

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO PLANEACION ; ADMINISTRACION Y OPERACION

PORTUARIA DEL 11 AL 22 DE ABRIL, 1983.

1. ING. LUIS DOMINGUEZ MARTINEZ
Director de Estudios e Infraestructura
Comisión Nacional Coordinadora de Puertos
S. T. C.
Insurgentes Sur 617-2ºPiso
Col. Naóles
B. Juárez
03810 México, D.F.
543 16 22 Ext.308 ó 309

2. ING. LUIS HERREJON DE LA TORRE
Superintendente General de
Terminales de Obras Marítimas
PEMEX
Sullivan 133 9ºPiso Desp.902
Col. San Rafael
México, D.F.
546 17 45 y 254 20 44 Ext.2397

3. ING. JULIO PINDTER VEGA
Director del Programa de Equipamiento
Fideicomiso para Equipo Marítimo y Portuario...
Cuernavaca No. 5
Col. Condesa
México, D.F.
553 89 74 y 553 87 11 Ext.46

4. ING. EDUARDO VARGUEZ SANORES
Director de Desarrollo Urbano y Social
Comisión Nacional Coordinadora de Puertos
S. C. T.
Insurgentes Sur 617-2ºPiso
Nápoles
B. Juárez
03810 México, D.F.
523 79 69 Ext.330

5. ING. DANIEL OCAMPO SIGUENZA
Jefe de Capacitación Técnica
Dirección General de Obras Marítimas
S. C. T.
Aguascalientes 175-11º Piso
México, D.F.
584 50 05

6.

ING. MARIO RODRIGUEZ DE LA GALA VELAZQUEZ
Superintendente General
Dirección de Proyectos de Infraestructura
PEMEX.
Sullivan No. 133-7° Piso
Col. San Rafael
México, D.F.
546 39 23



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA
COLOQUIO NACIONAL SOBRE
"DESARROLLO MARITIMO Y PORTUARIO".
22 ABRIL DE 1983, 18 hrs.
AUDITORIO PRINCIPAL DEL PALACIO DE MINERIA**

Se discutirá la problemática del país en relación al tema del curso

MIEMBROS DEL PANEL

**DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA, U.N.A.M.**

**ING. FERNANDO MANZANILLA SEVILLA
SUBDIRECTOR DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION
DE OBRAS, PETROLEOS MEXICANOS**

**ING. DANIEL DIAZ DIAZ
SUBSECRETARIO DE INFRAESTRUCTURA
S. C. T.**

**ING. FERNANDO DE GARAY
SUBSECRETARIO DE OPERACION
S. C. T.**

**ING. JAIME LUNA TRAILL
VOCAL COORDINADOR EJECUTIVO DE LA
COMISION NACIONAL COORDINADORA DE
PUERTOS, S. C. T.**

**ING. ROBERTO BUSTAMANTE AHUMADA
DIRECTOR GENERAL DE FLOTA E
INSTALACIONES PORTUARIAS PESQUERAS
SECRETARIA DE PESCA**

**ING. DANIEL CERVANTES CASTRO
DIRECTOR GENERAL DE CIFSA
CONSULTORES, S.A.**

M O D E R A D O R E S

**ING. LUIS HERREJON DE LA TORRE
SUPERINTENDENTE GENERAL DE PRO
YECTOS DE OBRAS MARITIMAS
PETROLEOS MEXICANOS**

**ING. JUAN VALERA ADAM
SECRETARIO TECNICO
FIDEICOMISO PARA EQUIPO MARITIMO
Y PORTUARIO**

Asistirán los profesionales que concurren al curso "PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA". Se invita a este acto a todos los profesionales interesados en el tema.

**PALACIO DE MINERIA TACUBA 5
Delegación Cuauhtémoc, 06000, México, D.F.**

Centro

INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACION DE PREGUNTAS:

AUNQUE EL PANEL ES ABIERTO A TODAS LAS PREGUNTAS QUE LOS ASISTENTES A ESTE EVENTO DESEEN REALIZAR, ES CONVENIENTE QUE ESTE SIGA UN ORDEN, POR LO QUE SE LES SUPLICA AJUSTARSE A LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS.

1. EL TEMARIO DE ESTE DIALOGO DEBERA SER EL MISMO QUE EL CORRESPONDIENTE AL CURSO SOBRE PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA QUE SE CLAUSURA.
2. LAS PREGUNTAS SE PRESENTARAN POR ESCRITO Y SERAN LEIDAS POR LOS MODERADORES DESIGNADOS.
3. ES CONVENIENTE QUE DICHAS PREGUNTAS SEAN PROFESIONALES, CLARAS Y CONCISAS.
4. LOS INTEGRANTES DEL PANEL SE RESERVAN EL DERECHO DE CONTESTAR A LAS PREGUNTAS EN EL MOMENTO, O POSTERIORMENTE POR ESCRITO.

México, D.F., ABRIL DEL 83.

PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA

COLOQUIO NACIONAL SOBRE

"DESARROLLO MARITIMO Y PORTUARIO"

22 DE ABRIL DE 1983

REALIZACION DE PREGUNTAS

N O M B R E :

DOMICILIO Y TELEFONO:

C A R G O :

PREGUNTA DIRIGIDA A:

REDACCION DE LA PREGUNTA:

R E S P U E S T A :

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
UNAM

CURSO: PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION
PORTUARIA.

DEL 11 AL 22 DE ABRIL DE 1983.

TEMA : INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE CARGA

ING. JULIO PINDTER VEGA

ANEXO I : TEORIA DE COLAS Y MODELOS DE SIMULACION

Explotación y conservación (incluido, limpieza)

- Carreteras	---	418
- Ferrocarril	---	260
- Alumbrado	---	148
- Administración	---	198

3.5. METODOS MATEMATICOS, METODOS ANALITICOS

3.5.1. Antecedentes

3.5.1.1. Necesidad de nuevos métodos de dimensionamiento

En los métodos empíricos se supone que el tráfico es uniforme a lo largo del año y las cifras de rendimiento se obtienen basándose en una utilización continua de las instalaciones prescindiendo de posibles alteraciones en la llegada de los barcos y de que existan períodos donde se producen coincidencia de más unidades en operaciones que instalaciones disponibles, con la consiguiente aparición de esperas y estadias superiores a las calculadas creándose congestiones que alteran y encarecen la operación portuaria; como contrapartida en otros períodos no habrá barcos en puerto y las instalaciones sin utilizar gravarán el coste final de las operaciones.

Tampoco se contemplan las posibles alternativas de valoración de los distintos elementos que intervienen en el rendimiento de la operación y por tanto en el dimensionamiento y coste de las instalaciones.

En cada caso sería necesario estudiar ventajas e inconvenientes de cada alternativa para poder elegir la solución óptima desde los diferentes puntos de vista que deben tenerse en cuenta al planificar la instalación, cosa que en el método empírico no es posible hacerlo, pues cada variante supondría un estudio diferente lo que prácticamente hace imposible la busca de esta optimización y lo único factible es realizar una simplificación total a base de elegir la solución que por experiencia se estima la mejor.

Lo mismo se podría decir de otra serie de aspectos no considerados en el método empírico que corroboran que este método no es ideal ni suficiente siquiera en muchos casos pudiendo inducir a errores básicos y que haya necesidad de recurrir a otros procedimientos.

Esto no significa ni mucho menos, que se pueda afirmar rotundamente como hacen algunos autores que el método empírico no sea útil, o que es un grave error utilizarlo, sino que al revés, podemos decir que es el adecuado en ciertos casos y básico e in-

dispensable en la creación del esquema general que sirve de base a cualquier planificación del puerto; pero que debe ser complementado en algunos planeamientos y en otros estudios comenzando por él y siguiendo por otros medios. Lo que sucede es que se confunde Planificación con Dimensionamiento.

