional, del cual se obtuvieron los planos de marea que se muestran en la siguiente tabla:

Pleamar máxima registrada	1.487 mts
Nivel de pleamar media superior	0.781 mts
Nivel de pleamar media	0.577 mts
Nivel medio del mar	0.00 mts
Nivel de media marea	0.003 mts
Nivel de bajamar media	- 0.572 mts
Nivel de bajamar media inferior	- 0.822 mts
Bajamar mínima registrada	- 1.409 mts
Altura mínima registrada	- 2.902 mts

tabla IV.- Niveles de marea en el Puerto de Ensenada, B.C.

4.3.2.- Marea de tormenta.

La altura de tormenta se tomo del estudio realizado en 1987 para el puerto de Ensenada, la cual fue de +3.00 mts referida la Nivel de Bajamar Media Inferior, de acuerdo con observaciones realizadas en el sitio. La marea de tormenta es determinante para realizar el presente proyecto debido al método de extrapolación de datos y someter el calculo a datos de un oleaje extremal.

4.4.- LOCALIZACIÓN DE LOS EJES DE REFERENCIA.

Tanto en aguas profundas como en aguas superficiales, se considero un sistema de ejes ortogonales cuyo origen se localiza a los 31°52'21" Latitud Norte y 116°37'01" Longitud Oeste (obtenido del portulano No. OSM 630) para todos los casos estudiados. El eje de las coordenadas crece hacia el sur y el de las abscisas hacia el Oeste.

4.5.- BATIMETRÍA.

La batimetría en la parte marina se obtuvo por el método de posicionar una embarcación utilizando para ello dos tránsitos en tierra, en puntos conocidos (Auxiliar P3 y Auxiliar P4) de la poligonal del recinto portuario y efectuando secciones a cada 50 mts. perpendiculares a la poligonal (costa), a una distancia mar adentro de 1.0 Km, y tomando lecturas de profundidad a cada 45 seg. aproximadamente con velocidad de la embarcación de 8 a 10 km/hr.

La profundidad registrada a bordo de la embarcación se corrigió, por marea, para poder dibujarla en planos, siendo necesario hacer mediciones de los niveles de mar a cada 5 min. hasta el final del sondeo, así como una corrección debida a la profundidad del transductor que en este caso siempre se manejo de 30.48 cm (1 pie).

La corrección por marea consiste en sumar o restar la altura de la marea con respecto al plano o nivel de referencia que en este caso corresponde al nivel de bajamar medio inferior (NBMI).

Para obtener las alturas de marea que sirvieron como parámetro de corrección de batimetría se usaron registros de marea levantados en el Banco de Nivel del Mareógrafo, referidas al NBMI y que corresponden al día del levantamiento batimétrico.

La información obtenida en campo, es decir: profundidades medidas, ángulos de las estaciones de referencia y niveles de marea al inicio y al final del trabajo de batimetría, fue procesada obteniendo las profundidades ya referidas al NBMI.

La configuración de fondo comprendida entre la zona de rompiente y la playa se obtuvo del seccionamiento transversal de la poligonal playera. Cabe hacer notar que el puerto de Ensenada cuenta con su propio sistema de coordenadas de referencia, por tanto diferente al sistema de coordenadas UTM, referido este mundialmente.

El equipo utilizado para realizar los levantamientos fue:

1. Dos tránsitos con aproximación de 30 seg.
2. Una ecosonda marca Raytheon modelo 719-B con registro de papel térmico con rango de medición de 0.0 mts. hasta 125 mts.
 - Frecuencia de sondeo. 534/min.
 - Voltaje de entrada. 12 Volts DC.
 - Corriente de entrada. 2.5 amperes.
 - Precisión. + 0.5% hasta + 1% de la profundidad indicada.
 - Frecuencia de operación. 208 Hz.
 - Transductor. Hecho de material como Tinatío y bario.
 - Velocidad del papel. 1,2,3, y 4 pulgadas/min., 7 pulgadas de ancho por 60 pies de largo.

Este aparato mide la profundidad del agua, calculando el intervalo requerido por las ondas del sonido para viajar a la velocidad conocida entre el punto emisor-receptor (transductor) y el fondo reflejante.

3. Una embarcación del tipo pesquera de 18 pies de eslora con un motor de 55 Hp fuera de borda.

4.6.- CONDICIONES INICIALES DE OLEAJE.

Las condiciones iniciales de oleaje para poder efectuar un calculo de refracción esta dado sobre la base de la teoría del oleaje, bajo la cual se determinaran los factores de la profundidad relativa d/L para efectos de dicho calculo.

4.6.1.- Propiedades básicas de las olas.

Las propiedades fundamentales de las olas varían generalmente con cuatro parámetros, los cuales son la altura de ola, el periodo de la ola, la longitud de la ola y la profundidad del agua, cuyos parámetros respectivos se muestran en el croquis (Fig. 7).

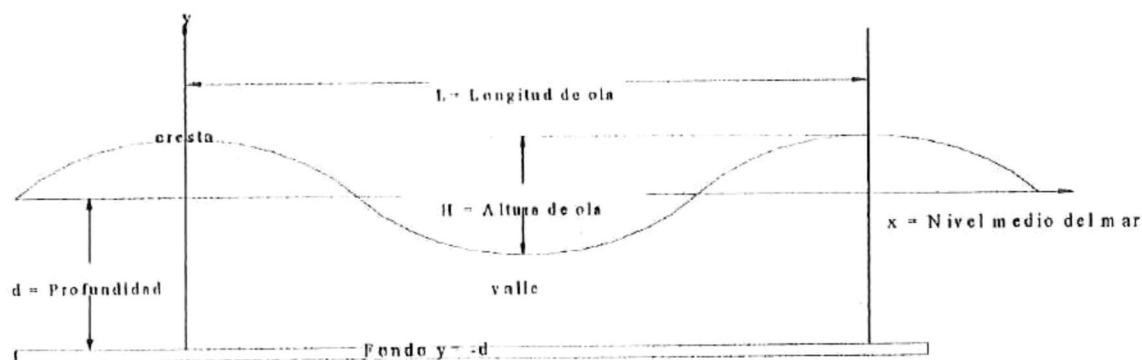


FIGURA 7.- Variables que intervienen en una onda progresiva

Siendo L , la longitud de la ola, identificada como la distancia entre dos crestas consecutivas; T , el periodo de la ola, definido como el intervalo de tiempo entre el paso de dos crestas consecutivas por un punto fijo; H , la altura de la ola que no es mas que la diferencia entre el punto mas alto y más bajo de una onda; d , que es la profundidad del agua, medida del nivel de aguas medias del fondo.

4.6.2- Fundamentos de la teoría del oleaje.

La teoría del oleaje se define como el conjunto de conceptos fisicos y expresiones matemáticas que rigen el comportamiento de las olas proporcionando con estas las características del fenómeno.

Se presentan dos teorías, las cuales son:

- la teoría lineal.
- Teoría Cnoidal.

Las olas de amplitud finita con una forma permanente de propagación en aguas bajas están mejor descritas por la teoría Cnoidal que por la teoría lineal. El hecho de que virtualmente todas las estructuras marítimas se construyen en aguas bajas o intermedias, es debido a que es en esta zona donde las olas sufren considerables cambios debido al efecto de refracción.

Las diferentes zonas de estudio de la teoría del oleaje, se definen a partir de los valores de la profundidad relativa, y se definen como:

$$d / L \geq 1 / 2 \quad \text{Zona de aguas profundas.} \quad (4.6.2.1)$$

$$d / L < 1 / 2 \quad \text{Zona de aguas superficiales o bajas.} \quad (4.6.2.2)$$

Suposiciones de partida para el desarrollo de la teoría del oleaje.

- a) El fluido es homogéneo e incomprensible.
- b) Se desprecia la tensión superficial.
- c) Se desprecia el efecto de coriolis.
- d) La presión en la superficie es uniforme y constante.
- e) El fluido no es viscoso.
- f) El fondo es horizontal, fijo e impermeable; lo cual implica que la velocidad vertical en el fondo sea cero.
- g) La amplitud de la ola es pequeña y la forma de la ola es invariante en el tiempo y el espacio.
- h) No existe interacción entre la ola y cualquier otro movimiento del agua.
- i) La forma de la ola es senoidal, con la cresta y valle iguales con referencia al nivel de aguas tranquilas (Fig. 7).

4.6.3.- La longitud de la ola.

La longitud de una onda puede expresarse en función del período T y la profundidad d como sigue:

$$L = g T^2 / 2\pi (\tanh 2\pi d/L) \quad (4.6.3.1.)$$

Donde:

L = Longitud de la ola (mts).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg^2).

T = Periodo de la ola (seg).

d = Profundidad del agua (mts).

$\tanh$ = Tangente hiperbólica.

Si observamos de la ecuación (4.6.3.1.), encontramos que es imposible obtener de esa ecuación la longitud de una onda, y que L esta en el primer y segundo miembro de la ecuación, por lo tanto una solución directa es imposible. Un sistema de solución podría ser de método iterativo. De hecho, la mayor parte de la iteraciones podrían eventualmente conducir a una respuesta correcta ya que la ecuación tiene solamente una solución dada por los valores de T y H .

La solución anterior es demasiado laboriosa, por esta razón, se desarrollo una alternativa en forma de una serie de tablas haciendo el siguiente análisis:

1. Cuando la profundidad de agua es muy grande, se tiene por lo tanto:

$$L_o = gT^2 / 2\pi \quad (4.6.3.2.)$$

En donde el subíndice "o" indica el parámetro perteneciente a olas de aguas profundas.

Sustituyendo la ecuación (4.6.3.2.) en la ecuación (4.6.3.1.) se tiene que:

$$L_o = L_o \cdot \tanh 2\pi d / L \quad (4.6.3.3.)$$

2. Aplicando álgebra se tiene que:

$$d / L_o = d / L \cdot \tanh 2\pi d / L \quad (4.6.3.4.)$$

En la cual d / L_o ha sido expresado convenientemente en términos de d / L . Así, para varios valores seleccionados de d / L , pueden calcularse directamente y ser tabulados con las tablas de funciones de d / L para incrementos de d / L_o . Las tablas de incrementos (C-1) se encuentran publicadas en el tomo Shore protection Manual, Vol. III, 1984 (Anexo).

4.6.4.- Determinación de la profundidad relativa.

Desprendiendo de la expresión;

$$L_o = gT^2 / 2\pi \quad (4.6.4.1.)$$

La cual marca L_o como la longitud de ola en aguas profundas y sustituyendo valores en (4.6.3.2.) ,de estudios estadísticos realizados anteriormente (T = periodo de oleaje = 7.0 seg.), obtenemos:

$$L_o = (9.81 \text{ m/seg}^2) (7.0)^2 / 2\pi$$

$$L_o = 76.50 \text{ mts}$$

Luego, se procede a marcar la relación profundidad - longitud de la ola en aguas profundas, la cual nos marca según la teoría del oleaje el siguiente parámetro, como limite de aguas profundas y limite de aguas superficiales.

$$d / L \geq 0.5$$

De la relación anterior (4.6.2.1.), y para una Longitud de ola en aguas profundas de 76.50 mts., se determina la profundidad del mar entre el limite de aguas profundas y el limite de aguas superficiales.

$$d = 0.5 (76.50 \text{ mts.}) = 38.25 \text{ mts.}$$

El resultado anterior corresponde a la profundidad en la cual la onda Cnoidal (ola) pasa de aguas profundas a las aguas superficiales.

4.7.- CALCULO DE REFRACCIÓN.

La velocidad de propagación de una ola progresiva para un periodo determinado, esta en función de la profundidad relativa d/L . Conforme la profundidad disminuye, el fondo empieza a afectar el movimiento de las partículas de agua induciéndoles un efecto de fricción que provoca una reducción en la velocidad de las mismas y por ende en la velocidad de propagación y en la longitud de la ola.

El efecto de estos cambios en la velocidad de la ola, significa que cuando un tren de olas de un periodo determinado entra en aguas intermedias y bajas, las distintas partes de la cresta se desplazan con diferentes velocidades de acuerdo con la profundidad, provocando que los frentes de ola cambien de dirección, de tal forma que traten de seguir la configuración de la batimetría sobre la que se esta propagando.

La importancia de la refracción de oleaje estriba en el hecho de que virtualmente todas las estructuras marítimas se construyen en aguas bajas e intermedias, donde las olas sufren considerables cambios debidos al efecto de refracción. Estos efectos deben investigarse ya que el cambio en el patrón del oleaje puede causar un efecto de concentración de energía de forma tal que unas zonas de la costa pueden estar sometidas a condiciones más severas de oleaje que otras.

Los patrones de oleaje incidentes en una región determinada de la costa, son conocidos normalmente mediante fotografía aérea o con la construcción de los diagramas de refracción, a través de los cuales es posible obtener ángulos de incidencia del oleaje sobre la playa y coeficientes de refracción, los cuales aunados a otros métodos analíticos, permiten conocer las características del oleaje en un punto determinado, para conocer sus efectos sobre las estructuras de la costa misma.

Existen dos métodos para el estudio de la refracción: numérico y gráfico. Estos métodos están basados en el principio que en óptica se conoce como la ley de Snell. La utilización de técnicas analíticas, como son los métodos numéricos para la refracción de oleaje, no sustituye la necesidad del estudio en modelos hidráulicos reducidos. Sin embargo, forman una base útil para tales estudios ya que sirven para definir mas aproximadamente la extensión de los estudios requeridos en el modelo y por lo tanto puede reducir apreciablemente el costo de un estudio en modelo.

El presente estudio se efectuara por el método gráfico, el cual consiste en la técnica del frente de olas a partir de una batimetría. Este método será determinado mas adelante.

Suposiciones de partida:

- La energía entre los rayos u ortogonal permanece constante (las ortogonales son líneas que se dibujan perpendicularmente a las crestas y se prolongan en la misma dirección de la ola).
- La dirección del avance de la ola es perpendicular a la cresta de la misma.
- La velocidad de una ola en un punto en particular con un periodo determinado, depende únicamente de la profundidad de ese punto.
- Los cambios de la batimetría son graduales.
- La forma de la ola es senoidal, periodo constante pequeña amplitud.
- Los efectos debidos a las corrientes, vientos y reflexiones de las playas se desprecian.

4.7.1.- Método del frente de olas.

Para la construcción gráfica de los diagramas de refracción, existe el método de frente de olas. Este método, es esencialmente un plano que muestra las crestas de las olas en un tiempo dado, o las posiciones sucesivas de una cresta en particular mientras se mueve hacia la costa.

Un segundo conjunto de líneas siempre perpendicular a las crestas se construye en el plano; estas líneas se conocen como ortogonales.

En aguas profundas, el movimiento de las crestas de las olas es paralelo, mientras que en aguas superficiales, la reducción en la velocidad produce que la cresta se doble en la dirección en la que disminuye el ángulo entre la cresta y la batimetría correspondiente.

Generalmente es posible comenzar la construcción de los diagramas de refracción desde frentes de olas rectos en una profundidad igual a la mitad de la longitud de la ola en aguas profundas.

La forma inicial de la ola es una línea recta en la zona de aguas profundas. La construcción gráfica de un diagrama de refracción se ejecuta moviendo cada punto de la cresta en una dirección perpendicular a la misma.

Es necesario contar con:

- Batimetría del lugar.
- Direcciones y periodos del oleaje en el lugar.
- Regleta para trazar diagramas de refracción.

4.7.2.- Construcción de la regleta para trazar diagramas de refracción.

El método de los frentes de olas se apoya en la construcción de una regleta la cual relaciona los avances de los frentes de las olas a distintas profundidades ligadas a través de la relación d/L .

La escala para construir la regleta será determinada de tal forma que del avance de la cresta para cualquier valor de d/L_0 , en un plano de cualquier escala; este avance corresponde a nL , en donde, n indica el número de longitudes de ola que se repiten entre cada frente dibujado, el cual depende de la escala del plano y de la complejidad de la batimetría.

Debe tomarse en consideración, que el avance nL no resulte ser muy grande o muy pequeño, pues en el primer caso la influencia del fondo no es distinguible y en el segundo, se hace difícil el dibujo ya que el valor de n se puede conocer de la siguiente relación:

$$n = 0.0163 \ S / T^2 \quad (4.7.2.1.)$$

Donde:

S = Escala del plano.

T = Periodo de la ola (seg.)

Para el análisis realizado, se aplica el periodo. Anteriormente obtenido sobre la base de análisis estadísticos de oleaje. Y la escala a la cual se dibujara que es 1:2000. Posteriormente se aplica sobre la ecuación (4.7.2.1.):

$$n = 0.0163 (2000) / (7.0)^2$$

$$n = 0.665$$

Determinada la longitud de aguas profundas, obtenemos la relación:

$$nLo = (0.665) (76.50 \text{ mts}) = 50.872 \text{ mts.}$$

Para lo cual, determinar el avance de ola para aguas profundas en la regleta, es aplicado al plano, este a una escala 1:2000. Determinando así, lo siguiente:

$$nLo = (50.872 \text{ mts}) / (2000) = 0.025 \text{ mts} = 2.50 \text{ cm.}$$

Entonces, se determina la longitud de ola en aguas profundas aplicada sobre el plano a escala:

$$Lo = (2.50 \text{ cm}) / (0.665) = 4.0 \text{ cm.}$$

En la practica común, el tamaño del cateto menor de la regleta nL es del orden de los 2.5 a 5 cm. y el cateto mayor de 15 a 20 cm.; dimensiones tales que permitan manipularla fácilmente y ejecutar lecturas sin dificultad.

El cateto mayor contiene toda la variación de la relación d / Lo ; desde la zona de aguas bajas hasta el límite de aguas profundas, es decir, desde 0 hasta 0.5. La variación de incrementos (C-1) se encuentran publicadas en el tomo Shore protection Manual Vol. III, 1984 (Anexo). Lo cual es cierto para cualquier escala del plano. El valor de nL máximo corresponde para el límite de aguas profundas y por esto se denomina nLo .

Para la colocación de los valores de d / Lo en la regleta se prosigue como se indica. Se tabulen diferentes valores de d / Lo desde 0.5 a 0 y se obtienen los correspondientes valores de $\tan h \ 2\pi d / L$. Los cuales se multiplicaran por la longitud del cateto mayor determinando así, la distancia a partir del origen a la que debe localizarse un determinado valor de d / Lo .

d / Lo	d	$\tan h \ 2\pi d / L$	X
0.5	38.25	0.9963	15.00
0.4	30.60	0.9877	14.87
0.3	22.95	0.9611	14.47
0.2	15.30	0.8884	13.37
0.1960	15	0.8839	13.30
0.1830	14	0.8680	13.06
0.1699	13	0.8501	12.79
0.1568	12	0.8301	12.49
0.1437	11	0.8076	12.15
0.1307	10	0.7824	11.77
0.1176	9	0.7543	11.35
0.1045	8	0.7226	10.87
0.0915	7	0.6868	10.34
0.0784	6	0.6427	9.67
0.0653	5	0.5954	8.96
0.0522	4	0.5403	8.13
0.0392	3	0.4747	7.14
0.0261	2	0.3932	5.91
0.0130	1	0.2820	4.24

Tabla V.- Construcción de la regleta para trazar diagramas de refracción.

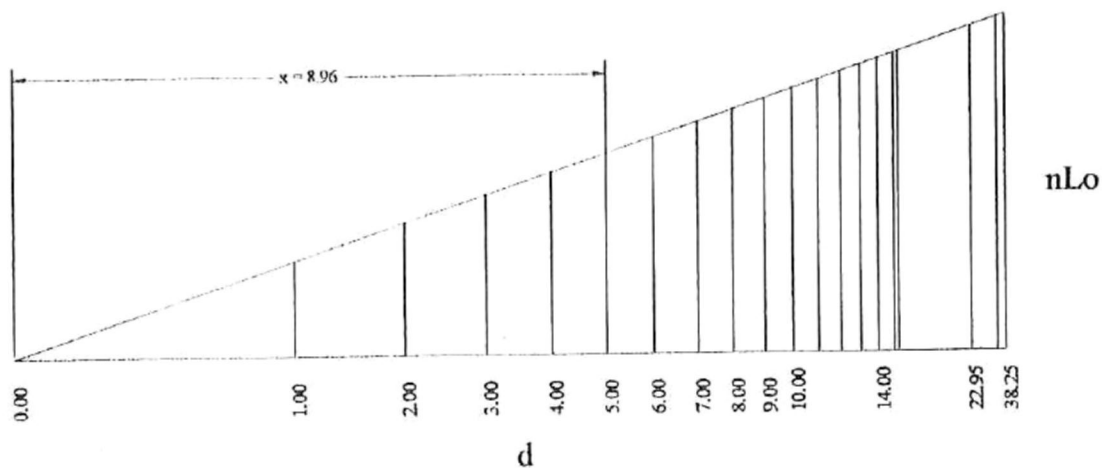


FIGURA 8.- Regleta para trazar diagramas de refracción.

4.7.3.- Procedimiento constructivo de un plano por el método de frente de olas.

Pasos a seguir:

1. Determinar el límite de aguas profundas $d / L_o = 0.5$.
2. Determinar las relaciones d / L_o , para facilitar el trazo del diagrama y anotarla con la batimetría.
3. Trazar el frente de ola en el límite de aguas profundas o detrás de este en la dirección a estudiar, con el avance determinado en la regleta hasta encontrar el límite de aguas profundas.
4. Dividir el frente de ola en el límite de aguas profundas en segmentos de tamaño bo .

5. Colocar la regleta (Fig. 8) por el lado de los valores de d / L_o haciéndolo coincidir tangencialmente con el último frente de ola.
6. Se hace coincidir a la batimetría más cercana con su correspondiente valor de d / L_o , en la línea punteada de la regleta. Determinando el avance correspondiente sobre la hipotenusa de la regleta.
7. Deslizar la regleta sobre el mismo frente de ola hasta interceptar nuevamente la misma batimetría del punto anterior o una inmediata para determinar otro avance.
8. Se repite la operación las veces que sea necesario y mediante la unión de los puntos marcados, obtener el nuevo frente de ola.
9. A partir de las divisiones que tiene el frente en el límite de aguas profundas, se trazan ortogonales en esos puntos, se prolongan hasta la mitad de la distancia entre cada frente.
10. Se unen con una línea recta el punto sobre el cual se obtuvo el avance con el extremo de la ortogonal anterior y se prolonga hasta la mitad de la distancia entre este frente y el que se acaba de definir.

Se repite todo el proceso hasta encontrar la última batimetría.

4.7.4.- Cálculo del coeficiente de refracción (K_r).

El coeficiente de refracción (K_r) es reflejado en el plano de frente de oleaje como:

$$K_r^2 = b_o / b \quad (4.7.4.1.)$$

Donde:

b_0 = Ancho del canal en aguas profundas.

b = Ancho del canal en la zona de rompiente.

Para efectos de determinar el coeficiente de refracción en el área de estudio, Se determino en tomar los canales de energía u ortogonales 12 y 13 del plano de frentes de ola. Marcando los siguientes resultados:

$$K_{r13} = 0.729$$

$$K_{r14} = 0.752$$

Por lo tanto, para fines de resultados de este proyecto, se determino un coeficiente de refracción promedio entre los dos canales de energía, dando como resultado:

$$K_r = 0.740$$

4.8.-DETERMINACION DE LA OLA DE DISEÑO.

4.8.1.- Altura a la cual rompen las olas.