3.5.1.2. Los métodos matemáticos

- A) El proceso de la operación portuaria se caracteriza por la existencia de una serie de actos que se producen de forma aleatoria, -llegada de barcos, etc.- que influyen sobre las sucesivas operaciones, así como de otra serie de condicionantes físicos y de alternativas de medios y equipos e instalaciones que originan una serie de posibles elecciones entre las soluciones que deban compararse entre ellas para escoger la óptima tanto desde el punto de vista económico como de cualquier otro aspecto.

Se puede concretar el problema de la planificación y dimensionamiento como un problema de decisión.

Para este tipo de cuestiones la Investigación Operativa abre unas inmensas posibilidades que permiten plantear el problema en su conjunto y mediante el establecimiento de un modelo matemático que representa el proceso portuario y donde intervienen las diferentes variables que determinan la operación, fijar las magnitudes de los elementos que forman el sistema de manera que se logre el óptimo deseado.

Concretándonos al problema portuario y prescindiendo de entrar en el estudio de la aplicación de la Investigación Operativa se puede ver que la operación portuaria es un proceso de tipo aleatorio que puede encuadrarse como un problema de espera; en estos casos las variables son aleatorias y su cumplimiento es independiente de una determinación previa.

- B) Este tipo de problemas puede resolverse mediante un modelo de tipo "probabilístico" y por "teoría de colas" podemos calcular el número de barcos simultáneos en puertos pidiendo atraque -o en espera por falta de muelles, cuando se puede determinar previamente la ley de llegada y servicios. Lo mismo puede aplicarse a una serie de aspectos de la actividad portuaria.

- ① Este método es el que llamamos analítico y liga la llegada de barcos, el número de atraques y los tiempos de espera y servicio. La importancia es extraordinaria porque el factor decisivo en el coste total de las operaciones es el de la tasa diaria del barco, y por tanto las pérdidas por demora repercuten extraordinariamente debiendo reducir las el mínimo compatible.

bla con el aumento de coste por mayores instalaciones al aumentar el número de atraques.

- C) Pero a veces estos métodos analíticos no son aplicables a ciertos problemas portuarios debido a la complejidad de la actividad portuaria no cumpliéndose las leyes matemáticas su-
puestas, así como en los casos donde se debe analizar la si-
tuación a lo largo del tiempo variando una serie de datos bá-
sicos, siendo muy difícil e imposible el encontrar un modelo
matemático apropiado.

En estos casos es preferible acudir a los métodos de "Simula-
ción" donde se produce el fenómeno a lo largo del tiempo; -
en el modelo se introducen las diferentes hipótesis y varia-
bles mediante parámetros, repitiendo la operación tantas ve-
ces como variantes queremos analizar, pudiendo conocer los re-
sultados de cada caso y tomar la decisión más conveniente. Pa-
ra éstos cálculos se acude a la ayuda de un ordenador electró-
nico que permite realizar rapidísimamente cálculos complica-
dos y obtener la marcha del puerto durante varios años en un
breve período de horas, aunque a veces es tan complicado el
proceso que hay que introducir simplificaciones que limitan
la exactitud del método.

Dada la complejidad de la actividad portuaria y la multitud
de problemas de toda índole que pueden presentarse se deduce
que prácticamente los métodos de la investigación operativa
pueden analizarse en todos los casos, pero los fundamentales
para la planificación y dimensionamiento del puerto son los
que se refieren al servicio del barco en operaciones, aunque
en explotación deben analizarse todos ellos.

A continuación se analiza brevemente el fundamento y aplica-
ción a los problemas portuarios de los siguientes métodos:

- a) Métodos analíticos (Teoría de Colas)
- b) Métodos de Simulación

3.5.2. Métodos analíticos

3.5.2.1. El problema general

En todas las actividades donde exista una demanda de servi-
cio por parte de unas unidades o clientes que llegan sucesivamen-
te y de forma irregular en el tiempo para ser atendidos por un
número de estaciones o puntos de servicio se puede producir un
fenómeno de espera.

Los aspectos básicos de este fenómeno son:

- a) Esquema de servicio
- b) Las llegadas de usuarios

- c) El número de estaciones de servicio
- d) El tiempo de servicio de cada unidad

3.5.2.2. Esquema del Servicio

El esquema de un puerto puede diferir grandemente según sean sus características -puertos con varias dársenas y tráficos o un simple cargadero especializado,- y dentro de cada tipo varían sus necesidades, formas de servicio, etc. por lo que serían muy difícil tratar de operar con un modelo universal o general sino que en cada caso habrá que tratar de determinar el esquema apropiado.

Sin embargo se puede simplificar grandemente el problema si se tiene en cuenta que cada tráfico debe obrar con independencia de los demás, es decir, que cada muelle o instalación está destinado a un tráfico específico y que las necesidades y soluciones del tráfico de petróleos no tiene nada que ver con las de los tráficos de minerales o de mercancía general.

Sólo serán comunes las operaciones de entrada hasta el fondeadero o hasta la boca de la dársena correspondiente, es decir, prácticos, remolcadores, zonas de fondeadero, etc.

Podemos por tanto dividir el esquema del puerto en dos partes distintas:

- A) Servicios Generales: Entrada, practicaje, remolcadores, puertos de fondeo, esclusas generales, etc.
- B) Dársenas o muelles: Se consideran instalaciones especializadas por tráfico, con separación de los problemas.

El primer caso deberá ser analizado para determinar las necesidades de prácticos, remolcadores, puntos de fondeo, servicios generales a la entrada del barco -policía, sanidad, etc.

El segundo caso es el que afecta directamente al dimensionamiento de las instalaciones portuarias y es el que de una manera especial interesa al puerto.

La estructura del sistema estará compuesta de la siguiente forma:

Fuente → N° de barcos del tráfico considerado

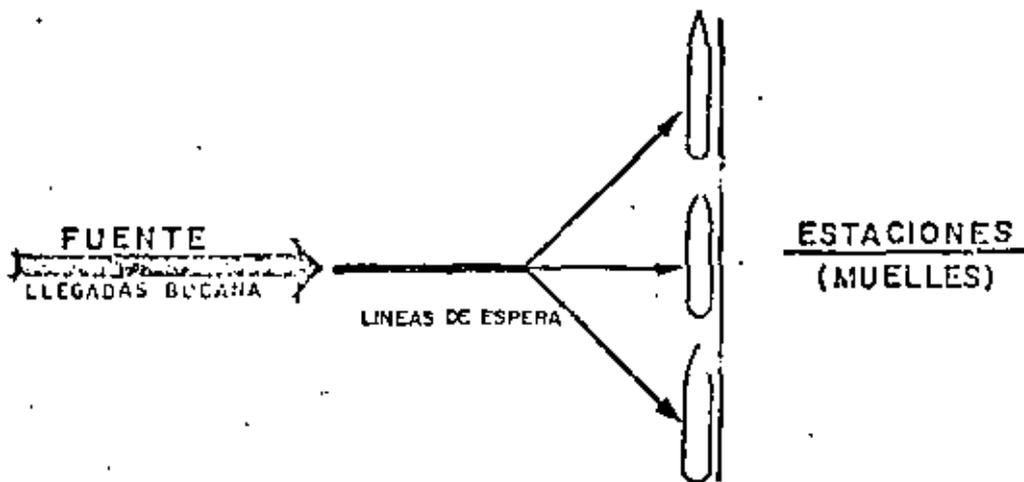
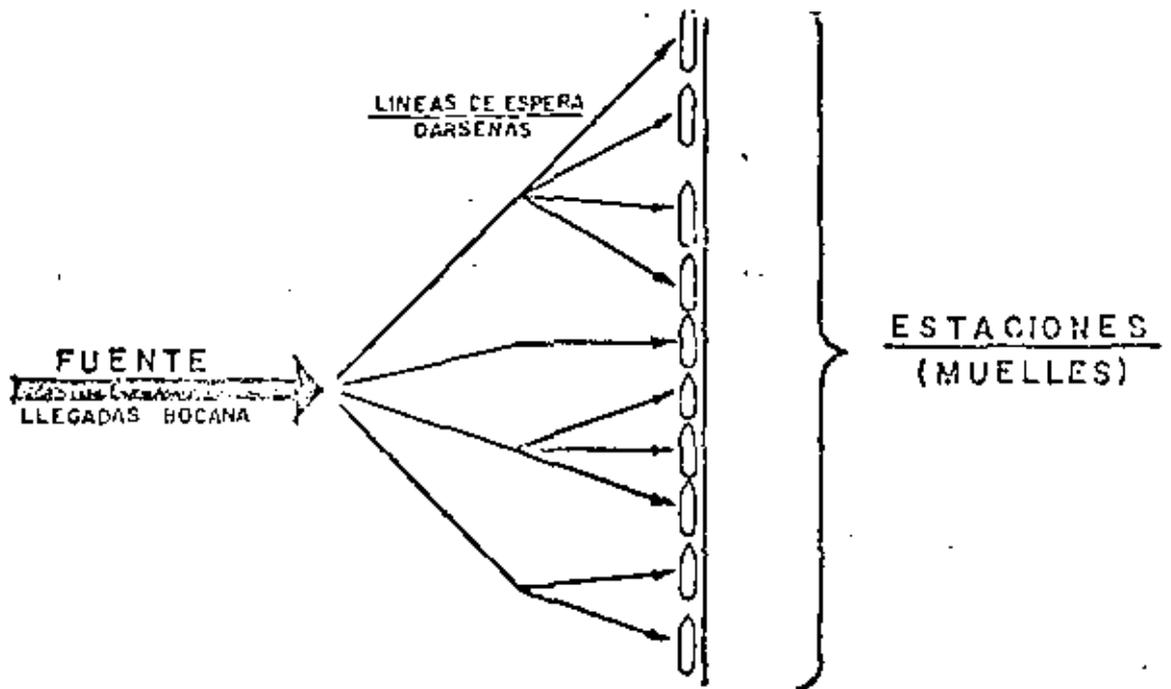
Línea de espera → Unica (por dársena)

Estaciones → Atraques existentes (uno o varios)

Las unidades que existen estarán o en la línea de espera o recibiendo servicio de forma que

$$N = N_1 e + N_s \quad (\text{Si } N \leq N^{\circ} \text{estaciones, entonces } N_1 e = 0)$$

En cualquier caso, la capacidad del sistema, es decir, el $n_{\bar{u}}$



mero de clientes despachados en conjunto de todas las estaciones en un tiempo dado, debe ser mayor que el número de los que llegan o de lo contrario aumentarían las calas indefinidamente, cuestión que está fuera de nuestro estudio.

Pueden existir prioridades de atender a los clientes, (sería el caso de los buques correos o de pasajeros) pero generalmente se acepta la regla FIFO (First in - First out), o sea despachar por orden de llegada.

Como N , N_1 e N_2 varían al azar (con el tiempo y de forma aleatoria) lo harán de acuerdo con una ley de probabilidades que debe determinarse.

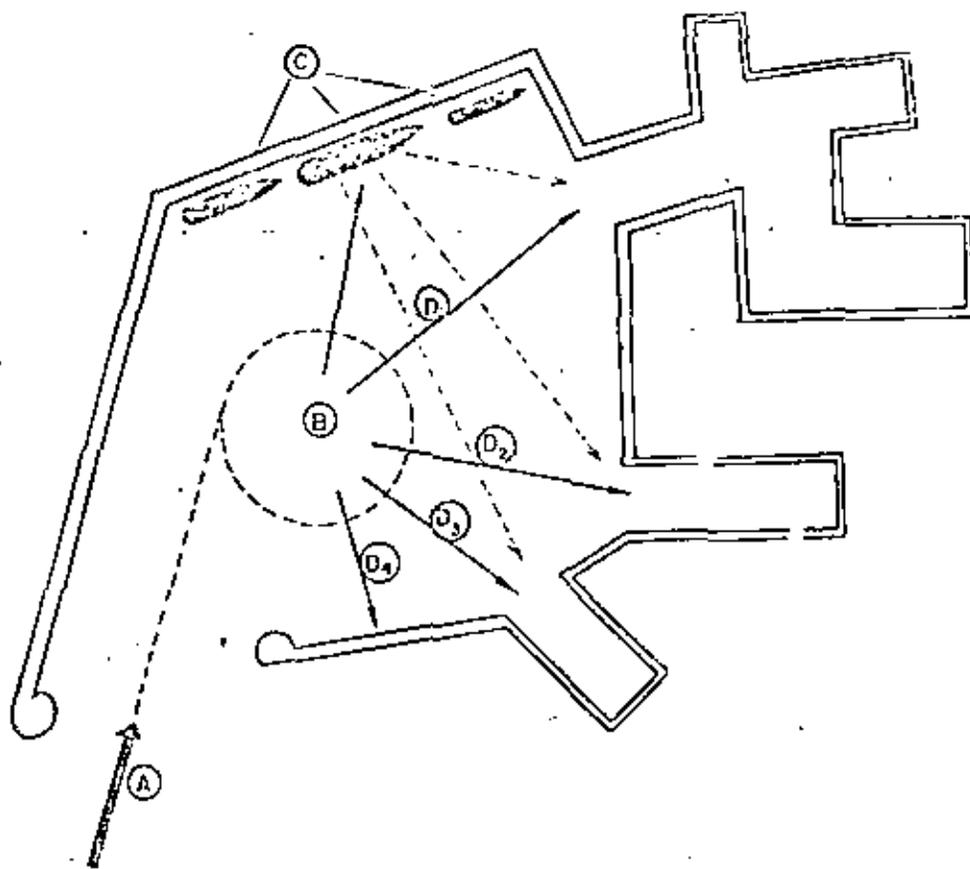
En el caso de una línea y varias estaciones (que es el que vamos a tratar), si existen más unidades en el sistema que estaciones de servicio se producirá cola y existirán unidades en espera; por el contrario, si es menor existirán estaciones desocupadas.

Como el que los clientes esperen puede producir pérdidas (bien por la pérdida de clientela y fama de eficacia del puerto o bien por la valoración del tiempo inactivo) convendría que se eliminasen las esperas aumentando el número de estaciones de servicio; pero esto supone una inversión que aumenta con el número de las que se instalen y como habrá tiempo que no estén en trabajo por no haber unidades en espera, se producirá una pérdida proporcional al tiempo de inactividad de la instalación.

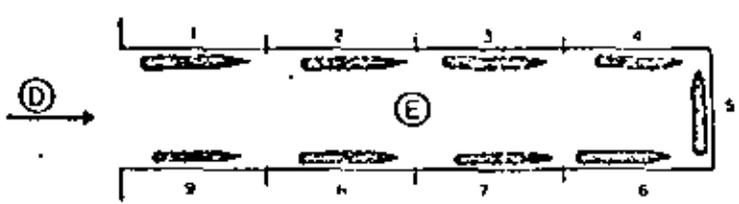
El ideal sería conseguir un resultado económico óptimo de costo mínimo o de pérdidas mínimas para lo que se debe calcular los tiempos perdidos por ambas partes valorándolos de acuerdo con sus precios unitarios del tiempo y comparando los resultados producidos al variar el número de atraques. Esto que es lo que suele hacerse frecuentemente por los portuarios no debe ser el único factor de la decisión, aunque sea el más importante, pues pueden existir algunos casos donde sea necesario considerar otros factores, tales como tratar que las esperas no sean excesivas limitándolas a un porcentaje del tiempo de servicio, aunque como es natural esto suponga un encarecimiento y no resulte "óptimo" económico o sea el mínimo gasto.