Para cualquier profundidad y periodo, existe un limite superior para la altura de la ola, la cual permanece estable para esas condiciones; esta altura a la cual la ola rompe es de especial valor para el establecimiento del criterio de diseño en un determinado lugar.

Sobre la base de recomendaciones teóricas, se determino que la relación de esbeltez limite para el rompimiento de las olas de aguas profundas esta determinado por la siguiente expresión

$$H_o / L_o = 0.142 = 1/7$$

Donde:

H_o = Altura de la ola en aguas profundas.

L_o = Longitud de ola en aguas profundas.

Esto ocurre cuando el ángulo en la cresta de la ola es de 120° (Fig. 9);

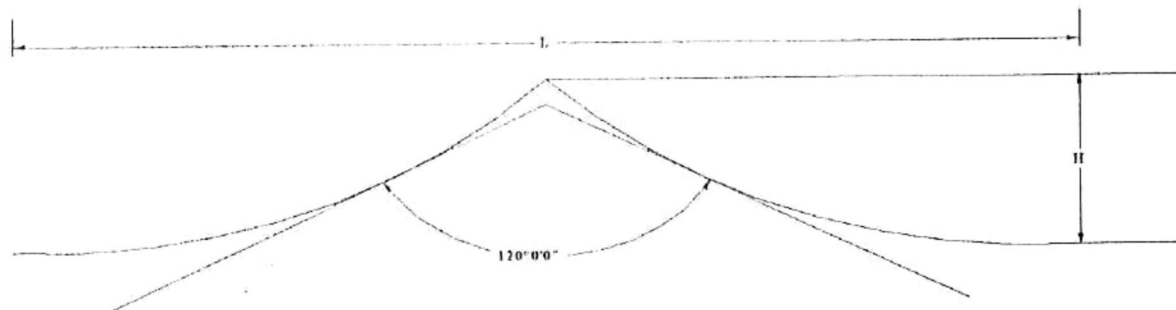


FIGURA 9.- Relación de esbeltez límite para aguas profundas.

Cuando una ola se mueve en aguas bajas, la relación de esbeltez límite que puede alcanzar disminuye, siendo función tanto de la profundidad relativa como de la pendiente de la playa m , perpendicular a la dirección del avance de la ola.

Una ola con características en aguas profundas conocidas se moverá hacia la costa hasta que la profundidad del agua se hace suficientemente pequeña para que se produzca la ruptura, esta profundidad generalmente se denota como d_b y se denomina como profundidad de rompiente.

Se han derivado de la teoría del oleaje unas expresiones que relaciona la altura de la ola en la rompiente H_b , la profundidad de la rompiente d_b , la altura de la ola en aguas profundas no refractada H_o' y la longitud de la ola en aguas profundas.

$$Kr = [(b_o / b)^{1/2}] = [H_o' / H_d] \quad (4.8.1.1.)$$

De acuerdo a lo anterior (4.8.1.1.), y aplicando álgebra se obtiene que;

$$H_o' = H_d * K_r \quad (4.8.1.2.)$$

Y aplicando los valores de las constantes anteriormente calculados (4.8.1.2.);

$$H_o' = (5.30 \text{ mts}) (0.74) = 3.922 \text{ mts}$$

Para obtener el índice de la altura de la ola en la rompiente contra la esbeltez de la ola en aguas profundas, se determina el siguiente valor para la relación de;

$$H_o' / L_o = (3.922 / 76.50) = 0.051$$

Utilizando la tabla 1.66 del manual de obras marítimas Vol. I. (anexo), entrando con $H_o'/L_o = 0.051$ e intersectando con la curva para una pendiente de 1:20, la cual es tomada conforme al plano de batimetría y refracción del sitio de estudio. Resulta;

$$H_b / H_o' = 1.15$$

Por lo tanto

$$H_b = (1.15) (3.922) = 4.50 \text{ mts.}$$

La altura a la cual rompe la ola de diseño es de 4.50 mts.

El análisis experimental de datos de oleaje demuestra que la relación entre la profundidad de rompiente d_b y la altura de la ola de rompiente H_b es más compleja que la ecuación utilizada comúnmente, la cual es:

$$d_b = 1.3H_b$$

Consecuentemente, la expresión marcada anteriormente no se recomienda para propósitos de diseño, pero si para determinar condiciones de oleaje iniciales.

Para determinar la profundidad a la cual la ola rompe (d_b), se obtiene de tabular el siguiente valor:

$$H_b g T^2 = [4.50 / (9.81)(7)^2] = 0.0094$$

Y entrando en la tabla 1.67 del Manual de obras marítimas Vol. I (anexo), para obtener el valor de d_b/H_b , con una pendiente de la playa $m=1:20$, se tiene que;

$$d_b / H_b = 1.12$$

Por tanto,

$$d_b = 1.12 (4.50 \text{ mts}) = 5.00 \text{ mts.}$$

- La profundidad a la cual rompe una ola de diseño de 5.00 mts.
- Referida la profundidad al sitio de estudio el cual es el rompeolas, desplantado a una profundidad de -9.00 referido al N.B.M.I. y de presentarse una marea de tormenta de +3.00 referida al N.B.M.I.; se obtiene que la ola rompe a la cota - 2.00 mts., referida al Nivel de Bajamar Medio Inferior.

Es un factor muy importante, tomar en cuenta la altura de la marea ya que una marea de tormenta puede ser determinante para que se ocasionen daños tanto en estructura como los efectos de overtopping mencionados anteriormente.

4.8.2.- Cálculo del coeficiente de fondo (K_s).

El coeficiente de fondo es definido como la altura de una onda en el agua, a cualquier profundidad y altura en aguas profundas.

Este factor se genera de los efectos de refracción, de fricción y de percolación de las partículas del agua en su trayectoria de aguas profundas a aguas superficiales.

Esta definición procede del principio de que la ola viaja desde una gran profundidad de aguas profundas, después a una profundidad de transición hasta llegar a la zona de aguas bajas. El coeficiente de fondo (K_s) se determina con la siguiente ecuación;

$$K_s = H/H_o' \quad K_s = H/H_o' \quad (4.8.2.1.)$$

Donde:

H .- Altura de la ola en el nivel diseño (en este caso la altura de rompiente).

H_o' .- Altura de la ola en aguas profundas no refractada.

Sustituyendo valores (4.8.2.1.);

$$K_s = (4.50)/(3.922) = 1.15$$

4.8.3.- Altura de la ola de diseño.

A partir de la formula de la obtención de la ola de diseño, se define la siguiente expresión marcada anteriormente en objetivos anteriores;

$$H_d = H_s K_r K_s \quad (4.8.3.1.)$$

Para obtener la altura de la ola de diseño, se obtiene sustituyendo valores (4.8.3.1.);

$$H_d = (5.30) (0.74) (1.15)$$

El resultado obtenido para efectos de proyecto, de la altura de la ola de diseño es;

$$H_d = 4.50 \text{ mts.}$$

Donde se debe cumplir con la siguiente propiedad;

$$H_d \geq H_b$$

Para obtener la altura de la ola referenciada sobre el nivel del agua, en este caso de +3.00 mts referido al N.B.M.I., que corresponde a una marea de tormenta.

$$H_c = 0.78 H_b \quad (4.8.3.2.)$$

Sustituyendo valores (4.8.3.2.);

$$H_c = 0.78(4.50) = 3.50 \text{ mts.}$$

Que corresponden a +3.50 mts sobre el nivel de referencia.

El rompeolas del puerto de Ensenada, esta diseñado para soportar el embate del oleaje con altura de diseño de 4.50 mts. El siguiente esquema (Fig. 10) muestra las propiedades obtenidas a través de los cálculos efectuados en objetivos anteriores;

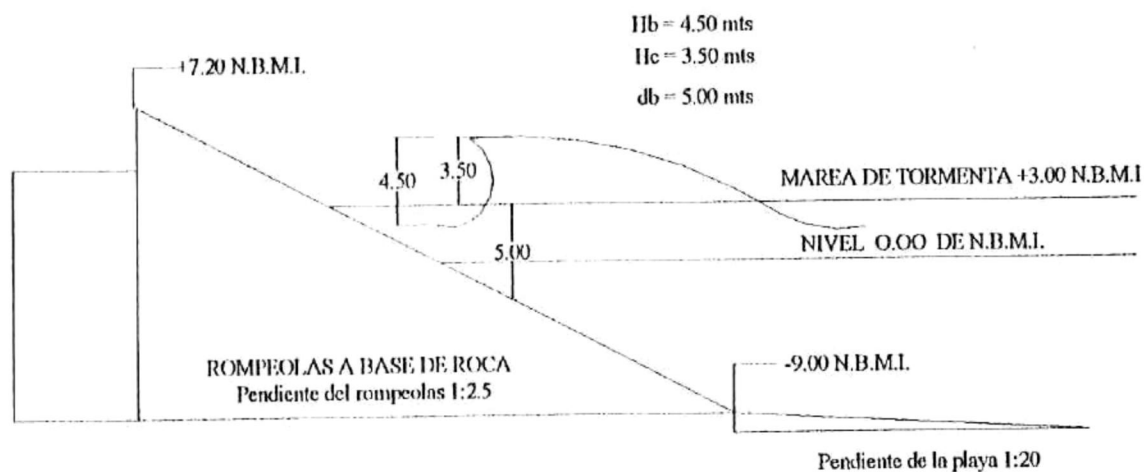


FIGURA 10.- Esquema del oleaje de diseño actuando sobre el rompeolas del puerto de Ensenada.

V.- FUERZA DE LA OLA.

5.1.- ASPECTO TEORICO.

Se debe determinar la fuerza que ejerce el oleaje sobre la estructura considerando el tipo de esta, el perfil del fondo, la profundidad de desplante y las condiciones del oleaje.

Se estima la fuerza del oleaje por medio de ensayos en modelos o por formulas de diseño. En este caso se debe de considerar la irregularidad del oleaje. La fuerza de la ola de la ola tomando en cuenta el tipo de estructura se divide en:

1. Fuerza de la ola sobre la estructura de tipo pared o muro vertical.
2. Fuerza de la ola sobre estructuras formadas de elementos sueltos piedra o elementos artificiales de concreto.
3. Fuerza de la ola sobre pilas.
4. Fuerza de la ola sobre tipo de estructuras como son: estructuras flotantes, plataformas, etc.

El método a utilizar para estimar la fuerza dependerá del tipo de estructura identificando las formulas para el calculo de la fuerza de la ola. Si se conocen las fuerzas del oleaje sobre algunas estructuras es conveniente analizarlas con ensayos de modelo.

Los periodos y las alturas del oleaje en el mar son diferentes y actúan bajo varios factores como: oleaje no-rompiente, rompiente y el oleaje después de rompiente, la profundidad y el perfil del fondo. Por eso, para estimar la fuerza de la ola, se debe de considerar el oleaje más severo y las condiciones de la acción del oleaje sobre la estructura.

La altura de la ola más grande produce una fuerza mayor sobre la estructura. Por lo que normalmente se usa la altura máxima de ola como oleaje de diseño. Sin embargo, el efecto de la acción continua del oleaje se considera en estructuras formadas por elementos sueltos con piedra, elementos artificiales de concreto, pilas y estructuras flotantes.

5.2.- ANALISIS DEL FENOMENO DENOMINADO RUN UP.

Se define Run up, como la altura vertical sobre el nivel de mar de referencia, sobre la que el flujo proveniente del oleaje incidente, tendera a correr o subir sobre la cara de la estructura de protección. El Run up determina la *altura requerida* de una estructura de protección, esto con el fin de no permitir una sobreelevacion de oleaje, que pueda causar daños dentro del área protegida de la estructura.

El Run up depende de varios factores, (Fig. 11) como lo son: la forma o perfil de la estructura, rugosidad del material de la estructura, características del fondo del mar frente a la estructura y las características del oleaje incidente.

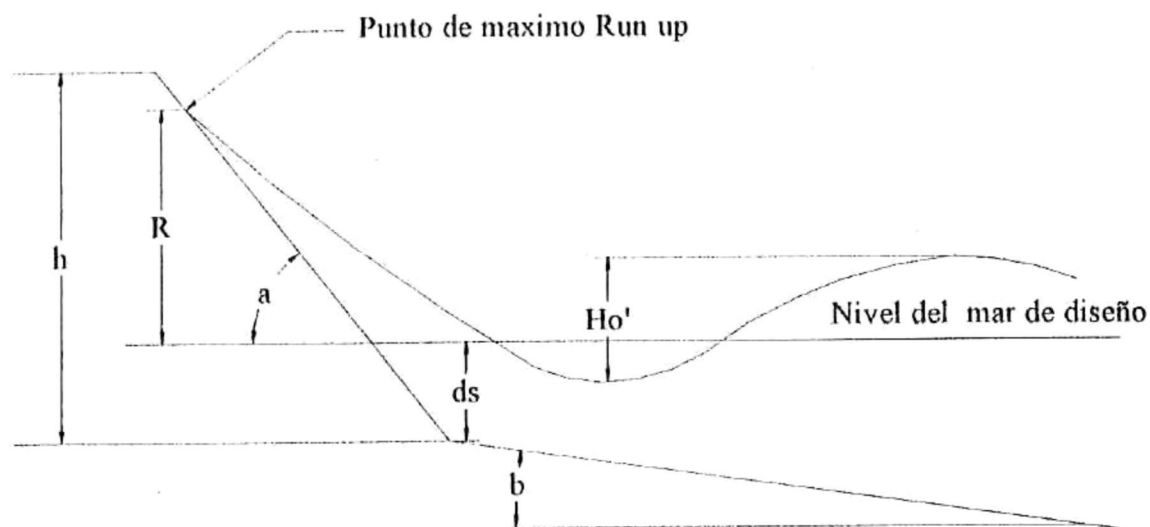


FIGURA 11.- Fenómeno del Run up.

Normalmente el Run up se calcula sobre la base de información de diseño en aguas profundas, por lo que se deben ajustar ciertas equivalencias para valores de aguas bajas; esto con el fin de determinar las condiciones en el rompiente frente a la estructura de protección.

Partiendo de la expresión siguiente, se tiene que;

$$H_o' / gT^2 = (3.922) / (9.81)(7)^2 = 0.0081$$

También utilizando la relación ds como la profundidad del talud (desplantado a la cota -9.00 N.B.M.I + 3.00 de marea de tormenta arroja un resultado de 12.00 mts).

$$ds / H_o' = 12 / 3.922 = 3.05$$

En la tabla 7-20 del Shore Protection Manual, para comparar el Run up de una ola con respecto a la rugosidad de una estructura permeable de elementos sueltos (en este caso roca), con una pendiente de 1:2.5. Se obtiene la siguiente relación;

$$R / H_o' = 1.60 k' \quad R / H_o' = 1.60 k' \quad (5.2.1.)$$

Donde k' , es el factor empírico aplicado por el efecto de la pendiente que tiende la ola a recorrer. Así como también, el valor de la corrección debida a efectos de la escala, sometidos los modelos hidráulicos a escala para poder determinar pruebas de teóricas de los efectos del Run up y overtopping.

Para determinar el valor k' , se determina en base a la tabla 7.13 del Shore Protection Manual en términos de la pendiente del rompeolas, $m = \tan \alpha$, es;

$$\tan \alpha = (1 / 2.5) = 0.40$$

El correspondiente factor de corrección para una altura de ola H_o' es;

$$k' = 1.17$$

Por tanto sustituyendo valores para determinar el Run up (5.2.1.);

$$R / Ho' = 1.60(1.17) = 1.872$$

Obteniendo;

$$R = 1.872 (3.922) = 7.34 \text{ mts.}$$

Obteniendo una altura de Run up de 7.34 mts sobre el nivel de referencia, en este caso la marea de tormenta que será +3.00 de N.B.M.I., obteniendo una altura de Run up acotada al nivel de referencia de +10.34 mts de N.B.M.I.

Teniendo en consideración que, la altura del rompeolas se encuentra en promedio a la cota +7.20 mts del N.B.M.I. y se obtiene una altura de Run up de +10.34 mts de N.B.M.I.; resultan 3.14 mts de altura que la ola en su ascender por la estructura alcanza sobrepasar.

5.3.- SOBRE-ELEVACION DE OLEAJE.

En cuestión de costos de construcción de obras de protección costera, efectuar diseños de estructuras con el fin de eliminar el fenómeno de sobre-elevacion del oleaje incidente o comúnmente llamado overtopping. El overtopping según sea la magnitud, muchas veces acarrea problemas con inundaciones y daños materiales en el área de protegida de la estructura. Las superficies expuestas a este fenómeno requieren en su diseño como, pendientes para evitar inundaciones, sistema de drenaje pluvial tanto para el overtopping como para lluvias. En su defecto de no contar estructuras con dichas facilidades deberá implantarse un sistema adecuado de bombeo o achique para evitar los problemas marcados anteriormente.

La altura de oleaje incidente sobre la estructura, el periodo, la dirección y velocidad del viento con respecto a la estructura son factores importantes para determinar el fenómeno del overtopping sobre determinada estructura. El volumen que arroje el overtopping depende directamente de la altura de la estructura de protección, la profundidad del oleaje de rompiente, así como también, de la rugosidad del material de construcción de la estructura de protección.

El overtopping es determinado sobre la base de la siguiente ecuación, del Shore Protection Manual Vol. II.

$$Q = [(g Q_o H_o^{0.3})^{1/2}] e[(0.217/\alpha) \{ \tanh^{-1} (h - d_s / R) \}] \quad (5.3.1.)$$

Donde;

Q = Sobreelevación medida en (volumen por unidad de tiempo), esto por la longitud de la estructura.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

h = Altura desde la base a la corona de la estructura de protección.

R = Altura del Run up.

Q_o y α = Coeficientes empíricos que dependen de la ola incidente y la geometría de la estructura.

a = Angulo de la horizontal con la pendiente de la estructura.

La ecuación anterior es válida únicamente cuando

$$0 \leq h - d_s / R \leq 1$$

En dado caso de no cumplir lo anterior ($h - d_s / R \geq 1$), el overtopping se toma como cero.

Es necesario determinar que el viento influye bastante en el overtopping del oleaje sobre la estructura. El incremento depende de la velocidad y dirección del viento, esto para determinar el factor de corrección k , como la corrección por viento wf .

$$k = 1.0 + wf [(h - d_s / R) + 0.1] \sin a \quad (5.3.2.)$$

Para velocidades de viento sobre la costa de 60 mph o mayores, corresponde un valor de $w_f=2.0$. Para un viento de 30 mph corresponde un valor de $w_f = 0.5$. Para cuando no hay viento sobre la costa $w_f = 0$.

Definiendo así el volumen de sobre-elevación del oleaje por el factor de corrección por viento, como la corrección del volumen de agua de mar como;

$$Q_c = kQ \quad (5.3.3.)$$

Para efectos del proyecto, en la zona de estudio se han efectuado mediciones que arrojan un viento dominante proveniente del Oeste con una velocidad de 41 km/h sobre el rompeolas. Para determinar el coeficiente de w_f se harán las conversiones de las unidades correspondientes y se interpolara entre los valores de w_f dados anteriormente.

Una de las condiciones que se deben de cumplir, con el fin de verificar si existe una posible sobre-elevación de oleaje sobre la estructura, es la siguiente;

$$0 \leq h - d_s / R \leq 1$$

Entonces, sustituyendo valores se tiene que;

$$0 \leq 16.2 - 12.00 / 7.34 \leq 1$$

$$0 \leq 0.572 \leq 1$$

Determinando que si cumple la condición inicial.

Posteriormente con las siguientes relaciones obtenidas en objetivos anteriores (4.8.1.2.) y (4.8.3.1.);

$$H_d / H_o' = 5 / 3.922 = 1.27$$

También de la relación;

$$H_o' / gT^2 = 0.0081$$

Posteriormente se definen los datos Q_0 y α , a partir de los nomogramas de la tabla 7.25 del Shore protection Manual. Se obtiene que;

$$Q_0 = 0.033$$

$$\alpha = 0.04$$

Sustituyendo valores en la ecuación (5.3.1.), se tiene que;

$$Q = [\{9.81(0.033)(3.922)^3\}^{1/2}] e^{[(0.217/0.04) \tanh^{-1}(0.572)]}$$

$$Q = (4.419)(0.029) = 0.128 \text{ m}^3 / (\text{seg. ml})$$

Se determina que se utilizara para fines de calculo el metro unitario de longitud de la estructura, definiéndose en términos de;

$$Q = 0.128 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Posteriormente debe definirse el factor de corrección por viento, iniciando con la interpolación de factores w_f de acuerdo a la información de la zona;

$$w_f \text{ 60mph} = 2.0$$

$$w_f \text{ 30mph} = 0.5$$

$$w_f \text{ 0mph} = 0$$

En la zona del puerto de Ensenada se tiene como normal promedio una velocidad de 41 km/hr, formulando la conversión resultan 25.50 mph;

$$w_f = 0.425$$

Falta por definir el ángulo de la pendiente del rompeolas con la horizontal;

$$a = [\tan^{-1}(1 / 2.5)] = 22^\circ$$

Sustituyendo valores para (5.3.2.), se tiene que;

$$k = 1.0 + 0.425 [(0.572) + 0.1] \sin 22^\circ$$

$$k = 1.10$$

El volumen correcto por sobre-elevación de oleaje (5.3.3.), es;

$$Q_c = (1.10)(0.128) = 0.141 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

El volumen total de agua por sobre-elevación en la estructura es obtenido de multiplicar Q_c por la longitud de la estructura (en este caso se maneja como la unidad), así como también, por la duración que nos dan las condiciones de oleaje.

5.4.- FUERZA DE LA OLA.

Básicamente, el oleaje en su avance hacia la costa e impactándose contra un objeto cualquiera, resulta sobre el objeto dos tipos de componentes, los cuales son las componentes hidrodinámica e hidrostática.

La hidrodinámica, es la parte de la física que trata de los movimientos de los líquidos, así como también de la resistencia opuesta a los mismos de los cuerpos que se mueven en su seno. Las principales aplicaciones de la hidrodinámica son las siguientes: determinación de las formas más convenientes de los cascos de los barcos, diseño de canales, presas, puertos, etc. En el estudio de la hidrodinámica representa importante papel el desarrollo de los experimentos con modelos a escala.

La hidrostática, es la parte de la hidráulica que trata de los fluidos en equilibrio. Se funda en una serie de leyes y principios, especialmente en los siguientes:

- *Principio de Arquímedes.* Sobre la flotabilidad de los cuerpos.
- *Paradoja hidrostática de Stevin.* Sobre presión de líquidos en el fondo de recipientes.
- *Principio de Pascal.* Sobre la igualdad de presión en todas las direcciones.

5.4.1.- Fundamentos.

Las estructuras de protección normalmente son diseñadas y localizadas en sitios sometidos bajo condiciones severas de rompiente de oleaje y mareas. Para efectos del presente trabajo se definirán las fuerzas sobre la estructura de protección, en este caso un muro de gravedad que cumpla con la función de desviar el flujo de agua de las acciones de las fuerzas hidrodinámica e hidrostática del oleaje. Esto con el fin de evitar el Run up y el Overtopping. Definitivamente es necesario efectuar ensayos con modelos hidráulicos a escala, ya que se efectúan simplificaciones en los parámetros de oleaje, lo cual pueden modificar las fuerzas reales sobre la sección de la estructura.