Si analizamos las operaciones referentes al servicio del barco desde su entrada hasta su despacho del muelle, se pueden asimilar sus diferentes fases a los aspectos de cualquier problema de servicio y esperas:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| α) Llegada de clientes | - Llegada de barcos |
| β) Número de estaciones | - Número de muelles o atraques |
| γ) Tiempo de servicio | - Entancia del barco en amarre |
| δ) Sistema | - Dársena adscrita al tráfico |



- (A) = ENTRADA GENERAL AL PUERTO.
- (B) = ZONA DE MANIOBRA, EVOLUCIÓN Y ESPERA.
- (C) = LINEA DE ESPERA DE LAS DARSENAS.
- (D₁) (D₂) (D₃) (D₄) = DARSENAS Y ATRACADEROS ESPECIFICOS.



- (D) = FUENTE DE ENTRADA (DIRECTA DE AB O A TRAVES DE LA LINEA DE ESPERA C).
- (E) = ATRAQUES O ESTACION.

El problema que se nos presenta será el de determinar el número de atraques necesarios para que (conocidas las leyes de llegadas y de servicios así como las diferentes circunstancias y factores que pueden intervenir) el coste total sea el óptimo deseado, o bien conocer el costo adicional si se decide otra solución por cualquier causa.

De este óptimo depende del grado de utilización de los muelles, o sea de la relación entre los períodos en que están ocupados y los posibles totales. Si la utilización es alta, existe el peligro de que durante determinado número de días haya congestión o sea barcos en espera; si es baja sucederá que el aprovechamiento de la infraestructura es malo. Ya veremos que cuanto mayor sea el número de atraques para un mínimo coste, mejora el coeficiente de utilización; lo que significa que es posible un mejor explotación en los puertos con gran número de atraques similares que en los pequeños como saben por experiencia los que han trabajado en los puertos.

En cualquier análisis o estudio que se realice de un puerto o sistema portuario, es fundamental el disponer de unas estadísticas veraces y suficientes. Se deben referir tanto a la llegada de barcos (en número y tiempo), como tiempos de servicios (en operaciones, espera, paro, etc.), muelles de destino, pérdidas por cualquier causa (mal tiempo, congestión, falta de servicio, etc.).

3.5.2.3. Llegadas

Por la diversidad de tráfico y de servicios que pueden existir en los puertos, es lógico que la llegada de los barcos se produzca de múltiples formas; habrá puertos donde las llegadas se produzcan al azar, independientemente de cualquier determinación previa; y en cambio en otros sus llegadas estarán reglamentadas y las variaciones que se produzcan se deberán solo a alteraciones del programa producidas por causas ajenas.

En cualquier caso, lo que interesa es determinar las leyes que siguen las llegadas de los barcos; pueden agruparse como sigue:

- a) A intervalos iguales o regulares
- b) A intervalos desiguales pero determinados (es una modificación de la anterior)
- c) A intervalos desiguales siguiendo una función de probabilidad o aleatoria.

3.5.2.4. Número de estaciones

En nuestro caso solo consideramos una línea de llegada, pu--

diendo existir una o varias estaciones (atraques) por línea.

Es el caso de un solo atraque en cargaderos o varios atraques homogéneos en una dársena dedicada al mismo atraque.

3.5.2.5. Tiempo de servicio

Corresponde al tiempo que el usuario está ocupando un puesto de atraque.

La duración es función de una serie de factores tales como tipo y volumen de la carga, características y rendimientos de las instalaciones, tráfico, y aún nodalidades o costumbres del puerto (trabajo continuo o por ciclos interrumpidos por períodos de paro, etc.).

Al mismo tiempo hay que tener en cuenta otros factores que pueden modificar las leyes de servicio, como son: las influencias que sobre el ritmo de carga puede tener el que existan barcos en espera aconsejando aumentar los rendimientos y las jornadas, o bien los tiempos de reserva de atraques para ciertos tráficos, etc.; esto supone una complicación indudable en la determinación de las leyes de estancia.

Prescindiendo de los casos más complejos, que por otra parte no tienen una solución matemática fácil ni comprobada, podemos aceptar que los tiempos de servicio tienen una duración:

- a) Constante
- b) Variable pero determinado
- c) Aleatorio

3.5.3. Las leyes de llegada y de servicio y el tiempo de espera.

Las funciones y características del tráfico de un puerto influyen de manera decisiva en la ley de llegadas de los barcos; no será lo mismo un puerto de abastecimiento donde llegan multitud de barcos a repostar sin más condicionamiento previo que el que su ruta de navegación pase cerca del puerto, que un cargadero mineralero o cualquier baya petrolera, donde las llegadas están programadas a base de un determinado ritmo mensual de exportación en un tipo de barco dado, lo que supone fijar un número de barcos relativamente pequeño en un período de tiempo; al mismo tiempo hay que resaltar que tampoco es lo mismo las llegadas en las bocanas del conjunto de los barcos que arriban a puerto, que determinar la ley de llegadas para cada dársena por separado, que supone un número mucho menor para cada una de ellas.

Si se observan las llegadas de los barcos a los puertos, puede confirmarse que su distribución sigue prácticamente dos modelos:

a) Llegadas aleatorias

b) Llegadas programadas a intervalos iguales o desiguales

En los puertos con suficiente tráfico, puede verse que en la mayor parte de ellos la probabilidad de las llegadas cumple o se ajustan a la Ley de Poisson. Se ha comprobado entre otros en La Guaira, Las Palmas, Bangkok, Dunckerke, Marsella, Osaka, Robe, Portkembia, etc.

Las condiciones básicas para que se produzca un proceso de este tipo son:

a) La probabilidad de que se produzca un suceso depende solo del intervalo t y no del instante inicial.

b) No suelen producirse dos sucesos simultáneamente.

c) Si la tasa de llegadas es λ , en un intervalo de tiempo Δt , la probabilidad de que se produzca el suceso es $\lambda \Delta t$

Con estas condiciones la probabilidad $P_n(t)$ viene dada por la fórmula

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!}$$

donde $P_n(t)$ = probabilidad de que se produzcan n sucesos en el tiempo t

λ = tasa media de llegada

e = base de log. neperiano $e = 2.718 \dots$

$n!$ = Factorial de n .