Para muros diseñados sobre el nivel marea de referencia, se deberá definir inicialmente parámetros de cómo velocidades de propagación, así como también la altura máxima de Run up. Definido por la siguiente ecuación;

$$v' = C(1 - X_1 / X_2) = (gd_b)^{1/2} (1 - X_1 / X_2) \quad (5.4.1.1.)$$

Donde;

v' = Velocidad de la masa de agua sobre la estructura.

C = Velocidad de la ola a la profundidad de rompiente.

X_1 = Distancia horizontal desde la intersección de la línea de marea de referencia con la estructura hasta donde esta localizada la estructura de protección o muro deflector.

X_2 = Distancia horizontal desde la intersección de la línea de marea de referencia con la estructura hasta donde esta localizada la altura máxima de run up.

g = Aceleración debida a la gravedad.

d_b = Profundidad de rompiente.

La altura de la masa que se impacta contra la estructura, esta definida por h' ;

$$h' = hc(1 - X_1 / X_2) \quad (5.4.1.2.)$$

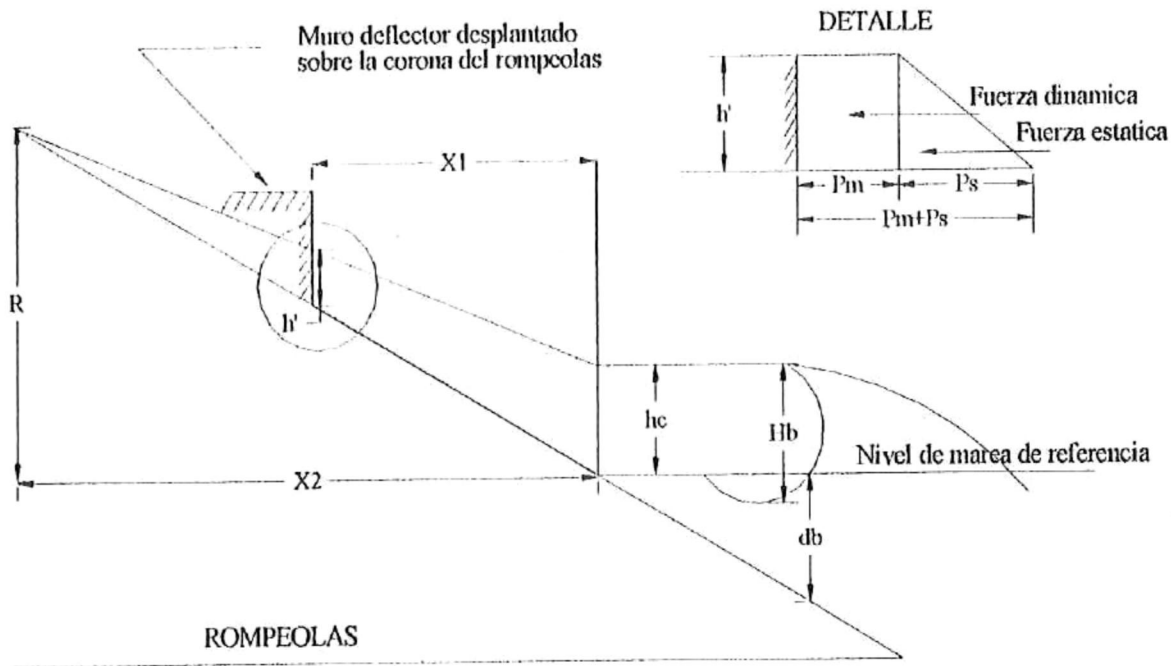


FIGURA12- Presiones de oleaje de rompiente sobre un muro diseñado sobre el nivel de marea de referencia

Un análisis similar para las estructuras localizadas arriba del nivel de marea de referencia, esta dado por determinar la presión hidrodinámica P_m ;

$$P_m = [(\delta_w)(v')^2 / 2g] = [(\delta_w)(db)/2] (1 - X_1 / X_2)^2 \quad (5.4.1.3.)$$

Donde;

δ_w = Peso volumétrico del agua de mar (1.02 ton/m³)

La presión hidrodinámica, se dice que actúa uniformemente dentro de la altura h', por lo que la componente dinámica de la fuerza esta dada por R_m ;

$$R_m = P_m h' = [(\delta_w)(db)(hc)/2] (1 - X_1 / X_2)^3 \quad (5.4.1.4.)$$

El momento hidrodinámico esta dado por;

$$M_m = R_m h'/2 = [(\delta w)(db)(hc)^2/4] (1 - X_1 / X_2)^4 \quad (5.4.1.5.)$$

Con lo que respecta a la presión hidrostática se define por la sig. ecuación;

$$P_s = [(\delta w)(h')] \quad P_s = [(\delta w)(h')] \quad (5.4.1.6.)$$

La componente de la fuerza hidrostática, esta dado por;

$$R_s = [(\delta w)(h')^2 / 2] = [(\delta w)(hc)^2 / 2] (1 - X_1 / X_2)^2 \quad (5.4.1.7.)$$

El momento resultante de la fuerza hidrostática por;

$$M_s = R_s h'/3 = [(\delta w)(hc)^3 / 6] (1 - X_1 / X_2)^3 \quad (5.4.1.8.)$$

Las fuerzas totales y momentos son las sumas de los componentes dinámicos e hidroestáticos, entonces;

$$P_{ht} = P_m + P_s$$

$$R_{ht} = R_m + R_s$$

$$M_{ht} = M_m + M_s$$

Donde;

P_{ht} = Presión horizontal total.

R_{ht} = Resultante horizontal total.

M_{ht} = Momento horizontal total.

Las presiones, fuerzas y momentos están referenciados sobre la base de la altura de impacto que es la h' . Determinando con esto que, los brazos de palanca están referenciados desde extremo inferior de h' .

5.4.2.- Cálculo de las resultantes hidrodinámicas e hidrostáticas.

Cuando el nivel marea de referencia corresponde al de la marea de tormenta (+3.00 N.B.M.I.), se determinarán las distancias $X1$ y $X2$.

La distancia $X1$, está dado por la distancia entre la estructura y la intersección del eje de referencia (marea de tormenta). La ola rompe sobre el talud del rompeolas y la estructura tiene una pendiente de (1:2.5). El muro se encuentra en la corona del rompeolas en la cota +7.20 referido al N.B.M.I.; La diferencia entre el nivel de referencia y la corona es de 4.2 mts. Esta altura por la pendiente, resulta que;

$$X1 = (4.20)(2.5) = 10.50 \text{ mts.}$$

La distancia $X2$, resulta de efectuar la misma operación, pero la altura será el máximo run-up. Entonces el máximo run up es de 7.35 mts sobre el nivel de referencia.

$$X2 = (7.35)(2.5) = 18.38 \text{ mts.}$$

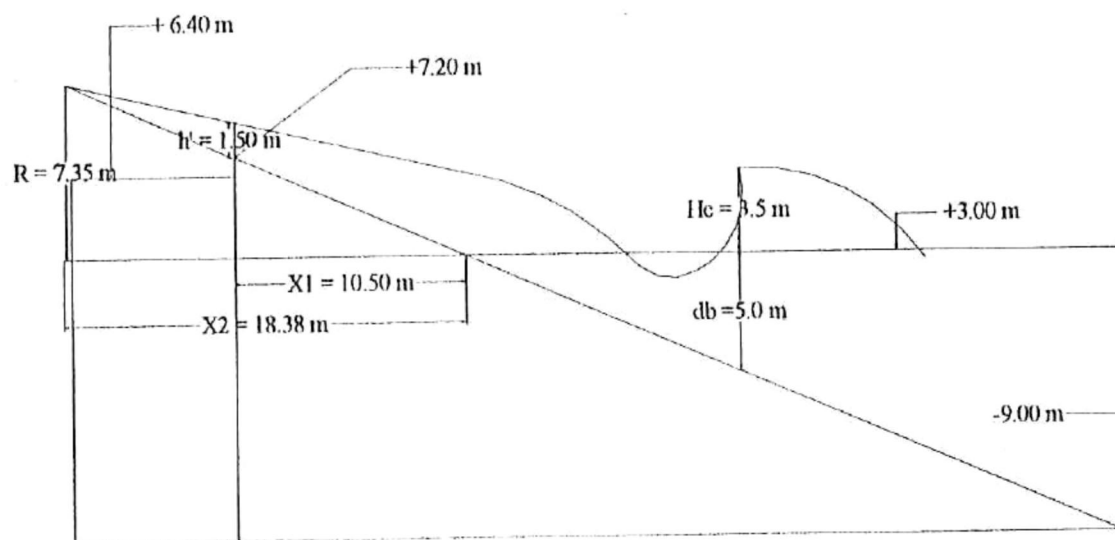


FIGURA 13.- Dimensiones básicas para la obtención de presiones, fuerzas y momentos producidos por el oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada.

Entonces, procedemos a sustituir valores para determinar la velocidad de la masa en rompiente (5.4.1.1.);

$$v' = [(9.81)(5)]^{1/2} [1 - (10.5)/(18.38)] = 3.00 \text{ m/seg.}$$

La altura de impacto de la masa desde el desplante de la estructura (corona del rompeolas +7.20 N.B.M.I.), sustituyendo valores de (5.4.1.2.);

$$h' = (3.50) [1 - (10.5)/(18.38)] = 1.50 \text{ mts.}$$

La presión hidrodinámica se obtiene de sustituir valores de (5.4.1.3.);

$$P_m = [(1.02)(5)/2] [1 - (10.5)/(18.38)]^2 = 0.47 \text{ ton/m}^2$$

La fuerza hidrodinámica esta dada por (5.4.1.4.), sustituyendo valores;

$$R_m = (0.47)(1.50) = 0.71 \text{ ton}$$

El momento hidrodinámico, se obtiene de (5.4.1.5.);

$$M_m = (0.71)(1.5/2) = 0.53 \text{ ton.m}$$

Respecto a la componente hidrostática, se definirá inicialmente la presión hidrostática sustituyendo vales en (5.4.1.6.);

$$P_s = (1.50)(1.02) = 1.53 \text{ ton/ m}^2$$

La fuerza hidrostática, esta dada por (5.4.1.7.);

$$R_s = [(1.02) (1.50)^2] / 2 = 1.14 \text{ ton}$$

El momento hidrostática esta dado por (5.4.1.8.);

$$M_s = (1.14)(1.5 / 3) = 0.57 \text{ ton.m}$$

Cabe señalar que para efectos de longitud de la estructura (deflector de oleaje), se analizo lo Interior como longitud unitaria.

Las presiones, fuerzas y momentos totales están dados por la sumatoria de las propiedades hidrodinámicas e hidrostática sobre la estructura. Entonces;

$$P_{ht} = (0.47)(1.53) = 0.72 \text{ ton/m}^2$$

$$R_{ht} = (0.71)(1.14) = 1.85 \text{ ton}$$

$$M_{ht} = (0.53)(0.57) = 1.10 \text{ ton.m}$$

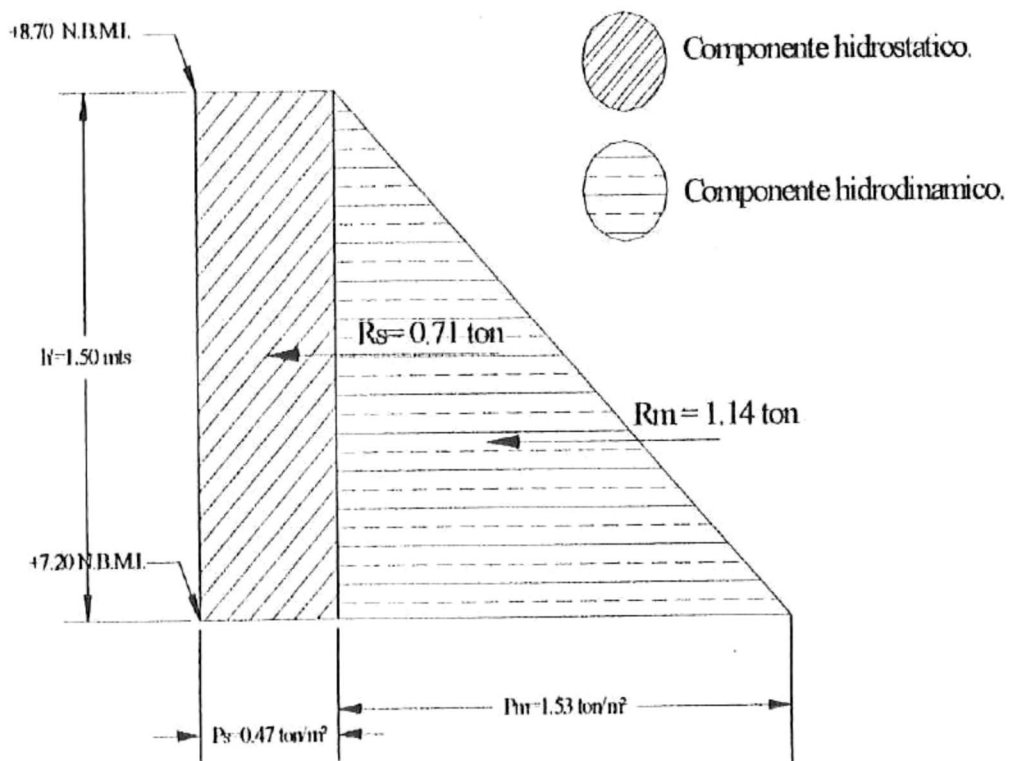


FIGURA 14.- Diagrama de presiones, fuerzas y momentos producidos por el oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada.

VI.- ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DEFLECTOR.

6.1.- ASPECTO TEORICO.

Un muro deflector se define, como una estructura cuya función es la de disipar y amortiguar un flujo de tal manera que se evite el fenómeno de reflexión total. Normalmente se construyen bajo el principio de los muros de gravedad ya que su función es la de contener las fuerzas de empuje y en el caso de las estructuras marítimas la correspondiente fuerza de impacto del oleaje.

6.2.- CONDICIONES DE DISEÑO.

A continuación se presenta un ejemplo teórico del procedimiento del calculo y diseño de este tipo de obras;

1. Condiciones del terreno.
2. Dimensionamiento de la estructura.
3. Obtención de fuerzas horizontales.
4. Obtención de fuerzas verticales.
5. Obtención de los momentos horizontales.
6. Obtención de los momentos verticales.
7. Obtención de la resultante.
8. Análisis por volteo.
9. Análisis por deslizamiento.

6.3.- CONDICIONES DEL TERRENO DE DESPLANTE DEL MURO DEFLECTOR.

La estructura se desplantara sobre el coronamiento del rompeolas construido a base de concreto hidráulico con resistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y dimensiones de 7.50×3.0 mts. El coronamiento del rompeolas se desplanta sobre material de rezaga con un rango de peso de 5 a 200 kg., a la profundidad de la cota -10.00 hasta la cota -3.00 referida al N.B.M.I. La capacidad de carga del terreno sobre el cual se pretende desplantar el deflector es de 20 ton/m^2 .

6.4.- DIMENSIONAMIENTO DEL MURO DEFLECTOR.

Las dimensiones que se pretenden aplicar, serán sobre la base de ajustar las dimensiones del muro deflector a la del coronamiento del rompeolas y al enrocamiento del rompeolas.

1. La altura del deflector, resulta de la diferencia de alturas entre el máximo Run up y la cota de nivel del coronamiento del rompeolas (Fig. 15).

$$\text{Altura} = (10.35 - 6.40) = 3.95 \text{ mts.} \approx 4.00 \text{ mts.}$$

Incrementado un metro adicional a la altura, para efectos del bordo libre;

$$\text{Altura deflector} = 5.0 \text{ mts} = +11.40 \text{ de N.B.M.I.}$$

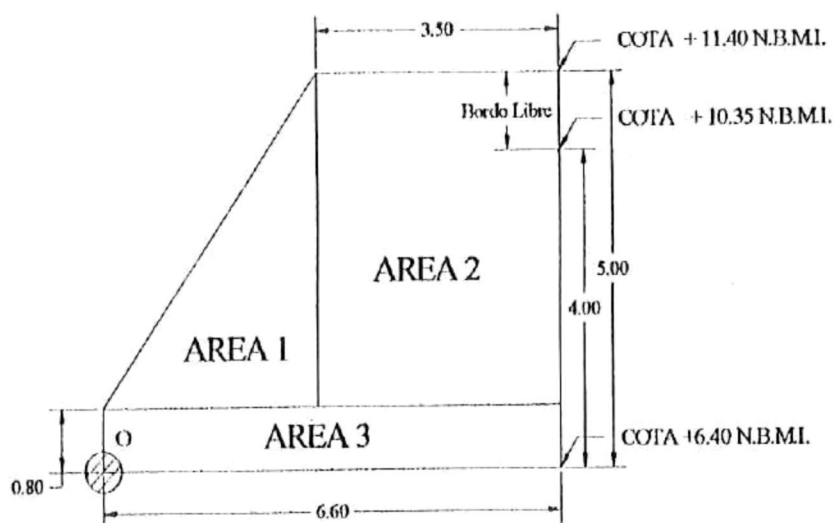
2. La base de la corona del rompeolas es de 7.00 mts, para efectos de procesos constructivos se define la base del deflector de;

$$\text{Base deflector} = 6.60 \text{ mts.}$$

3. El deflector de oleaje contara con una corona, con ancho de 3.50 mts., Definida en el diseño de estabilidad;

$$\text{Corona deflector} = 3.50 \text{ mts.}$$

También en la parte de la base del deflector la diferencia entre la altura del rompeolas y la corona del rompeolas es de 0.80 mts, por esto para cuestiones del diseño se debe de tomar en cuenta.



EL punto "O" es el punto de volteo que servirá como referencia para definir los brazos de palanca de las fuerzas horizontales y verticales.

FIGURA 15.- Dimensiones de proyecto del deflector de oleaje.

6.5.- CALCULO DE LAS FUERZAS HORIZONTALES.

Las fuerzas horizontales, son determinadas en el capítulo anterior. Calculadas las presiones, fuerzas y momentos producidos por el oleaje costero incidente sobre una estructura, y tomando en cuenta que la longitud de la estructura es unitaria, tenemos que;

La resultante de la fuerza hidrodinámica es;

$$R_m = 0.71 \text{ ton}$$

La resultante de la fuerza hidrostática es;

$$R_s = 1.14 \text{ ton}$$

La resultante total de las fuerzas horizontales es;

$$R_{ht} = 1.85 \text{ ton}$$

6.6.- CALCULO DE LAS FUERZAS VERTICALES.

Las fuerzas verticales, se definen básicamente como la resistencia que opone el peso de la geometría de la estructura, para contrarrestar las fuerzas externas a la misma. Básicamente la fuerza dada por el peso se define como:

$$R_v = A_t \delta_c \quad (6.6.1.)$$

Donde;

R_v = Fuerza vertical.

A_t = Area geométrica de la estructura.

δ_c = Peso específico del concreto (2.4 ton/m³)

Las áreas están definidas geométricamente (Fig. 15), sustituyendo valores;

$$R_{v1} = (6.51)(2.4) = 15.62 \text{ ton}$$

$$R_{v2} = (14.70)(2.4) = 35.28 \text{ ton}$$

$$R_{v3} = (5.28)(2.4) = 12.67 \text{ ton}$$

$$R_{vt} = 63.52 \text{ ton}$$

Donde;

R_{vt} .- Corresponde a la resultante total de las fuerzas verticales.

6.7.- CALCULO DE LOS MOMENTOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS HORIZONTALES.

Para efectos del calculo de momentos horizontales de la estructura, se tomo como punto de aplicación de las fuerzas el punto "O". El punto "O", es el punto de volteo que servirá como referencia para definir los brazos de palanca tanto de las fuerzas horizontales como de las verticales (Fig. 15). Sobre la base anterior se determinan por los momentos producidos por las fuerzas (tabla VI).

	Fuerzas (ton)	Y (mts)	Momento actuante (ton.m)
Ms	0.71	1.55	1.10
Mm	1.14	1.3	1.48
Σ	1.85		2.58

Tabla VI. Calculo de los momentos producidos por las fuerzas horizontales.

FUERZAS ACTUANTES

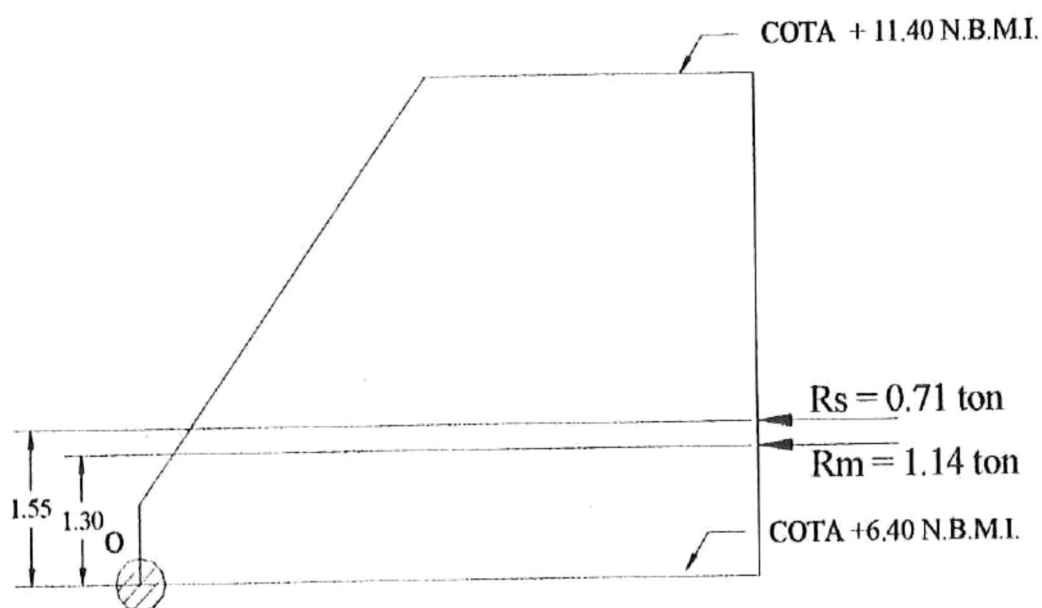


FIGURA 16. Diagrama de fuerzas actuantes.

- Para poder determinar el momento dinámico M_s , se obtuvo su brazo de palanca con respecto al punto O, así, también del efecto de la fuerza dinámica se comporta de una forma geométrica con cuña de presión tipo rectangular. Entonces;

$$Y = (h'/2) + 0.80\text{m}$$

- Para poder determinar el momento estático Mm , se obtuvo su brazo de palanca con respecto al punto O , así, también del efecto de la fuerza estática de comporta como una cuña de forma triangular cuyo brazo se localizara, como sigue;

$$Y = (h'/3) + 0.80m$$

La altura 0.80 , corresponde al incremento de la altura por la diferencia entre la corona del rompeolas y el enrocamiento del rompeolas (Fig. 15).

6.8.- CALCULO DE LOS MOMENTOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS VERTICALES.

Para efectos del calculo de momentos verticales de la estructura, se tomo como punto de aplicación de las fuerzas el punto O (ver fig. 15). Sobre la base de lo anterior se determina lo siguiente;

	Fuerzas (ton)	X (mts)	Momento resistente (ton.m)
Mv1	15.62	2.06	32.17
Mv2	35.28	4.85	171.10
Mv3	12.62	3.30	41.65
Σ	63.52		244.92

Tabla VII. Calculo de momentos producidos por las fuerzas verticales.