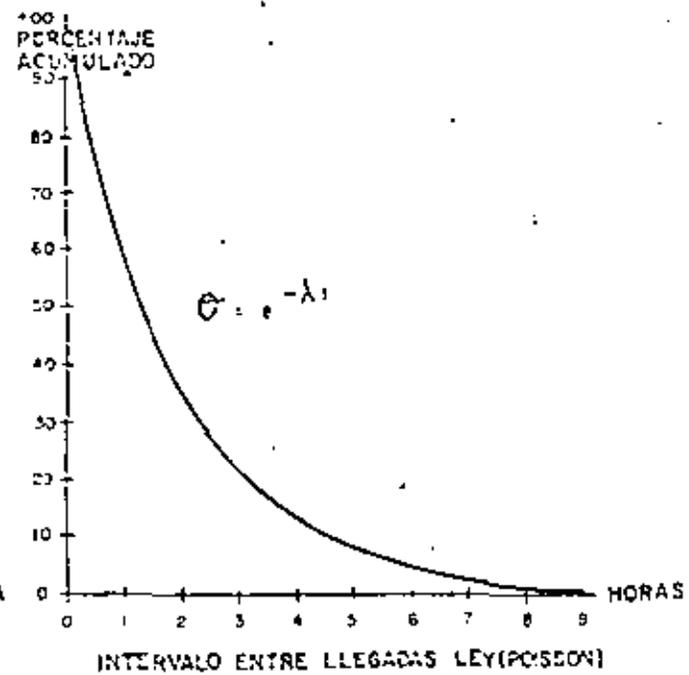
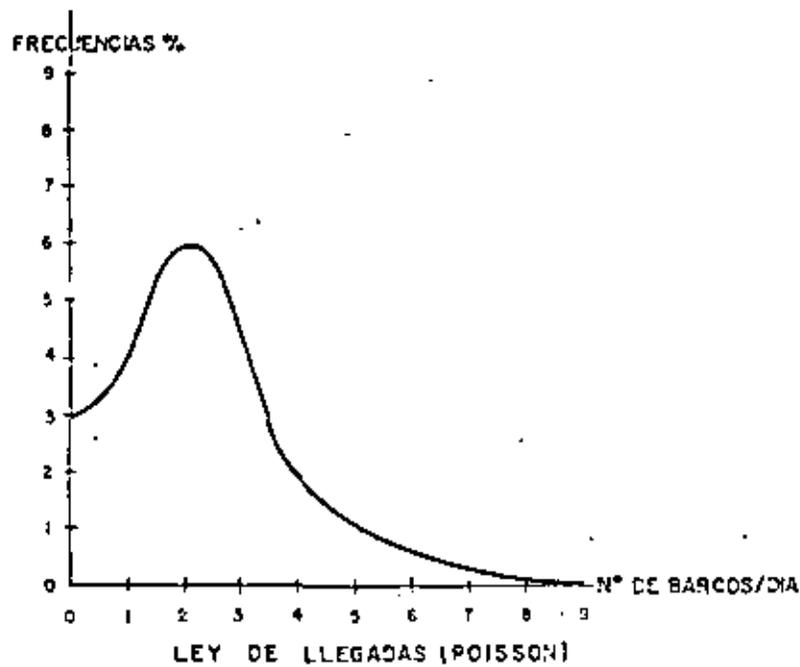
La probabilidad de que el tiempo que transcurra entre dos sucesos θ es mayor que φ es

$$\text{Pr}(\theta > \varphi) = e^{-\lambda \varphi}$$

Los tiempos que median entre dos sucesos seguirán una ley exponencial con tasas λ en el caso de que el fenómeno aleatorio se produzca de acuerdo con la Ley de Poisson.

La comprobación de la ley de llegadas se hace mediante la observación de las frecuencias de intervalos determinando el intervalo medio. Se adopta la curva de distribución de probabilidad de intervalos como la exponencial negativa $Y = e^{-\lambda X}$ y se contrasta con el test χ^2 de Pearson para comprobar si el ajuste es bueno y puede admitirse como válida la Ley de Poisson.

En el Puerto de la Guaira se obtuvo para 20 grados de libertad un nivel de confianza superior al 95% lo que indica un ajuste muy bueno pudiéndose adoptar por tanto dicha ley para el análisis del puerto.



En algunos casos (generalmente cargaderos especializados con n° de llegadas, no siguiese la Ley de Poisson por lo que las fórmulas anteriores no serían aplicables. En estos casos habría que deducir las leyes correspondientes, aunque no es común este suceso que más adelante comentaremos.

3.5.4. Ley de servicios

Otro de los factores básicos en la operación es el de la duración del tiempo de servicio o sea el tiempo que el barco está ocupando el muelle.

El tiempo de servicio puede ser constante, variable pero determinado, ó aleatorio. Dentro del tiempo de servicio se incluyen no sólo los de operación estricta sino también los de paro por cualquier motivo (demoras en despacho, tardanza de equipos, mal tiempo, etc.), por lo que las previsiones pueden diferenciarse mucho de la realidad.

En algunos casos este tiempo sigue una ley exponencial; si llamamos n al número de unidades atendidas en un tiempo dado, la probabilidad de que el tiempo de servicio θ sea mayor que uno dado t es $Pr(\theta > t) = e^{-nt}$

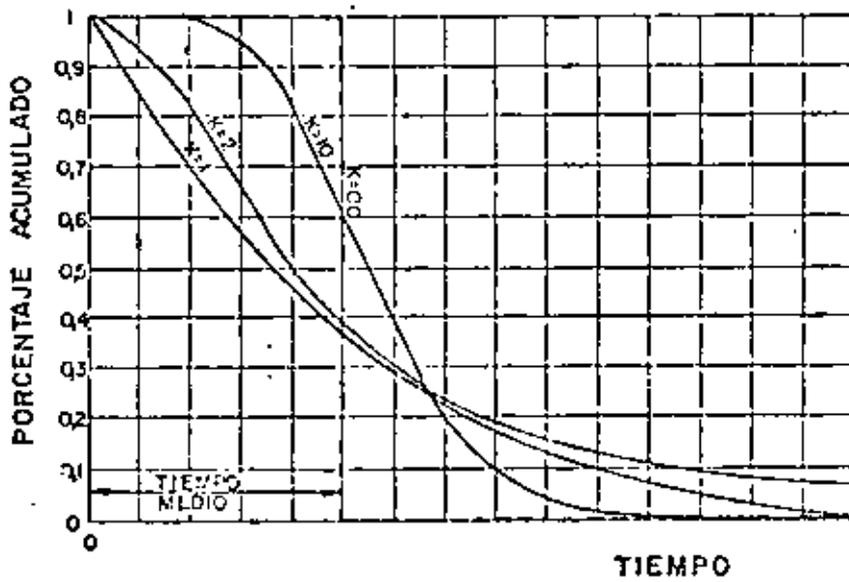
Sin embargo en muchos otros casos, la distribución no sigue esta ley sino que se ajustan mejor a otras, en especial a la de Erlang con fases $K = 2, 3, 4, \dots$

La distribución es exponencial en La Guaira y en cambio Santos, Colombo, Oslo (vease Nagao y Ranai), Bangkok (vease Jones y Blunden) Port Kembla (vease White) se ajustan a una distribución de Erlang con $K = 2$ ó 3 e incluso se pueden encontrar sistemas portuarios con tiempos de servicio en los que $K = 4$ ó $K = 6$ (Rouen, vease Chapón).

Hay que tener en cuenta que como el tiempo total en muelle viene afectado por varios factores e incluso habría que hacer intervenir los intervalos de paradas en el trabajo del muelle (normalmente se trabaja 8, 12 ó 16 horas y se para el resto), es natural que no se ajusten las distribuciones reales a las curvas teóricas.

Conocidas las estadísticas del puerto y ajustadas a las varias distribuciones ($K = 1, 2, 3, \dots$), aplicando el test X^2 de Pearson se comprobará cual es la más adecuada.

Elegida la función de Erlang y determinado por tanto el valor de la constante K , se deduce el tiempo medio en muelle T_b y por tanto la tasa media de servicio $\mu = \frac{1}{T_b}$ ó sea el número de barcos servidos en la unidad de tiempo.



LEYES DE SERVICIO

La fórmula general que nos da la probabilidad que el tiempo de muelle sea mayor o menor que t es

$$P_0(t) = e^{-K\mu t} \sum_{n=0}^{K-1} \frac{(K\mu t)^n}{n!} \quad (\text{ley de Erlang de orden } K)$$

en esta fórmula

t = tiempo dado

μ = tiempo de servicio

K = constante de Erlang

Si $K = 1$, entonces $P_0(t) = e^{-\mu t}$ que es el caso de la distribución exponencial; con $K = 2$, $P_0(t) = 1 - 2\mu t (1 + 2\mu t)$ y con $K = \infty$ la distribución es constante.

3.5.5. Número de barcos en puerto y tiempo de espera

Conocidas o determinadas las leyes de llegada, la disciplina del servicio, la ley de tiempos de servicios y la estructura del esquema de servicio, o sea número de atraques, se puede calcular la probabilidad de que un número n de barcos estén en el puerto (tanto en atraque como en líneas de espera) y deducir el tiempo medio de espera del barco y en consecuencia las esperas totales que se producirán en el puerto con los supuestos realizados.