FUERZAS RESISTENTES

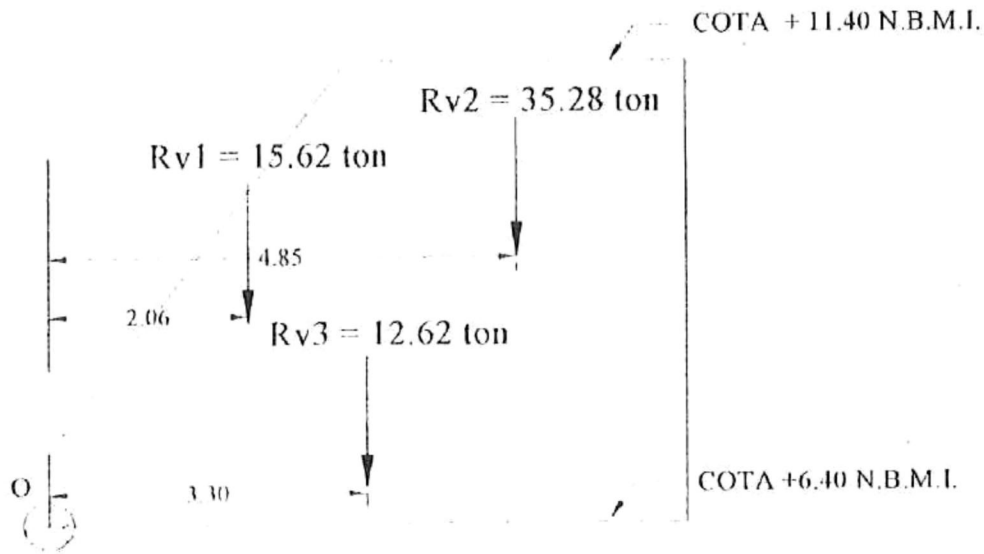


FIGURA 17. Diagrama de fuerzas resistentes.

6.9.- CALCULO DE LA FUERZA RESULTANTE.

El punto de aplicación de la resultante total de las fuerzas horizontales R_t , se determinara a una altura de la base, definida por la siguiente ecuación;

$$H_t = \Sigma M_{ht} / R_{ht} \quad (6.9.1.)$$

Sustituyendo valores, se tiene que la altura de la resultante (6.9.1.) con respecto al punto O , es;

$$H_t = (2.58)(1.85) = 1.40 \text{ mts.}$$

La distancia horizontal de ubicación de la fuerza total vertical R_v , con respecto al punto O , se determina por la siguiente ecuación;

$$d_t = \Sigma M_{vt} / R_v \quad (6.9.2.)$$

Sustituyendo valores, se tiene que la altura de la resultante (6.9.2.) con respecto al punto O , es;

$$dt = (244.92) / (63.52) = 3.85 \text{ mts.}$$

Del valor de las fuerzas verticales y horizontales, se define el valor de la resultante total R_t , que se define por la siguiente ecuación;

$$R_t = [(R_{ht})^2 + (R_{vt})^2]^{1/2} \quad (6.9.3.)$$

Sustituyendo valores de (6.9.3.) se obtiene que;

$$R_t = [(1.85)^2 + (63.52)^2]^{1/2} = 63.54 \text{ ton}$$

La distancia de la intersección de la fuerza resultante R_t , sobre la base se obtiene con la siguiente ecuación;

$$X_r = (M_{vt} - M_{ht}) / w_t \quad (6.9.4.)$$

Donde;

X_r = Distancia de intersección de la resultante con respecto al punto O .

M_{vt} = Momento vertical total.

M_{ht} = Momento horizontal total.

w_t = Esfuerzo resistente R_{vt} .

Sustituyendo valores de (6.9.4.), se tiene que;

$$X_r = (244.92 - 2.58) / 63.52$$

$$X_r = 3.82 \text{ mts.}$$

El caso optimo del diseño del muro, es considerando cuando la resultante total interseca la base del mismo en el tercio medio de la longitud total de la base.

Para fines del proyecto, un tercio de la base de la estructura es;

$$\text{Base} / 3 = 6.60 / 3 = 2.20 \text{ mts}$$

Resultando que el tercio medio se localiza entre 2.20 y 4.40 mts respecto al punto de referencia O, así que la distancia de intersección de la resultante X_r , cumple con la siguiente relación;

$$2.20 \leq X_r \leq 4.40$$

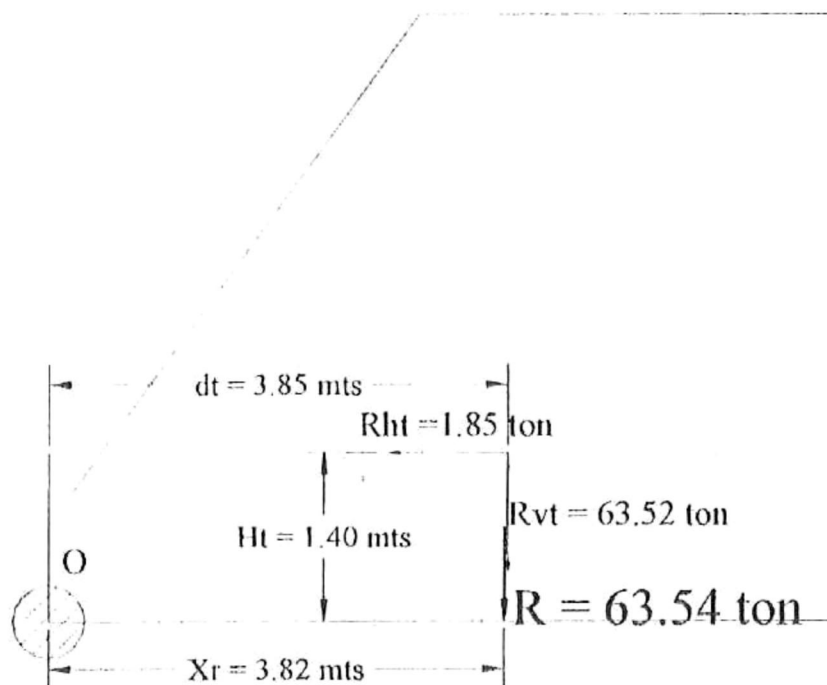


Figura 18.- Magnitud y ubicación de la resultante.

6.10.- ANALISIS POR VOLTEO.

Es determinante saber, que todo muro debido a las fuerzas horizontales de empuje, tienden a volcarse, debido al momento de volteo que producen dichas fuerzas. En la practica se dice que el muro es seguro al vuelco, cuando el momento resistente dividido entre el momento actuante o de vuelco, da como cociente un valor comprendido entre 3 y 4, esto es;

$$3 \leq M_{vt} / M_{ht} \leq 4$$

Verificando datos, resulta que;

$$M_{vt} = 244.92 \text{ ton.m}$$

$$M_{ht} = 2.58 \text{ ton.m}$$

$$M_{vt} / M_{ht} = 94.93 \text{ ton.m}$$

Este valor garantiza que el vuelco no se presentara en la estructura, pero así mismo indica que dicha obra se encuentra aparentemente demasiado sobrada en cuanto a dimensiones para soportar el empuje. Ahora bien, dentro de las conclusiones posteriores se definirán los parámetros que influyen en las fuerzas externas de presiones sobre el muro, las cuales son difíciles de cuantificar pero en forma cualitativa serán definidas para la correspondiente justificación de las dimensiones de la estructura.

6.11.- ANALISIS POR DESLIZAMIENTO.

Como es de suponerse, el muro tiende a sufrir un deslizamiento por efecto del empuje horizontal de fuerzas. Lo que evita que el muro se deslice es el rozamiento que se produce entre la base del muro y la superficie que lo sustenta. Conviene que esta última superficie sea lo más rugosa posible para lograr mayor resistencia a este deslizamiento.

Para que no se produzca un deslizamiento de la estructura, se considera en la práctica que el factor de seguridad debe tener un valor mínimo de 3, el cual se define de la siguiente relación;

$$R_{vt} \mu / R_{ht} \geq 3$$

Donde;

μ = Coeficiente por fricción del concreto.

Para este caso como se construirá una estructura de concreto precolado sobre un concreto monolítico, la constante;

$$\mu = 1.0$$

Por lo tanto sustituyendo valores de la relación anterior;

$$(63.52)(1) / (1.85) = 34.33$$

Resultando que cumple con la condición de no sufrir deslizamiento, pero en si la sección se encuentra sobrada en dimensiones y por supuesto en peso.

VII.- RESULTADOS.

Del análisis efectuado a las fuerzas que se obtienen del fenómeno y sus efectos sobre la estructura, resulta lo siguiente:

Del análisis estatico-dinamico de fuerzas que generan los momentos actuantes y resistentes, se observa que teóricamente la estructura estaría sobrada. Sin embargo, el análisis solo toma en cuenta las características del oleaje después del rompimiento, es decir, solo integra la fuerza del Run up y Overtopping.

Asociadas a las anteriores fuerzas, se observa que específicamente en el rompeolas de Ensenada, B.C.; y cuando se presentan perturbaciones meteorológicas denominadas “marejadas”, el estado del mar en la zona sufre fuertes agitaciones que provocan un reacomodo del material de coraza y un transporte de sedimentos en dirección longitudinal a la estructura; en consecuencia cuando la marea esta en su máxima elevación y se presenta el oleaje extremal, provoca sobre el talud del rompeolas, además de la sobreelevación, un transporte de material con tamaños diversos y con peso de hasta 200 kg., los cuales son depositados en la zona de patios de maniobras del puerto.

Ahora bien, la fuerza que ejerce este tipo de material al ser lanzado sobre la corona del rompeolas, es prácticamente imposible su definición, sin embargo, la fuerza que genera sobre la estructura es mucho mayor que la ejercida por efecto del oleaje. Es por tal motivo que la estructura aparentemente esta sobrada pero en la practica tiene un margen de seguridad bastante amplio.

Otro de los criterios que se tomaron en el diseño fue el ocupar el ancho disponible de la corona para uniformizar las distribuciones de carga ya que la base esta desplantada sobre material de núcleo que pudiese de alguna manera haberse fugado del acorazamiento y en consecuencia el muro deflector podría sufrir algún asentamiento en cualquier punto del cadenamiento.

Ahunado a lo anterior, en el laboratorio de Hidráulica marítima fue ensayada la geometría convexa de la cara de la estructura que recibe los impactos del oleaje y esta demostró ser la mejor opción comparada con otras secciones, incluyendo una pared vertical.

VIII.- CONCLUSIONES.

Definitivamente las condiciones geométricas y de estabilidad representan un muro deflector sobrado. Mas sin embargo, el diseño del deflector se efectuó con parámetros de oleaje de incidencia constante y con características de marea de tormenta; que normalmente en las temporadas invernales estas condiciones se presentan normalmente, que por lo regular son tormentas que acarrear consigo vientos, marejadas, mareas altas; las cuales someten a prueba a las estructuras de protección en la Bahía de Todos Santos.

Durante la temporada invernal de Enero de 1988, se presento un oleaje de 33.4 ft. (10.18 mts), asociadas a las mareas más altas en el año, lo cual fue determinante para causar daños tanto a las estructuras de protección como en las instalaciones de las zonas protegidas dentro del vaso portuario. La marejada que se presento en esa temporada tiene un periodo de retorno de aproximadamente de 250 años. Por lo que construir estructuras para oleajes de diseño para un periodo de retorno como el anterior, representa un gasto innecesario, debido a que no se sabe con certeza si se presentaran estos fenómenos dentro de los siguientes cien años.

El deflector de oleaje fue diseñado para disipar el empuje del oleaje incidente sobre el rompeolas, siendo una de las funciones importantes el evitar que al sobreelevarse el oleaje, la estructura no transporte rezaga o roca de mayores dimensiones hacia el área de patios y maniobras.

Pudiendo con ello justificar el porque del diseño excedido en lo que a peso propio de la estructura se refiere.

Sin embargo, debido a que no se tiene una adecuada predicción de lo que ocurrirá en los próximos 250 años en cuanto a marejadas se refiere, y con ello el desconocimiento del oleaje incidente real; por lo que entonces cabría recomendación de efectuar un análisis profundo en todas las estructuras de protección del puerto de Ensenada, B.C., desde la perspectiva de la vida útil contra los costos de mantenimiento.

IX.- REFERENCIAS.

Coastal Engineering Research Center. (1973). **Shore Protection Manual**. U.S. Army.
Vol. I y II. U.S.A.

Cruz-falcón, A., Jiménez - Pérez, M. (1995). **Análisis de perfiles frente al rompeolas de Ensenada, B.C.** Secretaria de Marina. Dirección de Oceanografía Naval. Ensenada, B.C., México.

Dirección General de Obras Marítimas, Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
(1985). **Proyectos de construcción de espigones para control de azolves en los puertos de Ensenada y el Sauzal, Baja California.** Superintendencia del puerto de Ensenada. Ensenada, B.C., México.

Dirección General de Obras Marítimas, Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
(1984). **Sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada, Baja California.** Superintendencia del puerto de Ensenada. Ensenada, B.C., México.

Figueroa-Nolasco, S. (1993). **Diseño de estructuras marítimas.** Memoria de curso de titulación. Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ingeniería. Ensenada, B.C., México.

García-Yañez, A., Ramírez-Morales, P. (1980). **Estudio teórico experimental de agitación en el puerto de Veracruz, Ver.** Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis de licenciatura., México, D.F.

García-Yañez, A. (1995). **Memoria descriptiva de los estudios físicos y diseño de las obras de protección de la marina de "Punta Piedra".** Ensenada, B.C., México.

García-Yañez, A. (1996). **Proyecto de prolongación del espigón el "Gallo", para construcción de terminal de productos pétreos.** Ensenada, B.C., México.

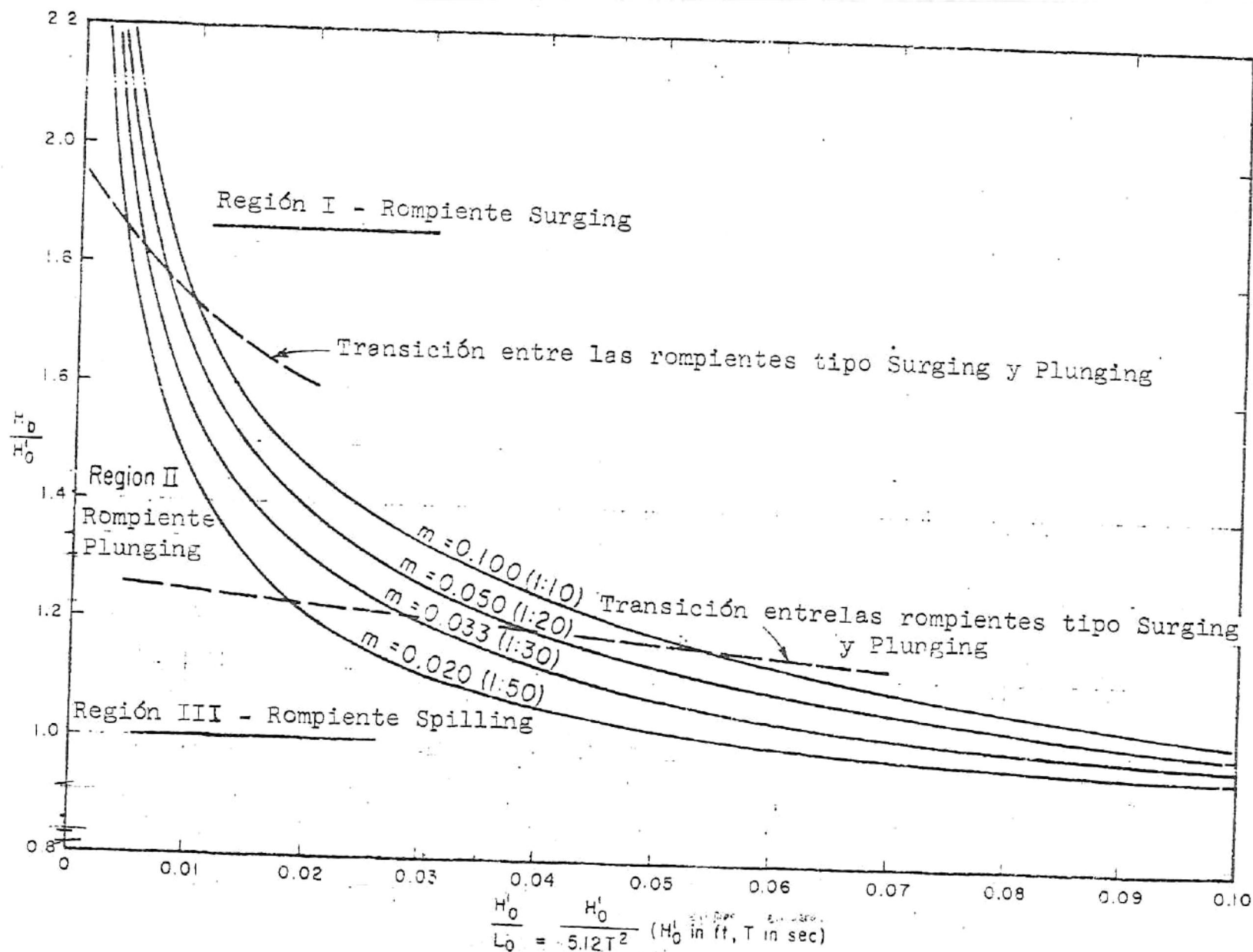
Merrit, F.S. (1992). **Manual del ingeniero civil.** McGraw-Hill. Tomo IV. México, D.F.

Sánchez Patiño, J. (1961). **Estudio topográfico para la construcción del aeropuerto del Cipres, Baja California.** Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Tesis de licenciatura., México, D.F.

San Juan-García, F. (1990). **Características generales del oleaje.** Dirección General de Obras Marítimas, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, D.F.

Yllescas-Torres, J. (1977). **Manual de Hidráulica Marítima.** Dirección General de Obras Marítimas, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Tomo I. México, D.F.

X.- ANEXO.



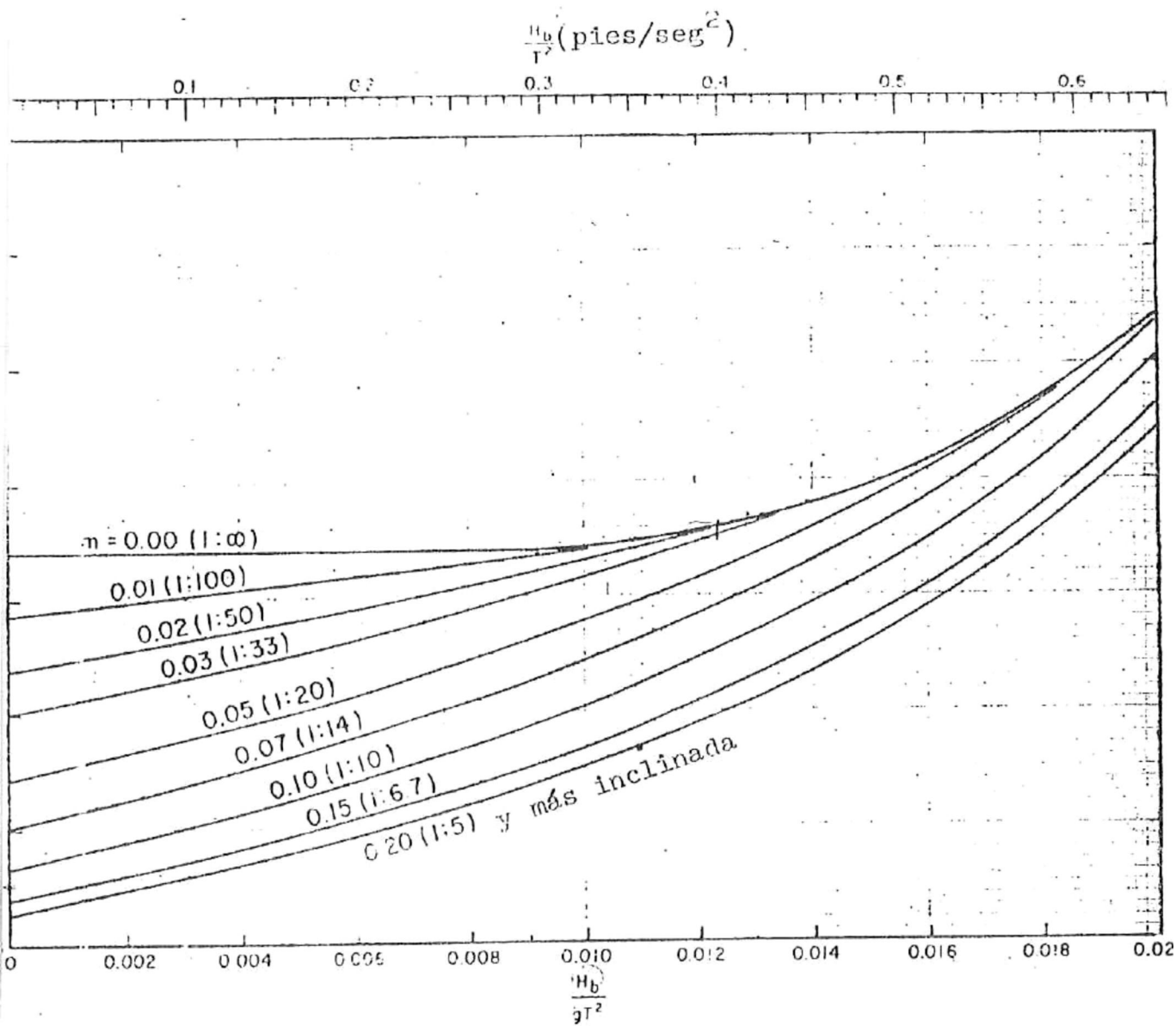


Figura No. 1.67.- Profundidad de rompiente contra esbeltez de la rompiente.