Los casos que pueden existir son muy numerosos y es imposible entrar en el detalle de todos ellos; pudiendo encontrarse sus estudios en las obras especializadas.

Las diferencias básicas residen en el esquema del sistema portuario y en las leyes adoptadas.

El esquema puede estar formado por uno o varios canales de entrada y por uno o varios atraques; en nuestro caso, lo más frecuente es un solo canal de entrada (independizando dársenas) y uno (cargadero o punto de atraque único) o varios muelles de igual destino y características (dársenas o muelles de varios atraques).

En cuanto a las leyes de llegada, creemos que en el caso de los puertos españoles poco especializados es suficiente adoptar la ley de Poisson, aunque en algún caso deberá comprobarse o deducir la Ley más adecuada.

El tiempo de servicio puede ser el exponencial o el de Erlang con $K = 2$ ó 3 ; debe analizarse y adoptar la solución más adecuada. Si la distribución no es exponencial con $K = 1$ y existen varios atraques, hay que acudir al método de simulación para

poder resolver el problema.

Cuanto más uniforme sea el tiempo de servicio, disminuirá el tiempo de espera del barco, que teóricamente pasaría de un valor 1% a otro 50, al variar de $K = 1$ (exponencial) a $K = \infty$ (constante).

En los casos de ceraderos o atracues especializados donde se pueden programar las llegadas con cierta regularidad la utilización de los muelles mejora grandemente; esto está claro en el caso de terminales dedicados a servicios regulares numerosos donde la utilización llega a cifras muy superiores a las del tráfico ordinario.

3.5.6. Aplicación al cálculo del número de atraques

La importancia práctica de lo que hemos expuesto anteriormente está en poder determinar el número de atraques necesarios para permitir el tráfico previsto de forma óptima.

La primera dificultad está precisamente en definir ese óptimo: mientras que unos lo señalan como lograr el mínimo costo total para el conjunto de instalación-barco, otros señalan que hay otros factores como el que el tiempo de espera del barco no exceda de ciertos límites, y lo mismo puede decirse respecto a la opinión de que deberán atenderse todos los factores.

En segundo lugar, debemos resaltar el hecho de la gran complicación de las fórmulas matemáticas para expresar la conducta de la cola cuando las leyes de llegada y servicio no siguen a $K = 1$ y existe más de un canal. Por otro lado, en los casos de varios atraques se introducen simplificaciones mayores que pueden introducir serias mixtificaciones en los resultados, como son las de suponer que el servicio de todos los atraques es uniforme, es decir trabajan al mismo ritmo, y eso cabe cualquier puerto que no es cierto; los de prescindir de tiempos de descenso, etc.

En cualquier caso deberá operarse sobre ciertas hipótesis con los datos disponibles y comparar diversos casos para obtener la solución más favorable.

Los casos más corrientes e importantes son:

- a) Una dársena con varios muelles: La Ley de llegada Poisson y la de servicios exponencial; con otras leyes las ecuaciones son muy complejas y prácticamente no se utilizan. Es necesario acudir a otros métodos.

b) Un solo muelle: Puede estudiarse su comportamiento con las leyes del caso anterior o bien adoptando ley de llegadas Poisson y servicio Erlang o bien llegadas variables y servicio Poisson.

3.5.7. Caso de una dársena con varios muelles (Una línea y varias estaciones).

Ley de llegadas de Poisson y servicio exponencial

Suponemos que se trata de un tráfico homogéneo de forma que el barco puede ir a cualquiera de las vacantes así como que la disciplina de servicio es FIFO.

Se desea encontrar el número de atraques para que el costo sea mínimo considerando el conjunto del muelle-barco.

Se hacen una serie de simplificaciones tales como suponer la carga de igual rendimiento para todos los barcos; se prescinde de los periodos de descanso y parada; se supone la eslora uniforme, etc.

Este caso que se asimila al de una línea de espera con varias estaciones, se resuelve mediante la fórmula de Erlang que da la probabilidad de esperar (con $n > s$):

$$T_o = p (> 0) = \frac{\psi^s}{S!(1-\frac{\psi}{S})} \cdot \frac{1}{\frac{\psi^s}{S!(1-\frac{\psi}{S})} + 1 + \frac{\psi}{1!} + \frac{\psi^2}{2!} + \dots + \frac{\psi^{s-1}}{(s-1)!}}$$

Siendo en ella $\psi = \frac{\lambda}{\mu}$ " $S = n^o$ de atraques.

De esta fórmula se puede deducir la relación entre el tiempo de espera y el de atraque

$$\frac{T_e}{T_a} = \frac{\psi^s}{s(1-\frac{\psi}{S})\psi^s + s \cdot S! (1-\frac{\psi}{S})^2 (1 + \frac{\psi}{1} + \frac{\psi^2}{2!} + \dots + \frac{\psi^{s-1}}{(s-1)!})}$$

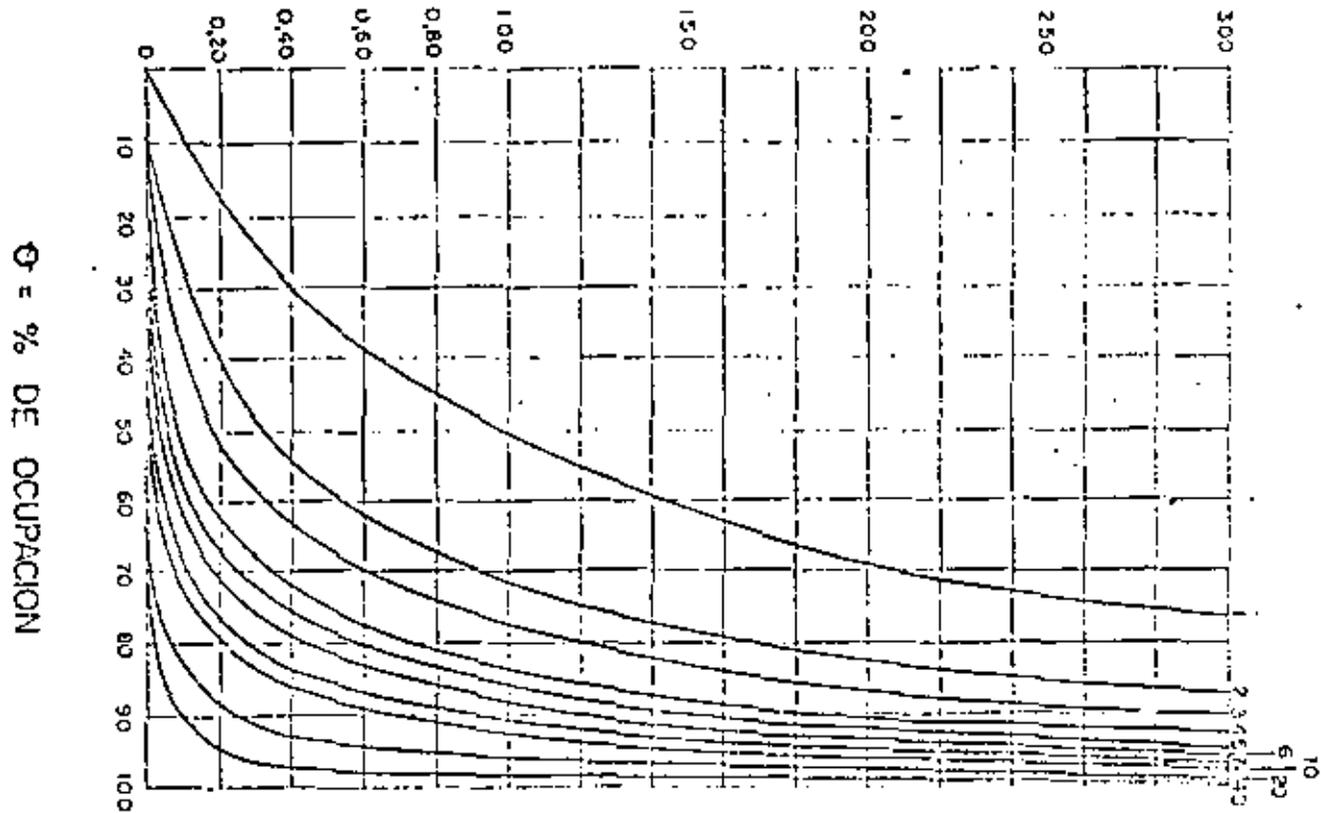
Por otro lado si llamamos θ a la ocupación de muelles en tanto por ciento, tenemos que