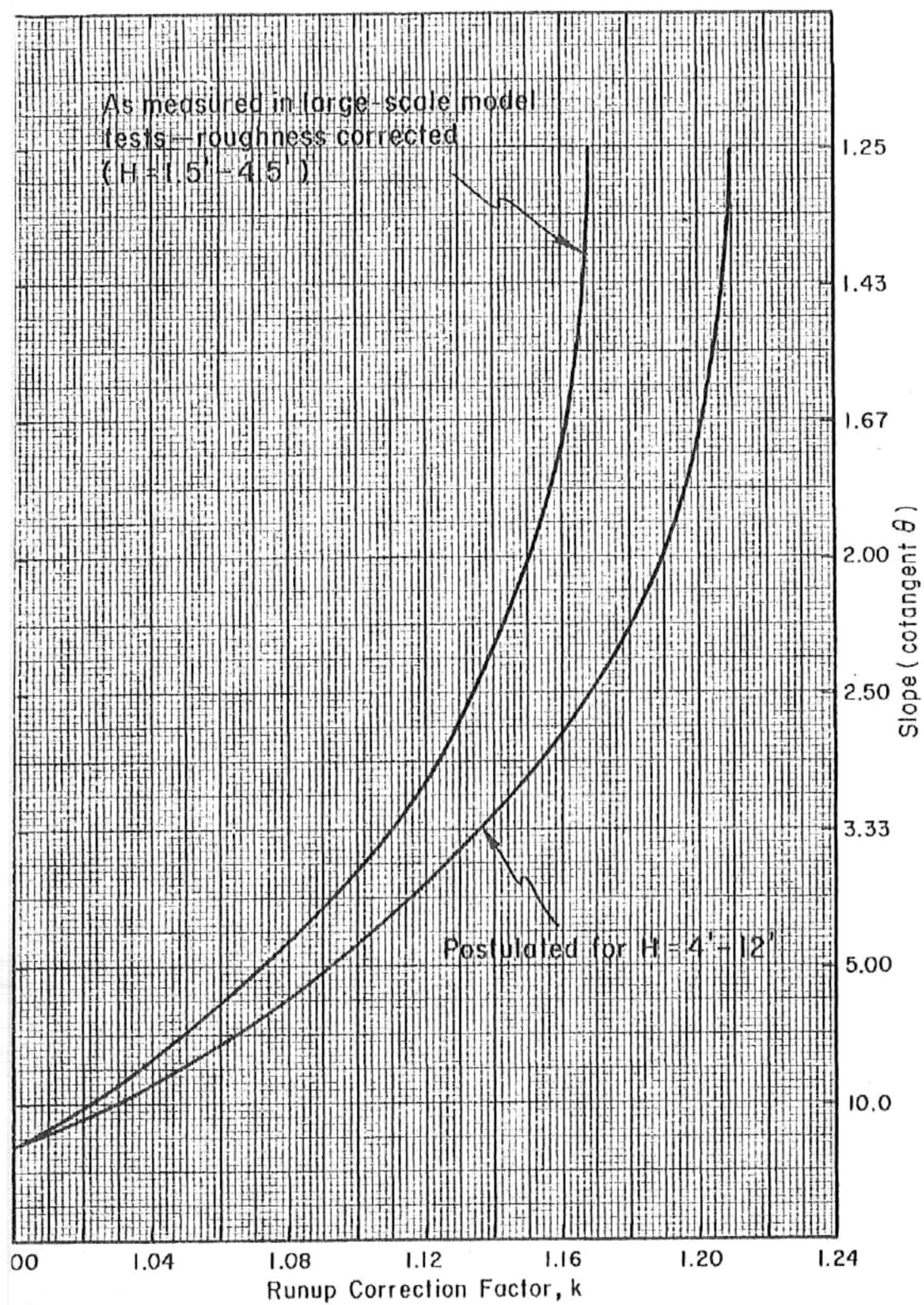


Figure 7-13. Runup Correction for Scale Effects

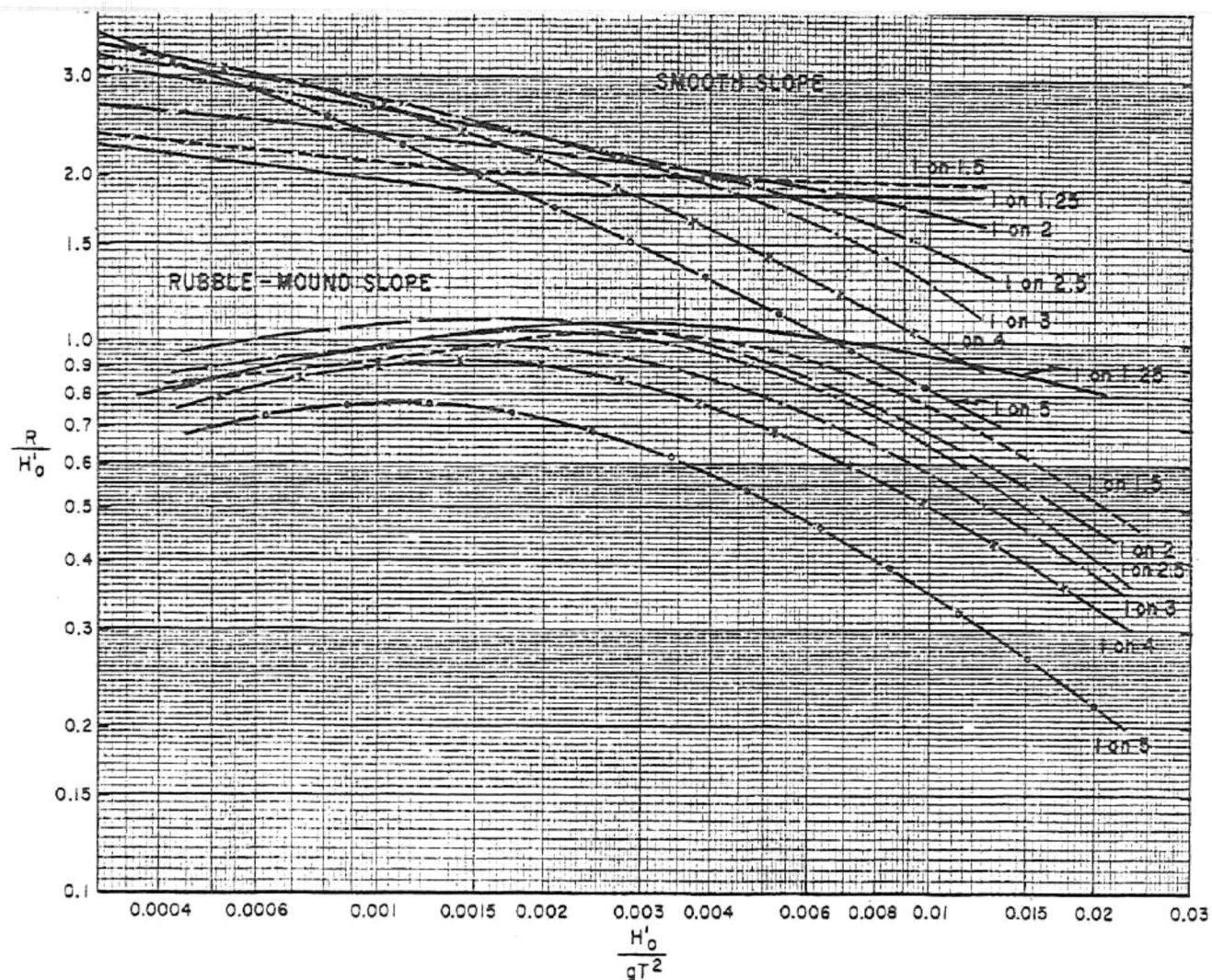


Figure 7-20. Comparison of Wave Runup on Smooth Slopes with Runup on Permeable Rubble Slopes (data for $d_s/H'_0 > 3.0$)

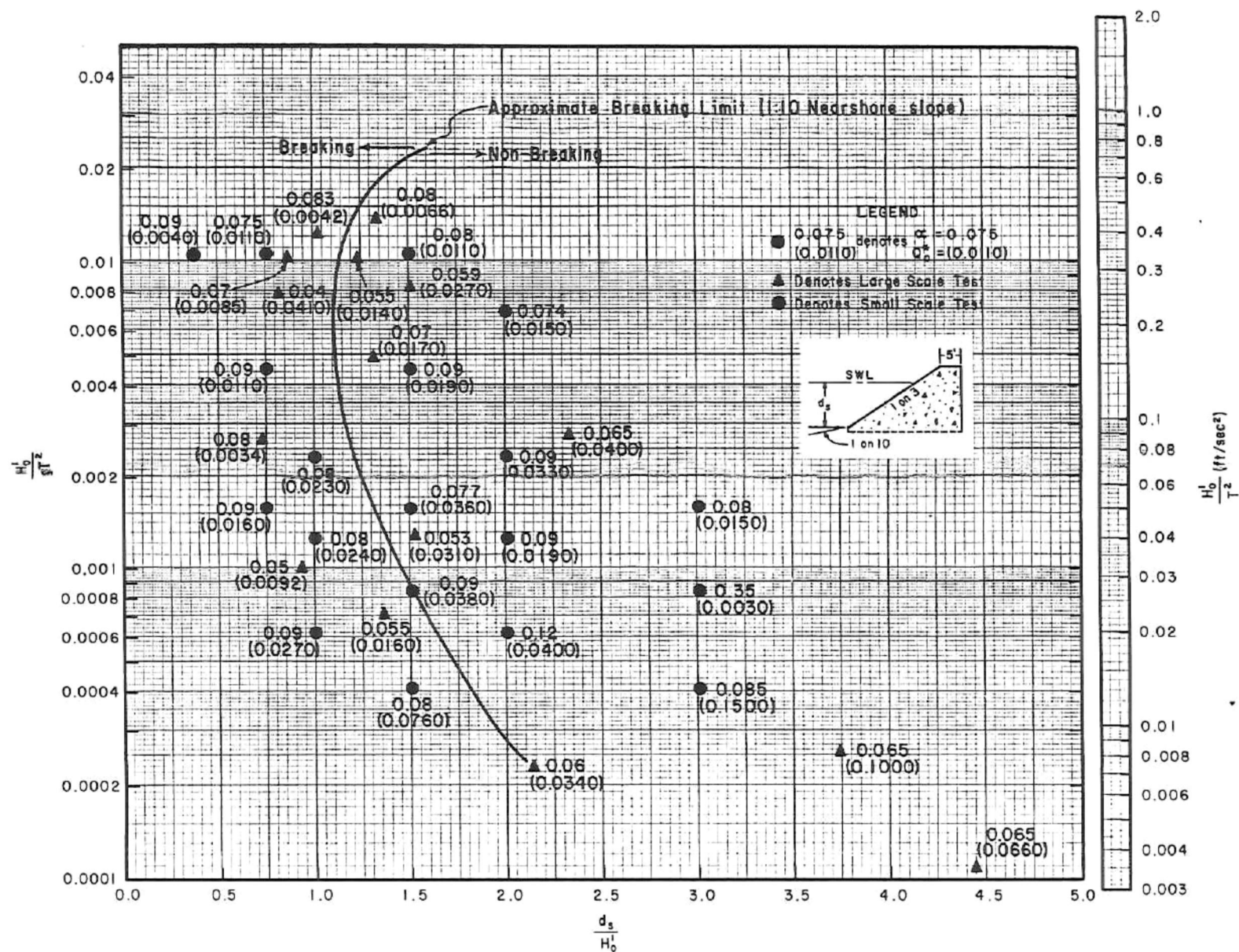


Figure 7-25. Overtopping Parameters, α and Q_o^* (Smooth 1:3 Structure Slope on a 1:10 Nearshore Slope)

Table C-1. Functions of d/L for Even Increments of d/L_0 . (from 0.0001 to 1.000)

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{\pi d}{L}$	$\sinh \frac{\pi d}{L}$	$\cosh \frac{\pi d}{L}$	H/H_0	K	$h\pi d/L$	$\sinh \frac{h\pi d}{L}$	$\cosh \frac{h\pi d}{L}$	n	c_0/c_∞	M
0	0	0	0	0	1	∞	1	0	0	1	1	0	∞
.0001000	.003990	.02507	.02506	.02507	1.0003	4.467	.9997	.05014	.05016	1.001	.9998	.02506	7.855
.0002000	.007980	.05014	.05014	.05014	1.0006	3.757	.9994	.07091	.07097	1.003	.9996	.03543	3.928
.0003000	.01197	.07521	.07521	.07521	1.0009	3.395	.9991	.08686	.08697	1.004	.9994	.04336	2.620
.0004000	.01596	.09999	.09999	.09999	1.0013	3.160	.9987	.1003	.1005	1.005	.9992	.05007	1.965
.0005000	.01995	.12500	.12500	.12500	1.0016	2.989	.9984	.1122	.1124	1.006	.9990	.05596	1.572
.0006000	.02394	.15000	.15000	.15000	1.0019	2.856	.9981	.1229	.1232	1.008	.9988	.06128	1.311
.0007000	.02793	.17500	.17500	.17500	1.0022	2.749	.9978	.1327	.1331	1.009	.9985	.06617	1.124
.0008000	.03192	.20000	.20000	.20000	1.0025	2.659	.9975	.1419	.1424	1.010	.9983	.07072	.983.5
.0009000	.03591	.22500	.22500	.22500	1.0028	2.582	.9972	.1505	.1511	1.011	.9981	.07499	.874.3
.001000	.03990	.25000	.25000	.25000	1.0032	2.515	.9969	.1587	.1594	1.013	.9979	.07902	.787.0
.001100	.04389	.27500	.27500	.27500	1.0035	2.456	.9966	.1665	.1672	1.014	.9977	.08285	.715.6
.001200	.04788	.30000	.30000	.30000	1.0038	2.404	.9962	.1739	.1748	1.015	.9975	.08651	.656.1
.001300	.05187	.32500	.32500	.32500	1.0041	2.357	.9959	.1810	.1820	1.016	.9973	.09001	.605.8
.001400	.05586	.35000	.35000	.35000	1.0044	2.314	.9956	.1879	.1890	1.018	.9971	.09338	.562.6
.001500	.05985	.37500	.37500	.37500	1.0047	2.275	.9953	.1945	.1957	1.019	.9969	.09663	.525
.001600	.06384	.40000	.40000	.40000	1.0051	2.239	.9949	.2009	.2022	1.020	.9967	.09977	.493
.001700	.06783	.42500	.42500	.42500	1.0054	2.205	.9946	.2071	.2086	1.022	.9965	.1028	.463
.001800	.07182	.45000	.45000	.45000	1.0057	2.174	.9943	.2131	.2147	1.023	.9962	.1058	.438
.001900	.07581	.47500	.47500	.47500	1.0060	2.145	.9940	.2190	.2207	1.024	.9960	.1087	.415
.002000	.07980	.50000	.50000	.50000	1.0063	2.119	.9937	.2247	.2266	1.025	.9958	.1114	.394
.002100	.08379	.52500	.52500	.52500	1.0066	2.094	.9934	.2303	.2323	1.027	.9956	.1141	.376
.002200	.08778	.55000	.55000	.55000	1.0069	2.070	.9931	.2357	.2379	1.028	.9954	.1161	.359
.002300	.09177	.57500	.57500	.57500	1.0073	2.047	.9928	.2410	.2433	1.029	.9952	.1193	.343
.002400	.09576	.60000	.60000	.60000	1.0076	2.025	.9925	.2462	.2487	1.031	.9950	.1219	.329
.002500	.09975	.62500	.62500	.62500	1.0079	2.005	.9922	.2513	.2540	1.032	.9948	.1243	.316
.002600	.10374	.65000	.65000	.65000	1.0082	1.986	.9919	.2563	.2592	1.033	.9946	.1268	.304
.002700	.10773	.67500	.67500	.67500	1.0085	1.967	.9916	.2612	.2642	1.034	.9944	.1292	.292
.002800	.11172	.70000	.70000	.70000	1.0088	1.950	.9912	.2661	.2692	1.036	.9942	.1315	.282
.002900	.11571	.72500	.72500	.72500	1.0092	1.933	.9909	.2708	.2741	1.037	.9939	.1338	.272
.003000	.11970	.75000	.75000	.75000	1.0095	1.917	.9906	.2755	.2790	1.038	.9937	.1360	.263
.003100	.12369	.77500	.77500	.77500	1.0098	1.902	.9903	.2800	.2837	1.040	.9935	.1382	.255
.003200	.12768	.80000	.80000	.80000	1.0101	1.887	.9900	.2845	.2884	1.041	.9933	.1404	.247
.003300	.13167	.82500	.82500	.82500	1.0104	1.873	.9897	.2890	.2930	1.042	.9931	.1425	.240
.003400	.13566	.85000	.85000	.85000	1.0108	1.860	.9893	.2934	.2976	1.043	.9929	.1446	.233
.003500	.13965	.87500	.87500	.87500	1.0111	1.847	.9890	.2977	.3021	1.045	.9927	.1466	.226
.003600	.14364	.90000	.90000	.90000	1.0114	1.834	.9887	.3020	.3065	1.046	.9925	.1487	.220
.003700	.14763	.92500	.92500	.92500	1.0117	1.822	.9884	.3061	.3109	1.047	.9923	.1507	.214
.003800	.15162	.95000	.95000	.95000	1.0121	1.810	.9881	.3103	.3153	1.049	.9921	.1527	.208
.003900	.15561	.97500	.97500	.97500	1.0124	1.799	.9878	.3144	.3196	1.050	.9919	.1546	.203
.004000	.15960	1.00000	1.00000	1.00000	1.0127	1.788	.9875	.3184	.3238	1.051	.9917	.1565	.198
.004100	.16359				1.0130	1.777	.9872	.3224	.3280	1.052	.9915	.1584	.193
.004200	.16758				1.0133	1.767	.9869	.3263	.3322	1.054	.9912	.1602	.189
.004300	.17157				1.0137	1.756	.9865	.3302	.3362	1.055	.9910	.1621	.184
.004400	.17556				1.0140	1.746	.9862	.3341	.3403	1.056	.9908	.1640	.180
.004500	.17955				1.0143	1.737	.9859	.3380	.3444	1.058	.9906	.1658	.176
.004600	.18354				1.0146	1.727	.9856	.3417	.3483	1.059	.9904	.1676	.172
.004700	.18753				1.0149	1.718	.9853	.3454	.3523	1.060	.9902	.1693	.169
.004800	.19152				1.0153	1.709	.9849	.3491	.3562	1.062	.9900	.1711	.165
.004900	.19551				1.0156	1.701	.9846	.3527	.3601	1.063	.9898	.1728	.162
.005000	.19950				1.0159	1.692	.9843	.3564	.3640	1.064	.9896	.1746	.159
.005100	.20349				1.0162	1.684	.9840	.3599	.3678	1.066	.9894	.1762	.156
.005200	.20748				1.0166	1.676	.9837	.3635	.3715	1.067	.9892	.1779	.153
.005300	.21147				1.0169	1.669	.9834	.3670	.3753	1.068	.9889	.1795	.150
.005400	.21546				1.0172	1.662	.9831	.3705	.3790	1.069	.9887	.1811	.147
.005500	.21945				1.0175	1.654	.9828	.3739	.3827	1.071	.9885	.1827	.145
.005600	.22344				1.0178	1.647	.9825	.3774	.3864	1.072	.9883	.1843	.142
.005700	.22743				1.0182	1.640	.9822	.3808	.3900	1.073	.9881	.1859	.140
.005800	.23142				1.0185	1.633	.9818	.3841	.3937	1.075	.9879	.1874	.137
.005900	.23541				1.0188	1.626	.9815	.3875	.3972	1.076	.9877	.1890	.135

*Also: b_3/a_3 , C/C_0 , I/L_0

Table C-1 -- Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	H/H_0	K	$h\pi d/L$	$\sinh \frac{h\pi d}{L}$	$\cosh \frac{h\pi d}{L}$	n	C/C_0
.006000	.03110	.1954	.1929	.1967	1.0192	1.620	.9812	.3908	.4008	1.077	.9875	.1905
.006100	.03136	.1970	.1945	.1983	1.0195	1.614	.9809	.3941	.4044	1.079	.9873	.1920
.006200	.03162	.1987	.1961	.2000	1.0198	1.607	.9806	.3973	.4079	1.080	.9871	.1935
.006300	.03188	.2003	.1976	.2016	1.0201	1.601	.9803	.4006	.4114	1.081	.9869	.1950
.006400	.03213	.2019	.1992	.2033	1.0205	1.595	.9799	.4038	.4148	1.083	.9867	.1965
.006500	.03238	.2035	.2007	.2049	1.0208	1.589	.9796	.4070	.4183	1.084	.9865	.1980
.006600	.03264	.2051	.2022	.2065	1.0211	1.583	.9793	.4101	.4217	1.085	.9863	.1994
.006700	.03289	.2066	.2037	.2081	1.0214	1.578	.9790	.4133	.4251	1.087	.9860	.2009
.006800	.03313	.2082	.2052	.2097	1.0217	1.572	.9787	.4164	.4285	1.088	.9858	.2023
.006900	.03338	.2097	.2067	.2113	1.0221	1.567	.9784	.4195	.4319	1.089	.9856	.2037
.007000	.03362	.2113	.2082	.2128	1.0224	1.561	.9781	.4225	.4352	1.091	.9854	.2051
.007100	.03387	.2128	.2096	.2144	1.0227	1.556	.9778	.4256	.4386	1.092	.9852	.2065
.007200	.03411	.2143	.2111	.2160	1.0231	1.551	.9774	.4286	.4419	1.093	.9850	.2079
.007300	.03435	.2158	.2125	.2175	1.0234	1.546	.9771	.4316	.4452	1.095	.9848	.2093
.007400	.03459	.2173	.2139	.2190	1.0237	1.541	.9768	.4346	.4484	1.096	.9846	.2106
.007500	.03482	.2188	.2154	.2205	1.0240	1.536	.9765	.4376	.4517	1.097	.9844	.2120
.007600	.03506	.2203	.2168	.2221	1.0244	1.531	.9762	.4406	.4549	1.099	.9842	.2134
.007700	.03529	.2218	.2182	.2236	1.0247	1.526	.9759	.4435	.4582	1.100	.9840	.2147
.007800	.03552	.2232	.2196	.2251	1.0250	1.521	.9756	.4464	.4614	1.101	.9838	.2160
.007900	.03576	.2247	.2209	.2265	1.0253	1.517	.9753	.4493	.4646	1.103	.9836	.2173
.008000	.03598	.2261	.2223	.2280	1.0257	1.512	.9750	.4522	.4678	1.104	.9834	.2186
.008100	.03621	.2275	.2237	.2295	1.0260	1.508	.9747	.4551	.4709	1.105	.9832	.2199
.008200	.03644	.2290	.2250	.2310	1.0263	1.503	.9744	.4579	.4741	1.107	.9830	.2212
.008300	.03666	.2304	.2264	.2324	1.0266	1.499	.9741	.4607	.4772	1.108	.9827	.2225
.008400	.03689	.2318	.2277	.2338	1.0270	1.495	.9737	.4636	.4803	1.109	.9825	.2237
.008500	.03711	.2332	.2290	.2353	1.0273	1.491	.9734	.4664	.4834	1.111	.9823	.2250
.008600	.03733	.2346	.2303	.2367	1.0276	1.487	.9731	.4691	.4865	1.112	.9821	.2262
.008700	.03755	.2360	.2317	.2381	1.0280	1.482	.9728	.4719	.4896	1.113	.9819	.2275
.008800	.03777	.2373	.2330	.2396	1.0283	1.478	.9725	.4747	.4927	1.115	.9817	.2287
.008900	.03799	.2387	.2343	.2410	1.0286	1.474	.9722	.4774	.4957	1.116	.9815	.2300
.009000	.03821	.2401	.2356	.2424	1.0290	1.471	.9718	.4801	.4988	1.118	.9813	.2312
.009100	.03842	.2414	.2368	.2438	1.0293	1.467	.9715	.4828	.5018	1.119	.9811	.2324
.009200	.03864	.2428	.2381	.2452	1.0296	1.463	.9712	.4855	.5049	1.120	.9809	.2336
.009300	.03885	.2441	.2394	.2465	1.0299	1.459	.9709	.4882	.5079	1.122	.9807	.2348
.009400	.03906	.2455	.2407	.2479	1.0303	1.456	.9706	.4909	.5109	1.123	.9805	.2360
.009500	.03928	.2468	.2419	.2493	1.0306	1.452	.9703	.4936	.5138	1.124	.9803	.2371
.009600	.03949	.2481	.2431	.2507	1.0309	1.448	.9700	.4962	.5168	1.126	.9801	.2383
.009700	.03970	.2494	.2443	.2520	1.0313	1.445	.9697	.4988	.5198	1.127	.9799	.2394
.009800	.03990	.2507	.2456	.2534	1.0316	1.442	.9694	.5014	.5227	1.128	.9797	.2406
.009900	.04011	.2520	.2468	.2547	1.0319	1.438	.9691	.5040	.5257	1.130	.9794	.2417
.01000	.04032	.2533	.2480	.2560	1.0322	1.435	.9688	.5066	.5286	1.131	.9792	.2429
.01100	.04233	.2660	.2598	.2691	1.0356	1.403	.9656	.5319	.5574	1.145	.9772	.2539
.01200	.04426	.2781	.2711	.2817	1.0389	1.375	.9625	.5562	.5853	1.159	.9751	.2643
.01300	.04612	.2898	.2820	.2938	1.0423	1.350	.9594	.5795	.6125	1.173	.9731	.2743
.01400	.04791	.3010	.2924	.3056	1.0456	1.327	.9564	.6020	.6391	1.187	.9710	.2838
.01500	.04964	.3119	.3022	.3170	1.0490	1.307	.9533	.6238	.6651	1.201	.9690	.2928
.01600	.05132	.3225	.3117	.3281	1.0524	1.288	.9502	.6450	.6906	1.215	.9670	.3014
.01700	.05296	.3328	.3209	.3389	1.0559	1.271	.9471	.6655	.7158	1.230	.9649	.3096
.01800	.05455	.3428	.3298	.3495	1.0593	1.255	.9440	.6856	.7405	1.244	.9629	.3176
.01900	.05611	.3525	.3386	.3599	1.0628	1.240	.9409	.7051	.7650	1.259	.9609	.3253
.02000	.05763	.3621	.3470	.3701	1.0663	1.226	.9378	.7242	.7891	1.274	.9588	.3327
.02100	.05912	.3714	.3552	.3800	1.0698	1.213	.9348	.7429	.8131	1.289	.9568	.3399
.02200	.06057	.3806	.3632	.3898	1.0733	1.201	.9317	.7612	.8368	1.304	.9548	.3468
.02300	.06200	.3896	.3710	.3995	1.0768	1.189	.9287	.7791	.8603	1.319	.9528	.3535
.02400	.06340	.3984	.3786	.4090	1.0804	1.178	.9256	.7967	.8837	1.335	.9508	.3600
.02500	.06478	.4070	.3860	.4184	1.0840	1.168	.9225	.8140	.9069	1.350	.9488	.3662
.02600	.06613	.4155	.3932	.4276	1.0876	1.159	.9195	.8310	.9310	1.366	.9468	.3722
.02700	.06747	.4239	.4002	.4367	1.0912	1.150	.9164	.8478	.9530	1.381	.9448	.3781
.02800	.06878	.4322	.4071	.4457	1.0949	1.141	.9133	.8643	.9760	1.397	.9428	.3838
.02900	.07007	.4403	.4138	.4546	1.0985	1.133	.9103	.8805	.9988	1.413	.9408	.3893

Table C-1 — Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$	$\sinh 2\pi d/L$	$\cosh 2\pi d/L$	H/H_0	K	$h/\pi d/L$	$\sinh h/\pi d/L$	$\cosh h/\pi d/L$	n	c_0/c_∞	M
.03000	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9073	.8966	1.022	1.430	.9388	.3947	27.9
.03100	.07260	.4562	.4269	.4721	1.1059	1.118	.9042	.9124	1.044	1.446	.9369	.4000	27.1
.03200	.07385	.4640	.4333	.4808	1.1096	1.111	.9012	.9280	1.067	1.462	.9349	.4051	26.3
.03300	.07507	.4717	.4395	.4894	1.1133	1.104	.8982	.9434	1.090	1.479	.9329	.4100	25.6
.03400	.07630	.4794	.4457	.4980	1.1171	1.098	.8952	.9588	1.113	1.496	.9309	.4149	24.8
.03500	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.8921	.9737	1.135	1.513	.9289	.4196	24.19
.03600	.07867	.4943	.4577	.5147	1.1247	1.086	.8891	.9886	1.158	1.530	.9270	.4242	23.56
.03700	.07984	.5017	.4635	.5230	1.1285	1.080	.8861	1.0033	1.180	1.547	.9250	.4287	22.97
.03800	.08100	.5090	.4691	.5312	1.1324	1.075	.8831	1.018	1.203	1.564	.9230	.4330	22.42
.03900	.08215	.5162	.4747	.5394	1.1362	1.069	.8801	1.032	1.226	1.582	.9211	.4372	21.90
.04000	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.8771	1.047	1.248	1.600	.9192	.4414	21.40
.04100	.08442	.5304	.4857	.5556	1.1440	1.059	.8741	1.061	1.271	1.617	.9172	.4455	20.92
.04200	.08553	.5374	.4911	.5637	1.1479	1.055	.8711	1.075	1.294	1.636	.9153	.4495	20.46
.04300	.08664	.5444	.4964	.5717	1.1518	1.050	.8688	1.089	1.317	1.654	.9133	.4534	20.03
.04400	.08774	.5513	.5015	.5796	1.1558	1.046	.8652	1.103	1.340	1.672	.9114	.4571	19.62
.04500	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.8621	1.116	1.363	1.691	.9095	.4607	19.23
.04600	.08991	.5649	.5116	.5954	1.1639	1.038	.8592	1.130	1.386	1.709	.9076	.4643	18.85
.04700	.09098	.5717	.5166	.6033	1.1679	1.034	.8562	1.143	1.409	1.728	.9057	.4679	18.49
.04800	.09205	.5784	.5215	.6111	1.1720	1.030	.8532	1.157	1.433	1.747	.9037	.4713	18.15
.04900	.09311	.5850	.5263	.6189	1.1760	1.026	.8503	1.170	1.456	1.766	.9018	.4746	17.82
.05000	.09416	.5916	.5310	.6267	1.1802	1.023	.8473	1.183	1.479	1.786	.8999	.4779	17.50
.05100	.09520	.5981	.5357	.6344	1.1843	1.019	.8444	1.196	1.503	1.805	.8980	.4811	17.19
.05200	.09623	.6046	.5403	.6421	1.1884	1.016	.8415	1.209	1.526	1.825	.8961	.4842	16.90
.05300	.09726	.6111	.5449	.6499	1.1926	1.013	.8385	1.222	1.550	1.845	.8943	.4873	16.62
.05400	.09829	.6176	.5494	.6575	1.1968	1.010	.8356	1.235	1.574	1.865	.8924	.4903	16.35
.05500	.09930	.6239	.5538	.6652	1.2011	1.007	.8326	1.248	1.598	1.885	.8905	.4932	16.09
.05600	.1003	.6303	.5582	.6729	1.2053	1.004	.8297	1.261	1.622	1.906	.8886	.4960	15.84
.05700	.1013	.6366	.5626	.6805	1.2096	1.001	.8267	1.273	1.646	1.926	.8867	.4988	15.60
.05800	.1023	.6428	.5668	.6880	1.2138	.9985	.8239	1.286	1.670	1.947	.8849	.5015	15.36
.05900	.1033	.6491	.5711	.6956	1.2181	.9958	.8209	1.298	1.695	1.968	.8830	.5042	15.13
.06000	.1043	.6553	.5753	.7033	1.2225	.9932	.8180	1.311	1.719	1.989	.8811	.5068	14.91
.06100	.1053	.6616	.5794	.7110	1.2270	.9907	.8150	1.3231	1.744	2.011	.8792	.5094	14.70
.06200	.1063	.6678	.5834	.7187	1.2315	.9883	.8121	1.336	1.770	2.033	.8773	.5119	14.50
.06300	.1073	.6739	.5874	.7265	1.2355	.9860	.8093	1.348	1.795	2.055	.8755	.5143	14.30
.06400	.1082	.6799	.5914	.7335	1.2402	.9837	.8063	1.360	1.819	2.076	.8737	.5167	14.11
.06500	.1092	.6860	.5954	.7411	1.2447	.9815	.8035	1.372	1.845	2.098	.8719	.5191	13.92
.06600	.1101	.6920	.5993	.7486	1.2492	.9793	.8005	1.384	1.870	2.121	.8700	.5214	13.74
.06700	.1111	.6981	.6031	.7561	1.2537	.9772	.7977	1.396	1.896	2.144	.8682	.5236	13.57
.06800	.1120	.7037	.6069	.7633	1.2580	.9752	.7948	1.408	1.921	2.166	.8664	.5258	13.40
.06900	.1130	.7099	.6106	.7711	1.2628	.9732	.7919	1.420	1.948	2.189	.8646	.5279	13.24
.07000	.1139	.7157	.6144	.7783	1.2672	.9713	.7890	1.432	1.974	2.213	.8627	.5300	13.08
.07100	.1149	.7219	.6181	.7863	1.2721	.9694	.7861	1.444	2.000	2.236	.8609	.5321	12.92
.07200	.1158	.7277	.6217	.7937	1.2767	.9676	.7833	1.455	2.026	2.260	.8591	.5341	12.77
.07300	.1168	.7336	.6252	.8011	1.2813	.9658	.7804	1.467	2.053	2.284	.8572	.5360	12.62
.07400	.1177	.7395	.6289	.8088	1.2861	.9641	.7775	1.479	2.080	2.308	.8554	.5380	12.48
.07500	.1186	.7453	.6324	.8162	1.2908	.9624	.7747	1.490	2.107	2.332	.8537	.5399	12.34
.07600	.1195	.7511	.6359	.8237	1.2956	.9607	.7719	1.502	2.135	2.357	.8519	.5417	12.21
.07700	.1205	.7569	.6392	.8312	1.3004	.9591	.7690	1.514	2.162	2.382	.8501	.5435	12.08
.07800	.1214	.7625	.6427	.8386	1.3051	.9576	.7662	1.525	2.189	2.407	.8483	.5452	11.95
.07900	.1223	.7683	.6460	.8462	1.3100	.9562	.7634	1.537	2.217	2.432	.8465	.5469	11.83
.08000	.1232	.7741	.6493	.8538	1.3149	.9548	.7605	1.548	2.245	2.458	.8448	.5485	11.71
.08100	.1241	.7799	.6526	.8614	1.3198	.9534	.7577	1.560	2.274	2.484	.8430	.5501	11.59
.08200	.1251	.7854	.6558	.8687	1.3246	.9520	.7549	1.571	2.303	2.511	.8413	.5517	11.47
.08300	.1259	.7911	.6590	.8762	1.3295	.9506	.7522	1.583	2.331	2.537	.8395	.5533	11.36
.08400	.1268	.7967	.6622	.8837	1.3345	.9493	.7494	1.594	2.360	2.563	.8378	.5548	11.25
.08500	.1277	.8026	.6655	.8915	1.3397	.9481	.7464	1.605	2.389	2.590	.8360	.5563	11.14
.08600	.1286	.8080	.6685	.8989	1.3446	.9469	.7437	1.616	2.418	2.617	.8342	.5577	11.04
.08700	.1295	.8137	.6716	.9064	1.3497	.9457	.7409	1.628	2.448	2.644	.8325	.5591	10.94
.08800	.1304	.8193	.6747	.9141	1.3548	.9445	.7381	1.639	2.478	2.672	.8308	.5605	10.84
.08900	.1313	.8250	.6778	.9218	1.3600	.9433	.7353	1.650	2.508	2.700	.8290	.5619	10.74

Table C-1 - Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$	$\sinh 2\pi d/L$	$\cosh 2\pi d/L$	h/h_0	K	$h\pi d/L$	$\sinh h\pi d/L$	$\cosh h\pi d/L$	n	c_g/c_0	$\%$
.09000	.1322	.8306	.6808	.9295	1.3653	.9422	.7324	1.661	2.538	2.728	.8273	.5632	10.65
.09100	.1331	.8363	.6838	.9372	1.3706	.9411	.7296	1.672	2.568	2.756	.8255	.5645	10.55
.09200	.1340	.8420	.6868	.9450	1.3759	.9401	.7268	1.684	2.599	2.785	.8238	.5658	10.46
.09300	.1349	.8477	.6897	.9525	1.3810	.9391	.7241	1.695	2.630	2.814	.8221	.5670	10.37
.09400	.1357	.8528	.6925	.9600	1.3862	.9381	.7214	1.706	2.662	2.843	.8204	.5682	10.29
.09500	.1366	.8583	.6953	.9677	1.3917	.9371	.7186	1.717	2.693	2.873	.8187	.5693	10.21
.09600	.1375	.8639	.6982	.9755	1.3970	.9362	.7158	1.728	2.726	2.903	.8170	.5704	10.12
.09700	.1384	.8694	.7011	.9832	1.4023	.9353	.7131	1.739	2.757	2.933	.8153	.5716	10.04
.09800	.1392	.8749	.7039	.9908	1.4077	.9344	.7104	1.750	2.790	2.963	.8136	.5727	9.962
.09900	.1401	.8803	.7066	.9985	1.4131	.9335	.7076	1.761	2.822	2.994	.8120	.5737	9.884
.1000	.1410	.8858	.7093	1.006	1.4187	.9327	.7049	1.772	2.855	3.025	.8103	.5747	9.808
.1010	.1419	.8913	.7120	1.014	1.4242	.9319	.7022	1.783	2.888	3.057	.8086	.5757	9.734
.1020	.1427	.8967	.7147	1.022	1.4297	.9311	.6994	1.793	2.922	3.088	.8069	.5766	9.661
.1030	.1436	.9023	.7173	1.030	1.4354	.9304	.6967	1.805	2.956	3.121	.8052	.5776	9.590
.1040	.1445	.9076	.7200	1.037	1.4410	.9297	.6940	1.815	2.990	3.153	.8036	.5785	9.519
.1050	.1453	.9130	.7226	1.045	1.4465	.9290	.6913	1.826	3.024	3.185	.8019	.5794	9.451
.1060	.1462	.9184	.7252	1.053	1.4523	.9282	.6886	1.837	3.059	3.218	.8003	.5803	9.384
.1070	.1470	.9239	.7277	1.061	1.4580	.9276	.6859	1.848	3.094	3.251	.7986	.5812	9.318
.1080	.1479	.9293	.7303	1.069	1.4638	.9269	.6833	1.858	3.128	3.284	.7970	.5820	9.254
.1090	.1488	.9343	.7327	1.076	1.4692	.9263	.6806	1.869	3.164	3.319	.7954	.5828	9.191
.1100	.1496	.9400	.7352	1.085	1.4752	.9257	.6779	1.880	3.201	3.353	.7937	.5836	9.129
.1110	.1505	.9456	.7377	1.093	1.4814	.9251	.6752	1.891	3.237	3.388	.7920	.5843	9.068
.1120	.1513	.9508	.7402	1.101	1.4871	.9245	.6725	1.902	3.274	3.423	.7904	.5850	9.009
.1130	.1522	.9563	.7426	1.109	1.4932	.9239	.6697	1.913	3.312	3.459	.7888	.5857	8.950
.1140	.1530	.9616	.7450	1.117	1.4990	.9234	.6671	1.923	3.348	3.494	.7872	.5864	8.891
.1150	.1539	.9670	.7474	1.125	1.5051	.9228	.6645	1.934	3.385	3.530	.7856	.5871	8.835
.1160	.1547	.9720	.7497	1.133	1.5108	.9223	.6619	1.944	3.423	3.566	.7840	.5878	8.780
.1170	.1556	.9775	.7520	1.141	1.5171	.9218	.6592	1.955	3.462	3.603	.7824	.5884	8.726
.1180	.1564	.9827	.7543	1.149	1.5230	.9214	.6566	1.966	3.501	3.641	.7808	.5890	8.673
.1190	.1573	.9882	.7566	1.157	1.5293	.9209	.6539	1.977	3.540	3.678	.7792	.5896	8.621
.1200	.1581	.9936	.7589	1.165	1.5356	.9204	.6512	1.987	3.579	3.716	.7776	.5902	8.569
.1210	.1590	.9989	.7612	1.174	1.5418	.9200	.6486	1.998	3.620	3.755	.7760	.5907	8.518
.1220	.1598	1.004	.7634	1.182	1.5479	.9196	.6460	2.008	3.659	3.793	.7745	.5913	8.468
.1230	.1607	1.010	.7656	1.190	1.5546	.9192	.6433	2.019	3.699	3.832	.7729	.5918	8.419
.1240	.1615	1.015	.7678	1.198	1.5605	.9189	.6407	2.030	3.740	3.871	.7713	.5922	8.371
.1250	.1624	1.020	.7700	1.207	1.5674	.9186	.6381	2.041	3.782	3.912	.7698	.5926	8.324
.1260	.1632	1.025	.7721	1.215	1.5734	.9182	.6356	2.051	3.824	3.952	.7682	.5931	8.278
.1270	.1640	1.030	.7742	1.223	1.5795	.9178	.6331	2.061	3.865	3.992	.7667	.5936	8.233
.1280	.1649	1.036	.7763	1.231	1.5862	.9175	.6305	2.072	3.907	4.033	.7652	.5940	8.189
.1290	.1657	1.041	.7783	1.240	1.5927	.9172	.6279	2.082	3.950	4.074	.7637	.5944	8.146
.1300	.1665	1.046	.7804	1.248	1.5990	.9169	.6254	2.093	3.992	4.115	.7621	.5948	8.103
.1310	.1674	1.052	.7824	1.257	1.6060	.9166	.6228	2.104	4.036	4.158	.7606	.5951	8.061
.1320	.1682	1.057	.7844	1.265	1.6124	.9164	.6202	2.114	4.080	4.201	.7591	.5954	8.020
.1330	.1691	1.062	.7865	1.273	1.6191	.9161	.6176	2.125	4.125	4.245	.7575	.5958	7.978
.1340	.1699	1.068	.7885	1.282	1.6260	.9158	.6150	2.135	4.169	4.288	.7560	.5961	7.937
.1350	.1708	1.073	.7905	1.291	1.633	.9156	.6123	2.146	4.217	4.334	.7545	.5964	7.897
.1360	.1716	1.078	.7925	1.300	1.640	.9154	.6098	2.156	4.262	4.378	.7530	.5967	7.857
.1370	.1724	1.084	.7945	1.308	1.647	.9152	.6073	2.167	4.309	4.423	.7515	.5969	7.819
.1380	.1733	1.089	.7964	1.317	1.654	.9150	.6047	2.177	4.355	4.468	.7500	.5972	7.781
.1390	.1741	1.094	.7983	1.326	1.660	.9148	.6022	2.188	4.402	4.514	.7485	.5975	7.744
.1400	.1749	1.099	.8002	1.334	1.667	.9146	.5998	2.198	4.450	4.561	.7471	.5978	7.707
.1410	.1758	1.105	.8021	1.343	1.675	.9144	.5972	2.209	4.498	4.607	.7456	.5980	7.671
.1420	.1766	1.110	.8039	1.352	1.681	.9142	.5947	2.219	4.546	4.654	.7441	.5982	7.636
.1430	.1774	1.115	.8057	1.360	1.688	.9141	.5923	2.230	4.595	4.663	.7426	.5984	7.602
.1440	.1783	1.120	.8076	1.369	1.696	.9140	.5898	2.240	4.644	4.751	.7412	.5986	7.567
.1450	.1791	1.125	.8094	1.378	1.703	.9139	.5873	2.251	4.695	4.800	.7397	.5987	7.533
.1460	.1800	1.131	.8112	1.388	1.710	.9137	.5847	2.261	4.746	4.850	.7382	.5989	7.499
.1470	.1808	1.136	.8131	1.397	1.718	.9136	.5822	2.272	4.798	4.901	.7368	.5990	7.465
.1480	.1816	1.141	.8149	1.405	1.725	.9135	.5798	2.282	4.847	4.951	.7354	.5992	7.432
.1490	.1825	1.146	.8166	1.415	1.732	.9134	.5773	2.293	4.901	5.001	.7339	.5993	7.400