$$\theta = \frac{\lambda \cdot T_a}{s}$$

pero como $T_a = \frac{1}{\mu}$ y $\psi = \frac{\lambda}{\mu}$ la fórmula se puede escribir

$$\theta = 100 \frac{\psi}{s} \quad \psi = \frac{s \theta}{100}$$

RAZON ENTRE TIEMPO MEDIO DE ESPERA Y TIEMPO MEDIO DE OCUPACION \bar{W}/\bar{V}



Sustituyendo en la ecuación tendremos en resumen

$$\frac{T_e}{T_a} = \frac{\theta^S}{S! \left(1 - \frac{\theta}{S}\right)^2 \left(\frac{\theta^{S-1}}{(S-1)!} + \frac{\theta^S}{S!} \left(1 - \frac{\theta}{S}\right)\right)}$$

Se puede construir una gráfica, donde se represente una familia de curvas S (nº de atraques) en ejes $\frac{T_e}{T_a}$ y θ .

Para un valor dado de θ y un número de muelles S se obtiene $\frac{T_e}{T_a} = \delta$

Como sabemos que $T_a = \frac{1}{\lambda}$ y el número de barcos en un tiempo T es $T\lambda$, se puede escribir:

$$T_e(t) = \delta \times \frac{1}{\lambda} \times T\lambda = \delta \times T = \Psi = \delta \times T = \frac{\theta}{100} \times S$$

Por otro lado el atraque ocioso o tiempo que el muelle estará desocupado en el periodo T será:

$$T_{ao}(T) = T \times S \times \left(1 - \frac{\theta}{100}\right)$$

La mercancía movida en el periodo T se puede obtener multiplicando el tiempo ocupado de atraques por el rendimiento R unitario, o sea

$$Q = T \times S \times \theta \times R$$

Si se deduce la tasa unitaria de la estadía del barco α_1 y la del atraque α_2 se obtiene:

$$\text{Costo de espera} = C_1 = \alpha_1 \times \delta \times T \times \frac{\theta}{100} \times S$$

$$\text{Costo de atraque ocioso} = C_2 = \alpha_2 \times T \times S \times \left(1 - \frac{\theta}{S}\right)$$

$$\text{Costo total } C = C_1 + C_2$$

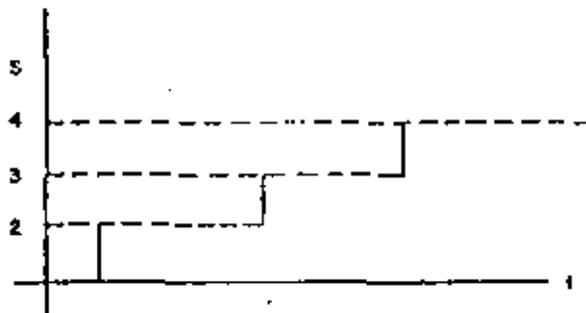
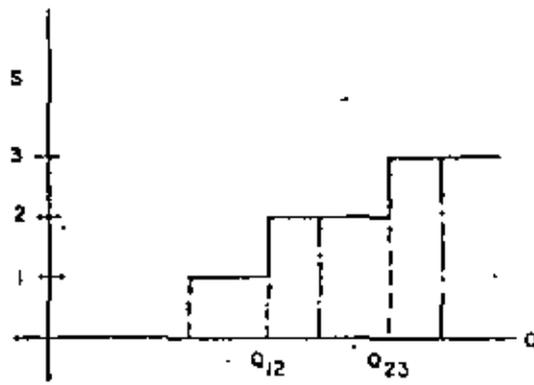
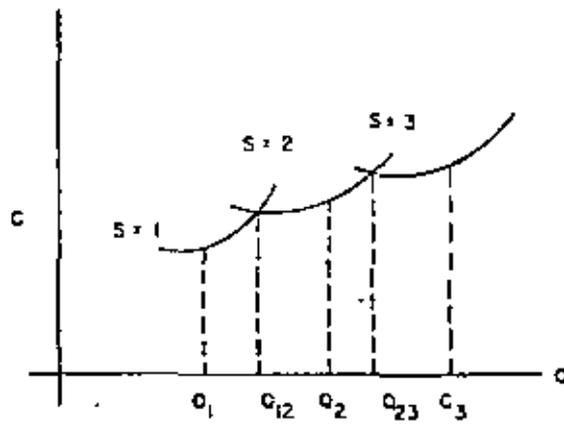
Finalmente el número de barcos en fondeadero \bar{V} será igual al producto del número de barcos entrados diariamente o sea λ por el del tiempo medio de espera T_e , y de la gráfica

$$\bar{V} = \frac{T_e}{T_a} \times \theta \text{ se obtiene:}$$

$$\bar{V} = \delta \times \frac{1}{\lambda} \times \lambda, \text{ o sea } T_e \times \lambda$$

Para cada número de muelles S (1.2.3.....) se puede deducir para cada θ , dos valores $Q =$ Carga movida y $C =$ Costo total correspondiente (de estadías y atraques ociosos).

Se pueden dibujar una serie de curvas correspondientes a S (1.2.3.) en ejes Q y C que optimizan cada caso.



El mínimo C para cada caso S_n vendrá determinado por el punto donde corta a la curva S_{n+1} pues aunque el coste total sube, es menos el unitario $\frac{C_p}{a}$; aunque aumenta la congestión del puerto parece que debe esperarse a construir otro atraque hasta que el costo disminuya con la nueva puesta en servicio.

Conocidos los óptimos se puede dibujar la gráfica que da el aumento necesario del número de atraques S en función del tráfico esperado y a lo largo del tiempo.

De las fórmulas y curvas anteriores, se puede deducir en función de θ (ocupación de muelles) S (nº de atraques) y un nuevo parámetro α (relación $\frac{C_p}{C_e}$ del costo de inactividad del atraque a la estadía del buque) la ocupación óptima de explotación y el máximo absoluto de explotación.

3.5.8. Caso de un solo atraque (Una línea con un solo muelle)

Este es un caso muy interesante, pues es el de un cargadero ó una boya petrolera, etc., siendo donde más se utiliza y aplica esta teoría.

Existe bastante bibliografía y ejemplos de aplicación en diferentes puertos; sin embargo hay disparidad de opiniones entre los diversos autores sobre diferentes aspectos, tales como leyes de llegada y servicio, criterios de optimización de resultados, introducción de coeficientes correctores de la longitud de colas de espera, etc.

Conocido el comportamiento del sistema con llegadas Poisson y servicio exponencial, se analizan los casos de servicios y llegadas con leyes diferentes a las anteriores, que suele ser lo que generalmente se produce en la realidad.

3.5.8.1. Llegada Poisson, Servicio Erlang

Las probabilidades de llegada de n barcos en el tiempo t y la de que el tiempo de servicio en el puerto sea igual o mayor que un tiempo t se deducen de las expresiones para la ley de llegadas y para la ley general de servicios.