Table C-1 -- Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	TANH $2\pi d/L$	SINH $2\pi d/L$	COSH $2\pi d/L$	H/H_0	K	$4\pi d/L$	SINH $4\pi d/L$	COSH $4\pi d/L$	n	C_G/C_0	N
.1500	.1833	1.152	.8183	1.424	1.740	.9133	.5748	2.303	4.954	5.054	.7325	.5994	7.369
.1510	.1841	1.157	.8200	1.433	1.747	.9133	.5723	2.314	5.007	5.106	.7311	.5994	7.339
.1520	.1850	1.162	.8217	1.442	1.755	.9132	.5699	2.324	5.061	5.159	.7296	.5995	7.309
.1530	.1858	1.167	.8234	1.451	1.762	.9132	.5675	2.335	5.115	5.212	.7282	.5996	7.279
.1540	.1866	1.173	.8250	1.460	1.770	.9132	.5651	2.345	5.169	5.265	.7268	.5996	7.250
.1550	.1875	1.178	.8267	1.469	1.777	.9131	.5627	2.356	5.225	5.320	.7254	.5997	7.221
.1560	.1883	1.183	.8284	1.479	1.785	.9130	.5602	2.366	5.283	5.376	.7240	.5998	7.191
.1570	.1891	1.188	.8301	1.488	1.793	.9129	.5577	2.377	5.339	5.432	.7226	.5999	7.162
.1580	.1900	1.194	.8317	1.498	1.801	.9130	.5552	2.387	5.398	5.490	.7212	.5998	7.134
.1590	.1908	1.199	.8333	1.507	1.809	.9130	.5528	2.398	5.454	5.544	.7198	.5998	7.107
.1600	.1917	1.204	.8349	1.517	1.817	.9130	.5504	2.408	5.513	5.603	.7184	.5998	7.079
.1610	.1925	1.209	.8365	1.527	1.825	.9130	.5480	2.419	5.571	5.660	.7171	.5998	7.052
.1620	.1933	1.215	.8381	1.536	1.833	.9130	.5456	2.429	5.630	5.718	.7157	.5998	7.026
.1630	.1941	1.220	.8396	1.546	1.841	.9130	.5432	2.440	5.690	5.777	.7144	.5998	7.000
.1640	.1950	1.225	.8411	1.555	1.849	.9130	.5409	2.450	5.751	5.837	.7130	.5998	6.975
.1650	.1958	1.230	.8427	1.565	1.857	.9131	.5385	2.461	5.813	5.898	.7117	.5997	6.949
.1660	.1966	1.235	.8442	1.574	1.865	.9132	.5362	2.471	5.874	5.959	.7103	.5996	6.924
.1670	.1975	1.240	.8457	1.584	1.873	.9132	.5339	2.482	5.938	6.021	.7090	.5996	6.900
.1680	.1983	1.246	.8472	1.594	1.882	.9133	.5315	2.492	6.003	6.085	.7076	.5995	6.876
.1690	.1992	1.251	.8486	1.604	1.890	.9133	.5291	2.503	6.066	6.148	.7063	.5994	6.853
.1700	.2000	1.257	.8501	1.614	1.899	.9134	.5267	2.513	6.130	6.212	.7050	.5993	6.830
.1710	.2008	1.262	.8515	1.624	1.907	.9135	.5243	2.523	6.197	6.275	.7036	.5992	6.807
.1720	.2017	1.267	.8529	1.634	1.915	.9136	.5220	2.534	6.262	6.342	.7023	.5991	6.784
.1730	.2025	1.272	.8544	1.644	1.924	.9137	.5197	2.544	6.329	6.407	.7010	.5990	6.761
.1740	.2033	1.277	.8558	1.654	1.933	.9138	.5174	2.555	6.395	6.473	.6997	.5988	6.738
.1750	.2042	1.282	.8572	1.664	1.941	.9139	.5151	2.565	6.465	6.541	.6984	.5987	6.716
.1760	.2050	1.288	.8586	1.675	1.951	.9140	.5127	2.576	6.534	6.610	.6971	.5985	6.694
.1770	.2058	1.293	.8600	1.685	1.959	.9141	.5104	2.586	6.603	6.679	.6958	.5984	6.672
.1780	.2066	1.298	.8614	1.695	1.968	.9142	.5081	2.597	6.672	6.747	.6946	.5982	6.651
.1790	.2075	1.304	.8627	1.706	1.977	.9144	.5058	2.607	6.744	6.818	.6933	.5980	6.631
.1800	.2083	1.309	.8640	1.716	1.986	.9145	.5036	2.618	6.818	6.891	.6920	.5979	6.611
.1810	.2092	1.314	.8653	1.727	1.995	.9146	.5013	2.629	6.890	6.963	.6907	.5977	6.591
.1820	.2100	1.320	.8666	1.737	2.004	.9148	.4990	2.639	6.963	7.035	.6895	.5975	6.571
.1830	.2108	1.325	.8680	1.748	2.013	.9149	.4967	2.650	7.038	7.109	.6882	.5974	6.550
.1840	.2117	1.330	.8693	1.758	2.022	.9150	.4945	2.660	7.113	7.183	.6870	.5972	6.530
.1850	.2125	1.335	.8706	1.769	2.032	.9152	.4922	2.671	7.191	7.260	.6857	.5969	6.511
.1860	.2134	1.341	.8718	1.780	2.041	.9154	.4899	2.681	7.267	7.336	.6845	.5967	6.492
.1870	.2142	1.346	.8731	1.791	2.051	.9155	.4876	2.692	7.345	7.412	.6832	.5965	6.474
.1880	.2150	1.351	.8743	1.801	2.060	.9157	.4854	2.702	7.421	7.488	.6820	.5963	6.456
.1890	.2159	1.356	.8755	1.812	2.070	.9159	.4832	2.712	7.500	7.566	.6808	.5961	6.438
.1900	.2167	1.362	.8767	1.823	2.079	.9161	.4809	2.723	7.581	7.647	.6796	.5958	6.421
.1910	.2176	1.367	.8779	1.834	2.089	.9163	.4787	2.734	7.663	7.728	.6784	.5955	6.403
.1920	.2184	1.372	.8791	1.845	2.099	.9165	.4765	2.744	7.746	7.810	.6772	.5952	6.385
.1930	.2192	1.377	.8803	1.856	2.108	.9167	.4743	2.755	7.827	7.891	.6760	.5950	6.368
.1940	.2201	1.383	.8815	1.867	2.118	.9169	.4721	2.765	7.911	7.974	.6748	.5948	6.351
.1950	.2209	1.388	.8827	1.879	2.128	.9170	.4699	2.776	7.996	8.059	.6736	.5946	6.334
.1960	.2218	1.393	.8839	1.890	2.138	.9172	.4677	2.787	8.083	8.145	.6724	.5944	6.317
.1970	.2226	1.399	.8850	1.901	2.148	.9174	.4655	2.797	8.167	8.228	.6712	.5941	6.300
.1980	.2234	1.404	.8862	1.913	2.158	.9176	.4633	2.808	8.256	8.316	.6700	.5938	6.284
.1990	.2243	1.409	.8873	1.924	2.169	.9179	.4611	2.819	8.346	8.406	.6689	.5935	6.268
.2000	.2251	1.414	.8884	1.935	2.178	.9181	.4590	2.829	8.436	8.495	.6677	.5932	6.253
.2010	.2260	1.420	.8895	1.947	2.189	.9183	.4569	2.840	8.524	8.583	.6666	.5929	6.237
.2020	.2268	1.425	.8906	1.959	2.199	.9186	.4547	2.850	8.616	8.674	.6654	.5926	6.222
.2030	.2277	1.430	.8917	1.970	2.210	.9188	.4526	2.861	8.708	8.766	.6642	.5923	6.206
.2040	.2285	1.436	.8928	1.982	2.220	.9190	.4504	2.872	8.803	8.860	.6631	.5920	6.191
.2050	.2293	1.441	.8939	1.994	2.231	.9193	.4483	2.882	8.897	8.953	.6620	.5917	6.176
.2060	.2302	1.446	.8950	2.006	2.242	.9195	.4462	2.893	8.994	9.050	.6608	.5914	6.161
.2070	.2310	1.451	.8960	2.017	2.252	.9197	.4441	2.903	9.090	9.144	.6597	.5911	6.147
.2080	.2319	1.457	.8971	2.030	2.263	.9200	.4419	2.914	9.187	9.240	.6586	.5908	6.133
.2090	.2328	1.462	.8981	2.042	2.274	.9202	.4398	2.925	9.288	9.342	.6574	.5905	6.119

Table C-1 — Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$	$\sinh 2\pi d/L$	$\cosh 2\pi d/L$	H/H_0	K	$4\pi d/L$	$\sinh 4\pi d/L$	$\cosh 4\pi d/L$	n	c_g/c_0	M
.2100	.2336	1.468	.8991	2.055	2.285	.9205	.4377	2.936	9.389	9.442	.6563	.5901	6.105
.2110	.2344	1.473	.9001	2.066	2.295	.9207	.4357	2.946	9.490	9.542	.6552	.5898	6.091
.2120	.2353	1.479	.9011	2.079	2.307	.9210	.4336	2.957	9.590	9.642	.6541	.5894	6.077
.2130	.2361	1.484	.9021	2.091	2.318	.9213	.4315	2.967	9.693	9.744	.6531	.5891	6.064
.2140	.2370	1.489	.9031	2.103	2.329	.9215	.4294	2.978	9.796	9.847	.6520	.5888	6.051
.2150	.2378	1.494	.9041	2.115	2.340	.9218	.4274	2.989	9.902	9.952	.6509	.5884	6.037
.2160	.2387	1.500	.9051	2.128	2.351	.9221	.4253	2.999	10.01	10.06	.6498	.5881	6.024
.2170	.2395	1.506	.9061	2.142	2.364	.9223	.4232	3.010	10.12	10.17	.6488	.5878	6.011
.2180	.2404	1.511	.9070	2.154	2.375	.9226	.4211	3.021	10.23	10.28	.6477	.5874	5.999
.2190	.2412	1.516	.9079	2.166	2.386	.9228	.4191	3.031	10.34	10.38	.6467	.5871	5.987
.2200	.2421	1.521	.9088	2.178	2.397	.9231	.4171	3.042	10.45	10.50	.6456	.5868	5.975
.2210	.2429	1.526	.9097	2.192	2.409	.9234	.4151	3.052	10.56	10.61	.6446	.5864	5.963
.2220	.2438	1.532	.9107	2.204	2.421	.9236	.4131	3.063	10.68	10.72	.6436	.5861	5.951
.2230	.2446	1.537	.9116	2.218	2.433	.9239	.4111	3.074	10.79	10.84	.6425	.5857	5.939
.2240	.2455	1.542	.9125	2.230	2.444	.9242	.4091	3.085	10.91	10.95	.6414	.5854	5.927
.2250	.2463	1.548	.9134	2.244	2.457	.9245	.4071	3.095	11.02	11.07	.6404	.5850	5.915
.2260	.2472	1.553	.9143	2.257	2.469	.9248	.4051	3.106	11.15	11.19	.6394	.5846	5.903
.2270	.2481	1.559	.9152	2.271	2.481	.9251	.4031	3.117	11.27	11.31	.6383	.5842	5.891
.2280	.2489	1.564	.9161	2.284	2.493	.9254	.4011	3.128	11.39	11.44	.6373	.5838	5.880
.2290	.2498	1.569	.9170	2.297	2.506	.9258	.3991	3.138	11.51	11.56	.6363	.5834	5.869
.2300	.2506	1.575	.9178	2.311	2.518	.9261	.3971	3.149	11.64	11.68	.6353	.5830	5.858
.2310	.2515	1.580	.9186	2.325	2.531	.9264	.3952	3.160	11.77	11.81	.6343	.5826	5.848
.2320	.2523	1.585	.9194	2.338	2.543	.9267	.3932	3.171	11.90	11.93	.6333	.5823	5.838
.2330	.2532	1.591	.9203	2.352	2.556	.9270	.3912	3.182	12.03	12.07	.6323	.5819	5.827
.2340	.2540	1.596	.9211	2.366	2.569	.9273	.3893	3.192	12.15	12.19	.6313	.5815	5.816
.2350	.2549	1.602	.9219	2.380	2.581	.9276	.3874	3.203	12.29	12.33	.6304	.5811	5.806
.2360	.2558	1.607	.9227	2.393	2.594	.9279	.3855	3.214	12.43	12.47	.6294	.5807	5.796
.2370	.2566	1.612	.9235	2.408	2.607	.9282	.3836	3.225	12.55	12.59	.6284	.5804	5.786
.2380	.2575	1.618	.9243	2.422	2.620	.9285	.3816	3.236	12.69	12.73	.6275	.5800	5.776
.2390	.2584	1.623	.9251	2.436	2.634	.9288	.3797	3.247	12.83	12.87	.6265	.5796	5.766
.2400	.2592	1.629	.9259	2.450	2.647	.9291	.3779	3.257	12.97	13.01	.6256	.5792	5.756
.2410	.2601	1.634	.9267	2.464	2.660	.9294	.3760	3.268	13.11	13.15	.6246	.5788	5.746
.2420	.2610	1.640	.9275	2.480	2.674	.9298	.3741	3.279	13.26	13.30	.6237	.5784	5.736
.2430	.2618	1.645	.9282	2.494	2.687	.9301	.3722	3.290	13.40	13.44	.6228	.5780	5.727
.2440	.2627	1.650	.9289	2.508	2.700	.9304	.3704	3.301	13.55	13.59	.6218	.5776	5.718
.2450	.2635	1.656	.9296	2.523	2.714	.9307	.3685	3.312	13.70	13.73	.6209	.5772	5.710
.2460	.2644	1.661	.9304	2.538	2.728	.9310	.3666	3.323	13.85	13.88	.6200	.5768	5.701
.2470	.2653	1.667	.9311	2.553	2.742	.9314	.3648	3.334	14.00	14.04	.6191	.5764	5.692
.2480	.2661	1.672	.9318	2.568	2.755	.9317	.3629	3.344	14.15	14.19	.6182	.5760	5.684
.2490	.2670	1.678	.9325	2.583	2.770	.9320	.3610	3.355	14.31	14.35	.6173	.5756	5.675
.2500	.2679	1.683	.9332	2.599	2.784	.9323	.3592	3.367	14.47	14.51	.6164	.5752	5.667
.2510	.2687	1.689	.9339	2.614	2.798	.9327	.3574	3.377	14.62	14.66	.6155	.5748	5.658
.2520	.2696	1.694	.9346	2.629	2.813	.9330	.3556	3.388	14.79	14.82	.6146	.5744	5.650
.2530	.2705	1.700	.9353	2.645	2.828	.9333	.3537	3.399	14.95	14.99	.6137	.5740	5.641
.2540	.2714	1.705	.9360	2.660	2.842	.9336	.3519	3.410	15.12	15.15	.6128	.5736	5.633
.2550	.2722	1.711	.9367	2.676	2.856	.9340	.3501	3.421	15.29	15.32	.6120	.5732	5.624
.2560	.2731	1.716	.9374	2.691	2.871	.9343	.3483	3.432	15.45	15.49	.6111	.5728	5.616
.2570	.2740	1.722	.9381	2.707	2.886	.9346	.3465	3.443	15.63	15.66	.6102	.5724	5.608
.2580	.2749	1.727	.9388	2.723	2.901	.9349	.3447	3.454	15.80	15.83	.6093	.5720	5.600
.2590	.2757	1.732	.9394	2.739	2.916	.9353	.3430	3.465	15.97	16.00	.6085	.5716	5.592
.2600	.2766	1.738	.9400	2.755	2.931	.9356	.3412	3.476	16.15	16.18	.6076	.5712	5.585
.2610	.2775	1.744	.9406	2.772	2.946	.9360	.3394	3.487	16.33	16.36	.6068	.5707	5.578
.2620	.2784	1.749	.9412	2.788	2.962	.9363	.3376	3.498	16.51	16.54	.6060	.5703	5.571
.2630	.2792	1.755	.9418	2.804	2.977	.9367	.3359	3.509	16.69	16.73	.6052	.5699	5.563
.2640	.2801	1.760	.9425	2.820	2.992	.9370	.3342	3.520	16.88	16.91	.6043	.5695	5.556
.2650	.2810	1.766	.9431	2.837	3.008	.9373	.3325	3.531	17.07	17.10	.6035	.5691	5.548
.2660	.2819	1.771	.9437	2.853	3.023	.9377	.3308	3.542	17.26	17.28	.6027	.5687	5.541
.2670	.2827	1.776	.9443	2.870	3.039	.9380	.3291	3.553	17.45	17.45	.6018	.5683	5.534
.2680	.2836	1.782	.9449	2.886	3.055	.9383	.3274	3.564	17.64	17.67	.6010	.5679	5.527
.2690	.2845	1.788	.9455	2.904	3.071	.9386	.3256	3.575	17.84	17.87	.6002	.5675	5.520

Table C-1 -- Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	TANH $2\pi d/L$	SINH $2\pi d/L$	COSH $2\pi d/L$	H/H_0	K	$h\pi d/L$	SINH $h\pi d/L$	COSH $h\pi d/L$	n	G_0/C_0	M
.2700	.2854	1.793	.9461	2.921	3.088	.9390	.3239	3.587	18.04	18.07	.5994	.5671	5.513
.2710	.2863	1.799	.9467	2.930	3.104	.9393	.3222	3.598	18.24	18.27	.5986	.5667	5.506
.2720	.2872	1.804	.9473	2.956	3.120	.9396	.3205	3.610	18.46	18.49	.5978	.5663	5.499
.2730	.2880	1.810	.9478	2.973	3.136	.9400	.3189	3.620	18.65	18.67	.5971	.5659	5.493
.2740	.2889	1.815	.9484	2.990	3.153	.9403	.3172	3.631	18.86	18.89	.5963	.5655	5.486
.2750	.2898	1.821	.9490	3.008	3.170	.9406	.3155	3.642	19.07	19.10	.5955	.5651	5.480
.2760	.2907	1.826	.9495	3.025	3.186	.9410	.3139	3.653	19.28	19.30	.5947	.5647	5.474
.2770	.2916	1.832	.9500	3.043	3.203	.9413	.3122	3.664	19.49	19.51	.5940	.5643	5.468
.2780	.2924	1.837	.9505	3.061	3.220	.9416	.3106	3.675	19.71	19.74	.5932	.5639	5.462
.2790	.2933	1.843	.9511	3.079	3.237	.9420	.3089	3.686	19.93	19.96	.5925	.5635	5.456
.2800	.2942	1.849	.9516	3.097	3.254	.9423	.3073	3.697	20.16	20.18	.5917	.5631	5.450
.2810	.2951	1.854	.9521	3.115	3.272	.9426	.3057	3.709	20.39	20.41	.5910	.5627	5.444
.2820	.2960	1.860	.9526	3.133	3.289	.9430	.3040	3.720	20.62	20.64	.5902	.5623	5.438
.2830	.2969	1.866	.9532	3.152	3.307	.9433	.3024	3.731	20.85	20.87	.5895	.5619	5.432
.2840	.2978	1.871	.9537	3.171	3.325	.9436	.3008	3.742	21.09	21.11	.5887	.5615	5.426
.2850	.2987	1.877	.9542	3.190	3.343	.9440	.2992	3.754	21.33	21.35	.5880	.5611	5.420
.2860	.2996	1.882	.9547	3.209	3.361	.9443	.2976	3.765	21.57	21.59	.5873	.5607	5.414
.2870	.3005	1.888	.9552	3.228	3.379	.9446	.2959	3.776	21.82	21.84	.5866	.5603	5.409
.2880	.3014	1.893	.9557	3.246	3.396	.9449	.2944	3.787	22.05	22.07	.5859	.5600	5.403
.2890	.3022	1.899	.9562	3.264	3.414	.9452	.2929	3.798	22.30	22.32	.5852	.5596	5.397
.2900	.3031	1.905	.9567	3.284	3.433	.9456	.2913	3.809	22.54	22.57	.5845	.5592	5.392
.2910	.3040	1.910	.9572	3.303	3.451	.9459	.2898	3.821	22.81	22.83	.5838	.5588	5.386
.2920	.3049	1.916	.9577	3.323	3.471	.9463	.2882	3.832	23.07	23.09	.5831	.5584	5.380
.2930	.3058	1.922	.9581	3.343	3.490	.9466	.2866	3.843	23.33	23.35	.5824	.5580	5.375
.2940	.3067	1.927	.9585	3.362	3.508	.9469	.2851	3.855	23.60	23.62	.5817	.5576	5.371
.2950	.3076	1.933	.9590	3.382	3.527	.9473	.2835	3.866	23.86	23.88	.5810	.5572	5.366
.2960	.3085	1.938	.9594	3.402	3.546	.9476	.2820	3.877	24.12	24.15	.5804	.5568	5.361
.2970	.3094	1.944	.9599	3.422	3.565	.9480	.2805	3.888	24.40	24.42	.5797	.5564	5.356
.2980	.3103	1.950	.9603	3.442	3.585	.9483	.2790	3.900	24.68	24.70	.5790	.5560	5.351
.2990	.3112	1.955	.9607	3.462	3.604	.9486	.2775	3.911	24.96	24.98	.5784	.5556	5.347
.3000	.3121	1.961	.9611	3.483	3.624	.9490	.2760	3.922	25.24	25.26	.5777	.5552	5.342
.3010	.3130	1.967	.9616	3.503	3.643	.9493	.2745	3.933	25.53	25.55	.5771	.5549	5.337
.3020	.3139	1.972	.9620	3.524	3.663	.9496	.2730	3.945	25.82	25.83	.5764	.5545	5.332
.3030	.3148	1.978	.9624	3.545	3.683	.9499	.2715	3.956	26.12	26.14	.5758	.5541	5.328
.3040	.3157	1.984	.9629	3.566	3.703	.9502	.2700	3.968	26.42	26.44	.5751	.5538	5.323
.3050	.3166	1.989	.9633	3.587	3.724	.9505	.2685	3.979	26.72	26.74	.5745	.5534	5.318
.3060	.3175	1.995	.9637	3.609	3.745	.9509	.2670	3.990	27.02	27.04	.5739	.5530	5.314
.3070	.3184	2.001	.9641	3.630	3.765	.9512	.2656	4.002	27.33	27.35	.5732	.5527	5.309
.3080	.3193	2.007	.9645	3.651	3.786	.9515	.2641	4.013	27.65	27.66	.5726	.5523	5.305
.3090	.3202	2.012	.9649	3.673	3.806	.9518	.2627	4.024	27.96	27.98	.5720	.5519	5.300
.3100	.3211	2.018	.9653	3.694	3.827	.9522	.2613	4.036	28.28	28.30	.5714	.5515	5.296
.3110	.3220	2.023	.9656	3.716	3.848	.9525	.2599	4.047	28.60	28.62	.5708	.5511	5.292
.3120	.3230	2.029	.9660	3.738	3.870	.9528	.2584	4.058	28.93	28.95	.5701	.5507	5.288
.3130	.3239	2.035	.9664	3.760	3.891	.9531	.2570	4.070	29.27	29.28	.5695	.5504	5.284
.3140	.3248	2.041	.9668	3.782	3.912	.9535	.2556	4.081	29.60	29.62	.5689	.5500	5.280
.3150	.3257	2.046	.9672	3.805	3.934	.9538	.2542	4.093	29.94	29.96	.5683	.5497	5.276
.3160	.3266	2.052	.9676	3.828	3.956	.9541	.2528	4.104	30.29	30.31	.5678	.5494	5.272
.3170	.3275	2.058	.9679	3.851	3.978	.9544	.2514	4.116	30.64	30.65	.5672	.5490	5.268
.3180	.3284	2.063	.9682	3.873	4.000	.9547	.2500	4.127	30.99	31.00	.5666	.5486	5.264
.3190	.3294	2.069	.9686	3.896	4.022	.9550	.2486	4.139	31.35	31.37	.5660	.5483	5.260
.3200	.3302	2.075	.9690	3.919	4.045	.9553	.2472	4.150	31.71	31.72	.5655	.5479	5.256
.3210	.3311	2.081	.9693	3.943	4.068	.9556	.2459	4.161	32.07	32.08	.5649	.5476	5.252
.3220	.3321	2.086	.9696	3.966	4.090	.9559	.2445	4.173	32.44	32.46	.5643	.5472	5.249
.3230	.3330	2.092	.9700	3.990	4.114	.9562	.2431	4.185	32.83	32.84	.5637	.5468	5.245
.3240	.3339	2.098	.9703	4.014	4.136	.9565	.2418	4.196	33.20	33.22	.5632	.5465	5.241
.3250	.3349	2.104	.9707	4.038	4.160	.9568	.2404	4.208	33.60	33.61	.5627	.5462	5.237
.3260	.3357	2.110	.9710	4.061	4.183	.9571	.2391	4.219	33.97	33.99	.5621	.5458	5.234
.3270	.3367	2.115	.9713	4.085	4.206	.9574	.2378	4.231	34.38	34.39	.5616	.5455	5.231
.3280	.3376	2.121	.9717	4.110	4.230	.9577	.2364	4.242	34.77	34.79	.5610	.5451	5.227
.3290	.3385	2.127	.9720	4.135	4.254	.9580	.2351	4.254	35.18	35.19	.5605	.5448	5.223

Table C-1 — Continued

d/L °	d/L	2 π d/L	TANH 2 π d/L	SINH 2 π d/L	COSH 2 π d/L	H/H ₀	K	h π d/L	SINH h π d/L	COSH h π d/L	n	c _G /c ₀	M
.3300	.3394	2.133	.9723	4.199	4.277	.9583	.2338	4.265	35.58	35.59	.5599	.5444	5.220
.3310	.3403	2.138	.9726	4.184	4.301	.9586	.2325	4.277	35.99	36.00	.5594	.5441	5.217
.3320	.3413	2.144	.9729	4.209	4.326	.9589	.2312	4.288	36.42	36.43	.5589	.5438	5.214
.3330	.3422	2.150	.9732	4.234	4.350	.9592	.2299	4.300	36.84	36.85	.5584	.5434	5.210
.3340	.3431	2.156	.9735	4.259	4.375	.9595	.2286	4.311	37.25	37.27	.5578	.5431	5.207
.3350	.3440	2.161	.9738	4.284	4.399	.9598	.2273	4.323	37.70	37.72	.5573	.5427	5.204
.3360	.3449	2.167	.9741	4.310	4.424	.9601	.2260	4.335	38.14	38.15	.5568	.5424	5.201
.3370	.3459	2.173	.9744	4.336	4.450	.9604	.2247	4.346	38.59	38.60	.5563	.5421	5.198
.3380	.3468	2.179	.9747	4.361	4.474	.9607	.2235	4.358	39.02	39.04	.5558	.5417	5.194
.3390	.3477	2.185	.9750	4.388	4.500	.9610	.2222	4.369	39.48	39.49	.5553	.5414	5.191
.3400	.3486	2.190	.9753	4.413	4.525	.9613	.2210	4.381	39.95	39.96	.5548	.5411	5.188
.3410	.3495	2.196	.9756	4.439	4.550	.9615	.2198	4.392	40.40	40.41	.5544	.5408	5.185
.3420	.3504	2.202	.9758	4.466	4.576	.9618	.2185	4.404	40.87	40.89	.5539	.5405	5.182
.3430	.3514	2.208	.9761	4.492	4.602	.9621	.2173	4.416	41.36	41.37	.5534	.5402	5.179
.3440	.3523	2.214	.9764	4.521	4.630	.9623	.2160	4.427	41.85	41.86	.5529	.5399	5.176
.3450	.3532	2.220	.9767	4.547	4.656	.9626	.2148	4.439	42.33	42.34	.5524	.5396	5.173
.3460	.3542	2.225	.9769	4.575	4.682	.9629	.2136	4.451	42.83	42.84	.5519	.5392	5.171
.3470	.3551	2.231	.9772	4.602	4.709	.9632	.2124	4.462	43.34	43.35	.5515	.5389	5.168
.3480	.3560	2.237	.9775	4.629	4.736	.9635	.2111	4.474	43.85	43.86	.5510	.5386	5.165
.3490	.3570	2.243	.9777	4.657	4.763	.9638	.2099	4.486	44.37	44.40	.5505	.5383	5.162
.3500	.3579	2.249	.9780	4.685	4.791	.9640	.2087	4.498	44.89	44.90	.5501	.5380	5.159
.3510	.3588	2.255	.9782	4.713	4.818	.9643	.2076	4.509	45.42	45.43	.5496	.5377	5.157
.3520	.3598	2.260	.9785	4.741	4.845	.9646	.2064	4.521	45.95	45.96	.5492	.5374	5.154
.3530	.3607	2.266	.9787	4.770	4.873	.9648	.2052	4.533	46.50	46.51	.5487	.5371	5.152
.3540	.3616	2.272	.9790	4.798	4.901	.9651	.2040	4.544	47.03	47.04	.5483	.5368	5.149
.3550	.3625	2.278	.9792	4.827	4.929	.9654	.2029	4.556	47.59	47.60	.5479	.5365	5.147
.3560	.3635	2.284	.9795	4.856	4.957	.9657	.2017	4.568	48.15	48.16	.5474	.5362	5.144
.3570	.3644	2.290	.9797	4.885	4.987	.9659	.2005	4.579	48.72	48.73	.5470	.5359	5.141
.3580	.3653	2.296	.9799	4.914	5.015	.9662	.1994	4.591	49.29	49.30	.5466	.5356	5.139
.3590	.3663	2.301	.9801	4.944	5.044	.9665	.1983	4.603	49.88	49.89	.5461	.5353	5.137
.3600	.3672	2.307	.9804	4.974	5.072	.9667	.1972	4.615	50.47	50.48	.5457	.5350	5.134
.3610	.3682	2.313	.9806	5.004	5.103	.9670	.1960	4.627	51.08	51.09	.5453	.5347	5.132
.3620	.3691	2.319	.9808	5.034	5.132	.9673	.1949	4.638	51.67	51.67	.5449	.5344	5.130
.3630	.3700	2.325	.9811	5.063	5.161	.9675	.1938	4.650	52.27	52.28	.5445	.5342	5.127
.3640	.3709	2.331	.9813	5.094	5.191	.9677	.1926	4.661	52.89	52.90	.5441	.5339	5.125
.3650	.3719	2.337	.9815	5.124	5.221	.9680	.1915	4.673	53.52	53.53	.5437	.5336	5.123
.3660	.3728	2.342	.9817	5.155	5.251	.9683	.1904	4.685	54.15	54.16	.5433	.5333	5.121
.3670	.3737	2.348	.9819	5.186	5.281	.9686	.1894	4.697	54.78	54.79	.5429	.5330	5.118
.3680	.3747	2.354	.9821	5.217	5.312	.9688	.1883	4.708	55.42	55.43	.5425	.5327	5.116
.3690	.3756	2.360	.9823	5.248	5.343	.9690	.1872	4.720	56.09	56.10	.5421	.5325	5.114
.3700	.3766	2.366	.9825	5.280	5.374	.9693	.1861	4.732	56.76	56.77	.5417	.5322	5.112
.3710	.3775	2.372	.9827	5.312	5.406	.9696	.1850	4.744	57.43	57.44	.5413	.5319	5.110
.3720	.3785	2.378	.9830	5.345	5.438	.9698	.1839	4.756	58.13	58.14	.5409	.5317	5.107
.3730	.3794	2.384	.9832	5.377	5.469	.9700	.1828	4.768	58.82	58.83	.5405	.5314	5.105
.3740	.3804	2.390	.9834	5.410	5.502	.9702	.1818	4.780	59.52	59.53	.5402	.5312	5.103
.3750	.3813	2.396	.9835	5.443	5.534	.9705	.1807	4.792	60.24	60.25	.5398	.5309	5.101
.3760	.3822	2.402	.9837	5.475	5.566	.9707	.1797	4.803	60.95	60.95	.5394	.5306	5.099
.3770	.3832	2.408	.9839	5.508	5.598	.9709	.1786	4.815	61.68	61.68	.5390	.5304	5.097
.3780	.3841	2.413	.9841	5.541	5.631	.9712	.1776	4.827	62.41	62.42	.5387	.5301	5.095
.3790	.3850	2.419	.9843	5.572	5.661	.9714	.1766	4.838	63.13	63.14	.5383	.5299	5.093
.3800	.3860	2.425	.9845	5.609	5.697	.9717	.1756	4.851	63.91	63.91	.5380	.5296	5.091
.3810	.3869	2.431	.9847	5.643	5.731	.9719	.1745	4.862	64.67	64.67	.5376	.5294	5.090
.3820	.3879	2.437	.9848	5.677	5.765	.9721	.1735	4.875	65.45	65.46	.5372	.5291	5.088
.3830	.3888	2.443	.9850	5.712	5.798	.9724	.1725	4.885	66.16	66.17	.5369	.5288	5.086
.3840	.3896	2.449	.9852	5.746	5.833	.9726	.1715	4.898	67.02	67.03	.5365	.5286	5.084
.3850	.3907	2.455	.9854	5.780	5.866	.9728	.1705	4.910	67.80	67.81	.5362	.5284	5.082
.3860	.3917	2.461	.9855	5.814	5.900	.9730	.1695	4.922	68.61	68.62	.5359	.5281	5.081
.3870	.3926	2.467	.9857	5.850	5.935	.9732	.1685	4.934	69.45	69.46	.5355	.5279	5.079
.3880	.3936	2.473	.9859	5.886	5.970	.9735	.1675	4.946	70.28	70.29	.5352	.5276	5.077
.3890	.3945	2.479	.9860	5.921	6.005	.9737	.1665	4.958	71.12	71.13	.5349	.5274	5.076

Table C-1 - Continued

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	H/H_0	K	$h/\pi d/L$	$\sinh \frac{h}{\pi d/L}$	$\cosh \frac{h}{\pi d/L}$	n	C_0/C_0	M
.3900	.3955	2.485	.9862	5.957	6.040	.9739	.1656	4.970	71.97	71.98	.5345	.5271	5.074
.3910	.3964	2.491	.9864	5.993	6.076	.9741	.1646	4.982	72.85	72.86	.5342	.5269	5.072
.3920	.3974	2.497	.9865	6.029	6.112	.9743	.1636	4.993	73.72	73.72	.5339	.5267	5.071
.3930	.3983	2.503	.9867	6.066	6.148	.9745	.1627	5.005	74.58	74.59	.5336	.5265	5.069
.3940	.3993	2.509	.9869	6.103	6.185	.9748	.1617	5.017	75.48	75.49	.5332	.5262	5.067
.3950	.4002	2.515	.9870	6.140	6.221	.9750	.1608	5.029	76.40	76.40	.5329	.5260	5.066
.3960	.4012	2.521	.9872	6.177	6.258	.9752	.1598	5.041	77.31	77.32	.5326	.5258	5.064
.3970	.4021	2.527	.9873	6.215	6.295	.9754	.1589	5.053	78.24	78.24	.5323	.5255	5.063
.3980	.4031	2.532	.9874	6.252	6.332	.9756	.1579	5.065	79.19	79.19	.5320	.5253	5.062
.3990	.4040	2.538	.9876	6.290	6.369	.9758	.1570	5.077	80.13	80.13	.5317	.5251	5.060
.4000	.4050	2.544	.9877	6.329	6.407	.9761	.1561	5.089	81.12	81.12	.5314	.5248	5.058
.4010	.4059	2.550	.9879	6.367	6.445	.9763	.1552	5.101	82.07	82.08	.5311	.5246	5.056
.4020	.4069	2.556	.9880	6.406	6.483	.9765	.1542	5.113	83.06	83.06	.5308	.5244	5.055
.4030	.4078	2.562	.9882	6.444	6.521	.9766	.1533	5.125	84.07	84.07	.5305	.5242	5.053
.4040	.4088	2.568	.9883	6.484	6.561	.9768	.1524	5.137	85.11	85.12	.5302	.5240	5.052
.4050	.4098	2.575	.9885	6.525	6.601	.9770	.1515	5.149	86.14	86.14	.5299	.5238	5.050
.4060	.4107	2.581	.9886	6.564	6.640	.9772	.1506	5.161	87.17	87.17	.5296	.5236	5.049
.4070	.4116	2.586	.9887	6.603	6.679	.9774	.1497	5.173	88.19	88.20	.5293	.5234	5.048
.4080	.4126	2.592	.9889	6.644	6.718	.9776	.1488	5.185	89.28	89.28	.5290	.5232	5.046
.4090	.4136	2.598	.9890	6.684	6.758	.9778	.1480	5.197	90.38	90.39	.5287	.5229	5.045
.4100	.4145	2.604	.9891	6.725	6.799	.9780	.1471	5.209	91.44	91.44	.5285	.5227	5.044
.4110	.4155	2.610	.9892	6.766	6.839	.9782	.1462	5.221	92.54	92.55	.5282	.5225	5.043
.4120	.4164	2.616	.9894	6.806	6.879	.9784	.1454	5.233	93.67	93.67	.5279	.5223	5.041
.4130	.4174	2.623	.9895	6.849	6.921	.9786	.1445	5.245	94.83	94.83	.5277	.5221	5.040
.4140	.4183	2.629	.9896	6.890	6.963	.9788	.1436	5.257	95.95	95.96	.5274	.5219	5.039
.4150	.4193	2.635	.9898	6.932	7.004	.9790	.1428	5.269	97.13	97.13	.5271	.5217	5.037
.4160	.4203	2.641	.9899	6.974	7.046	.9792	.1419	5.281	98.29	98.30	.5269	.5215	5.036
.4170	.4212	2.647	.9900	7.018	7.088	.9794	.1411	5.294	99.52	99.52	.5266	.5213	5.035
.4180	.4222	2.653	.9901	7.060	7.130	.9795	.1403	5.305	100.7	100.7	.5263	.5211	5.034
.4190	.4231	2.659	.9902	7.102	7.173	.9797	.1394	5.317	101.9	101.9	.5261	.5209	5.033
.4200	.4241	2.665	.9904	7.146	7.215	.9798	.1386	5.329	103.1	103.1	.5258	.5208	5.031
.4210	.4251	2.671	.9905	7.190	7.259	.9800	.1378	5.341	104.4	104.4	.5256	.5206	5.030
.4220	.4260	2.677	.9906	7.234	7.303	.9802	.1369	5.353	105.7	105.7	.5253	.5204	5.029
.4230	.4270	2.683	.9907	7.279	7.349	.9804	.1361	5.366	107.0	107.0	.5251	.5202	5.028
.4240	.4280	2.689	.9908	7.325	7.392	.9806	.1353	5.378	108.3	108.3	.5248	.5200	5.027
.4250	.4289	2.695	.9909	7.371	7.438	.9808	.1345	5.390	109.	109.7	.5246	.5198	5.026
.4260	.4298	2.701	.9910	7.412	7.479	.9810	.1337	5.402	110.9	110.9	.5244	.5196	5.025
.4270	.4308	2.707	.9911	7.457	7.524	.9811	.1329	5.414	112.2	112.2	.5241	.5195	5.024
.4280	.4318	2.713	.9912	7.503	7.570	.9812	.1321	5.426	113.6	113.6	.5239	.5193	5.023
.4290	.4328	2.719	.9913	7.550	7.616	.9814	.1313	5.438	115.0	115.0	.5237	.5191	5.022
.4300	.4337	2.725	.9914	7.595	7.661	.9816	.1305	5.450	116.4	116.4	.5234	.5189	5.021
.4310	.4347	2.731	.9915	7.642	7.707	.9818	.1298	5.462	117.8	117.8	.5232	.5187	5.020
.4320	.4356	2.737	.9916	7.688	7.753	.9819	.1290	5.474	119.2	119.3	.5230	.5186	5.019
.4330	.4366	2.743	.9917	7.735	7.800	.9821	.1282	5.486	120.7	120.7	.5227	.5184	5.018
.4340	.4376	2.749	.9918	7.783	7.847	.9823	.1274	5.499	122.2	122.2	.5225	.5182	5.017
.4350	.4385	2.755	.9919	7.831	7.895	.9824	.1267	5.511	123.7	123.7	.5223	.5181	5.016
.4360	.4395	2.762	.9920	7.880	7.943	.9826	.1259	5.523	125.2	125.2	.5221	.5179	5.015
.4370	.4405	2.768	.9921	7.922	7.991	.9828	.1251	5.535	126.7	126.7	.5218	.5177	5.014
.4380	.4414	2.774	.9922	7.975	8.035	.9829	.1244	5.547	128.3	128.3	.5216	.5176	5.013
.4390	.4424	2.780	.9923	8.026	8.088	.9830	.1236	5.560	129.9	129.9	.5214	.5174	5.012
.4400	.4434	2.786	.9924	8.075	8.136	.9832	.1229	5.572	131.4	131.4	.5212	.5172	5.011
.4410	.4443	2.792	.9925	8.124	8.185	.9833	.1222	5.584	133.0	133.0	.5210	.5171	5.010
.4420	.4453	2.798	.9926	8.175	8.236	.9835	.1214	5.596	134.7	134.7	.5208	.5169	5.009
.4430	.4463	2.804	.9927	8.228	8.285	.9836	.1207	5.608	136.3	136.3	.5206	.5168	5.008
.4440	.4472	2.810	.9928	8.274	8.334	.9838	.1200	5.620	137.9	137.9	.5204	.5166	5.007
.4450	.4482	2.816	.9929	8.326	8.387	.9839	.1192	5.632	139.6	139.7	.5202	.5165	5.006
.4460	.4492	2.822	.9930	8.379	8.438	.9841	.1185	5.644	141.4	141.4	.5200	.5163	5.005
.4470	.4501	2.828	.9930	8.427	8.486	.9843	.1178	5.657	143.1	143.1	.5198	.5161	5.005
.4480	.4511	2.834	.9931	8.481	8.540	.9844	.1171	5.669	144.8	144.8	.5196	.5160	5.004
.4490	.4521	2.840	.9932	8.532	8.590	.9846	.1164	5.681	146.6	146.6	.5194	.5158	5.003

Table C-1 — Continued

d/L ₀	d/L	2 nd d/L	TANH 2 nd d/L	SINH 2 nd d/L	COSH 2 nd d/L	H/H ₀	K	h ² d/L	SINH h ² d/L	COSH h ² d/L	n	c ₀ /c ₀	M
.h500	.h531	2.817	.9933	8.585	8.643	.9847	.1157	5.693	148.4	148.4	.5192	.5157	5.002
.h510	.h540	2.853	.9934	8.638	8.695	.9848	.1150	5.705	150.2	150.2	.5190	.5156	5.001
.h520	.h550	2.859	.9935	8.693	8.750	.9849	.1143	5.717	152.1	152.1	.5188	.5154	5.000
.h530	.h560	2.865	.9935	8.747	8.804	.9851	.1136	5.730	154.0	154.0	.5186	.5152	5.000
.h540	.h569	2.871	.9936	8.797	8.854	.9852	.1129	5.742	155.9	155.9	.5184	.5151	4.999
.h550	.h579	2.877	.9937	8.853	8.910	.9853	.1122	5.754	157.7	157.7	.5182	.5150	4.998
.h560	.h589	2.883	.9938	8.910	8.965	.9855	.1115	5.766	159.7	159.7	.5181	.5148	4.997
.h570	.h599	2.890	.9938	8.965	9.021	.9857	.1109	5.779	161.7	161.7	.5179	.5146	4.997
.h580	.h608	2.896	.9939	9.016	9.072	.9858	.1102	5.791	163.6	163.6	.5177	.5145	4.996
.h590	.h618	2.902	.9940	9.074	9.129	.9859	.1095	5.803	165.6	165.6	.5175	.5144	4.995
.h600	.h628	2.908	.9941	9.132	9.186	.9860	.1089	5.815	167.7	167.7	.5173	.5143	4.994
.h610	.h637	2.914	.9941	9.183	9.238	.9862	.1083	5.827	169.7	169.7	.5172	.5141	4.994
.h620	.h647	2.920	.9942	9.242	9.296	.9863	.1076	5.840	171.8	171.8	.5170	.5140	4.993
.h630	.h657	2.926	.9943	9.301	9.354	.9864	.1069	5.852	173.9	173.9	.5168	.5139	4.992
.h640	.h666	2.932	.9944	9.353	9.406	.9865	.1063	5.864	176.0	176.0	.5167	.5138	4.991
.h650	.h676	2.938	.9944	9.413	9.466	.9867	.1056	5.876	178.2	178.2	.5165	.5136	4.991
.h660	.h686	2.944	.9945	9.472	9.525	.9868	.1050	5.888	180.4	180.4	.5163	.5135	4.990
.h670	.h695	2.951	.9946	9.533	9.585	.9869	.1043	5.900	182.6	182.6	.5162	.5134	4.989
.h680	.h705	2.957	.9946	9.586	9.638	.9871	.1037	5.912	184.8	184.8	.5160	.5132	4.989
.h690	.h715	2.963	.9947	9.647	9.699	.9872	.1031	5.925	187.2	187.2	.5158	.5131	4.988
.h700	.h725	2.969	.9947	9.709	9.760	.9873	.1025	5.937	189.5	189.5	.5157	.5129	4.988
.h710	.h735	2.975	.9948	9.770	9.821	.9874	.1018	5.949	191.8	191.8	.5155	.5128	4.987
.h720	.h744	2.981	.9949	9.826	9.877	.9875	.1012	5.962	194.2	194.2	.5154	.5127	4.986
.h730	.h754	2.987	.9949	9.888	9.938	.9876	.1006	5.974	196.5	196.5	.5152	.5126	4.986
.h740	.h764	2.993	.9950	9.951	10.00	.9877	.1000	5.986	199.0	199.0	.5150	.5125	4.985
.h750	.h774	2.999	.9951	10.01	10.07	.9878	.09942	5.999	201.4	201.4	.5149	.5124	4.984
.h760	.h783	3.005	.9951	10.07	10.12	.9880	.09882	6.011	203.9	203.9	.5147	.5122	4.984
.h770	.h793	3.012	.9952	10.13	10.18	.9881	.09820	6.023	206.5	206.5	.5146	.5121	4.983
.h780	.h803	3.018	.9952	10.20	10.25	.9882	.09759	6.036	209.0	209.0	.5144	.5120	4.983
.h790	.h813	3.024	.9953	10.26	10.31	.9883	.09698	6.048	211.7	211.7	.5143	.5119	4.982
.h800	.h822	3.030	.9953	10.32	10.37	.9885	.09641	6.060	214.2	214.2	.5142	.5117	4.982
.h810	.h832	3.036	.9954	10.39	10.43	.9886	.09583	6.072	216.8	216.8	.5140	.5116	4.981
.h820	.h842	3.042	.9955	10.45	10.50	.9887	.09523	6.085	219.5	219.5	.5139	.5115	4.980
.h830	.h852	3.049	.9955	10.52	10.57	.9888	.09464	6.097	222.2	222.2	.5137	.5114	4.980
.h840	.h862	3.055	.9956	10.59	10.63	.9889	.09405	6.109	225.0	225.0	.5136	.5113	4.979
.h850	.h871	3.061	.9956	10.65	10.69	.9890	.09352	6.121	228.3	228.3	.5134	.5112	4.979
.h860	.h881	3.067	.9957	10.71	10.76	.9891	.09294	6.134	230.6	230.6	.5133	.5111	4.978
.h870	.h891	3.073	.9957	10.78	10.83	.9892	.09236	6.146	233.5	233.5	.5132	.5110	4.978
.h880	.h901	3.079	.9958	10.85	10.90	.9893	.09178	6.159	236.4	236.4	.5130	.5109	4.977
.h890	.h911	3.086	.9958	10.92	10.96	.9895	.09121	6.171	239.6	239.6	.5129	.5107	4.977
.h900	.h920	3.092	.9959	10.99	11.03	.9896	.09064	6.183	242.3	242.3	.5128	.5106	4.976
.h910	.h930	3.098	.9959	11.05	11.09	.9897	.09010	6.195	245.2	245.2	.5126	.5105	4.976
.h920	.h940	3.104	.9960	11.12	11.16	.9898	.08956	6.208	248.3	248.3	.5125	.5104	4.975
.h930	.h950	3.110	.9960	11.19	11.24	.9899	.08901	6.220	251.3	251.3	.5124	.5103	4.975
.h940	.h960	3.117	.9961	11.26	11.31	.9899	.08845	6.232	254.5	254.5	.5122	.5102	4.974
.h950	.h969	3.122	.9961	11.32	11.37	.9900	.08793	6.245	257.6	257.6	.5121	.5101	4.974
.h960	.h979	3.128	.9962	11.40	11.44	.9901	.08741	6.257	260.8	260.8	.5120	.5100	4.973
.h970	.h989	3.135	.9962	11.47	11.51	.9902	.08691	6.269	264.0	264.0	.5119	.5099	4.973
.h980	.h999	3.141	.9963	11.54	11.59	.9903	.08643	6.282	267.3	267.3	.5118	.5098	4.972
.h990	.5009	3.147	.9963	11.61	11.65	.9904	.08594	6.294	270.6	270.6	.5116	.5097	4.972
.5000	.5018	3.153	.9964	11.68	11.72	.9905	.08550	6.306	274.0	274.0	.5115	.5096	4.971
.5010	.5028	3.159	.9964	11.75	11.80	.9906	.08517	6.319	277.5	277.5	.5114	.5095	4.971
.5020	.5038	3.166	.9964	11.83	11.87	.9907	.08484	6.331	280.8	280.8	.5113	.5094	4.971
.5030	.5048	3.172	.9965	11.91	11.95	.9908	.08451	6.343	284.3	284.3	.5112	.5093	4.970
.5040	.5058	3.178	.9965	11.98	12.02	.9909	.08420	6.356	287.9	287.9	.5110	.5092	4.970
.5050	.5067	3.184	.9966	12.05	12.09	.9909	.08370	6.368	291.4	291.4	.5109	.5092	4.969
.5060	.5077	3.190	.9966	12.12	12.16	.9910	.08320	6.380	295.0	295.0	.5108	.5091	4.969
.5070	.5087	3.196	.9967	12.20	12.24	.9911	.08270	6.393	298.7	298.7	.5107	.5090	4.968
.5080	.5097	3.203	.9967	12.28	12.32	.9912	.08220	6.405	302.4	302.4	.5106	.5089	4.968
.5090	.5107	3.209	.9968	12.35	12.39	.9913	.08168	6.417	306.2	306.2	.5105	.5088	4.967