Con estas distribuciones se puede determinar la probabilidad que haya número de navíos n en puerto (no debe confundirse con el número de navíos de llegada, pues hay que contar con los que están en muelle recibiendo servicio), y por tanto la probabilidad de que haya más de un navío para realizar operaciones en el cargadero y se produzca una espera.

El tiempo medio de espera está dado por la expresión:

$$T_e = \frac{\psi^2 (K+1)}{2K\lambda(1-\psi)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \cdot \frac{K+1}{2K}$$

La longitud de cola o número medio barcos en cola es:

$$N_c = T_c \times \lambda = \frac{\psi^2}{1-\psi} \cdot \frac{\kappa+1}{2\kappa} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \cdot \frac{\kappa+1}{2\kappa}$$

de donde $N_c = N^\circ$ de llegada de barcos/día. Las esperas disminuyen al aumentar el valor de κ , es decir cuando el tiempo de servicio tiende a ser constante.

En el caso de llegadas aleatorias y tiempo de servicio independiente de los otros y de la longitud de cola, Miller utiliza la fórmula de Pollaczek-Khintchine donde el tiempo medio de espera está dado por la expresión $T_e = \mu \frac{\psi(1+C^2)}{2(1-\psi)}$ donde $C =$ coeficiente de variación del tiempo de servicio, o sea relación de la desviación standard del tiempo de servicio al tiempo medio de servicio; en general C suele ser pequeño y por tanto C^2 no influye prácticamente.

Cuando el tiempo de espera aumenta, se puede producir una influencia sobre la distribución de llegadas; originándose una disminución o un efecto de contención de llegadas de forma que el número de barcos en cola es menor que el teórico (ver White), de forma que $N_c = A \cdot \frac{\lambda^2}{2\kappa}$ variando A desde 0,5 a 1, cuando ψ varía desde cero a uno, es decir que siempre es menor que la expresión $\frac{\lambda^2}{2\kappa}$ que oscila entre 1-0,5 para los valores extremos de κ entre 1 y ∞ .

3.5.8.2 Llegadas Erlang. Servicios Poisson

En estos casos hay que determinar previamente la ley de llegadas y el valor de κ así como que efectivamente el servicio se ajusta a la ley de Poisson.

En estudios y libros especializados se encuentran soluciones matemáticas para los diferentes casos de llegadas con valores $\kappa = 1, 2, \dots$.

Con los valores anteriores, se obtiene como valor del tiempo medio de espera.

$$\bar{w} = \frac{1 + \psi \mu_0}{\lambda \mu_0}$$

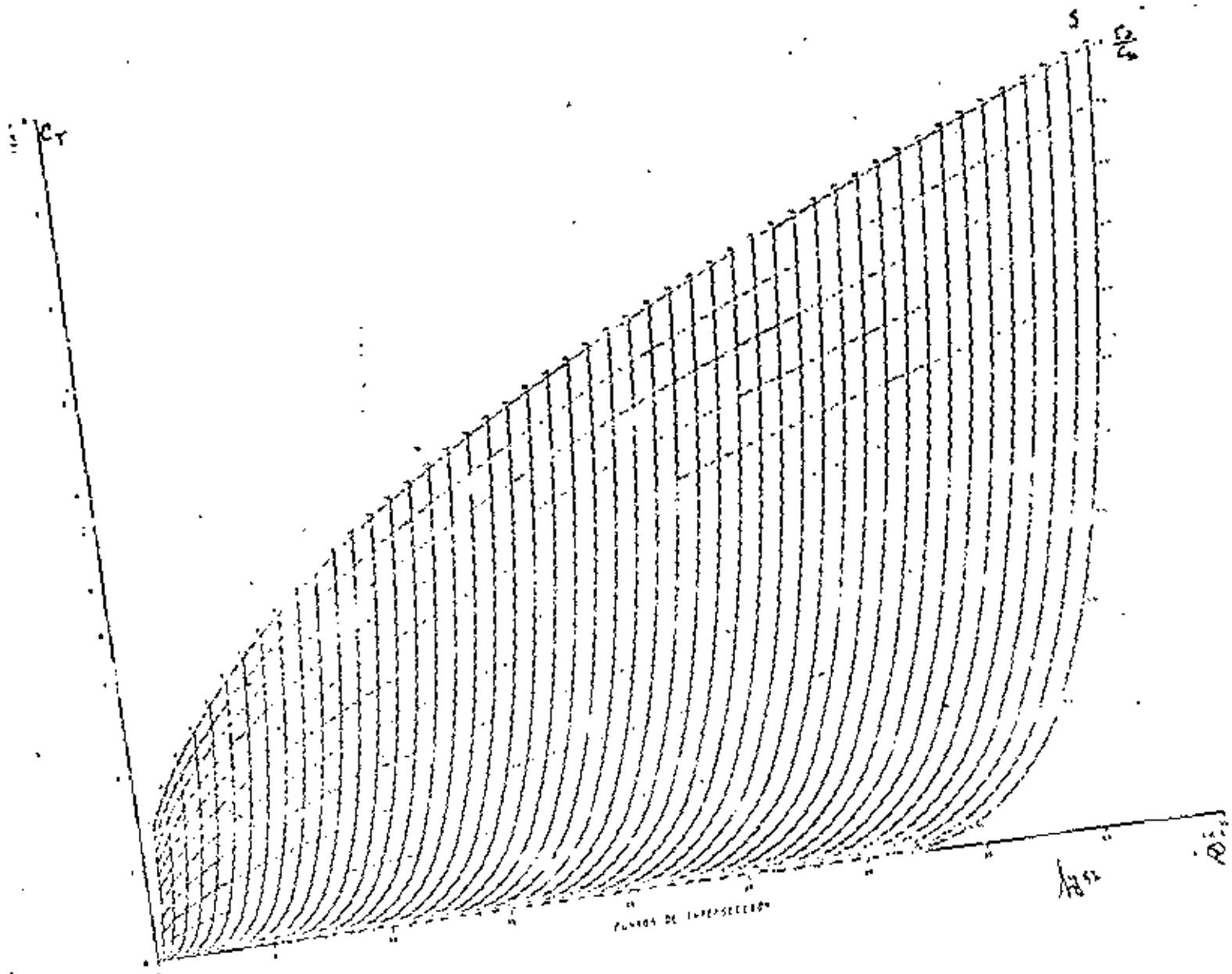
siendo μ_0 la única raíz negativa de la ecuación en μ : $\frac{1}{1+\psi\mu} = \left(1 - \frac{\mu}{\kappa}\right)^{\kappa}$

Para $\kappa=1$, las llegadas son Poisson y el resultado es el del caso general.

Para $\kappa=2, 3, \dots$ se obtendrán los valores de las ecuaciones resultantes.

Para $\kappa=\infty$ estaríamos en el caso de llegadas constantes.

Resolviendo los diferentes casos se puede ver que para un mismo coeficiente de ocupación del atraque, las esperas del barco disminuyen grandemente cuando las llegadas se ajustan a una



ley de llegadas con K creciente, lo que confirma lo que dice la experiencia, que la utilización del atracadero mejora al programar las llegadas lo más uniforme posible.

3.5.8.3. Otros casos

En los casos donde hay más de un atraque y las llegadas no cumplen con Poisson, o bien se introducen algunas circunstancias que modifican la disciplina de servicio, etc., las soluciones matemáticas o no existen o tienen una enorme complejidad que las hacen inaplicables prácticamente; en estos casos es preferible acudir a métodos de simulación aunque sea necesario introducir simplificaciones en las hipótesis.

3.5.9. Desarrollo del método

Para el uso del método analítico, la metodología seguida es la siguiente:

3.5.9.1. Caso general de una dársena con varios muelles y entradas con ley de Poisson y servicio exponencial.

- 1º. Estadísticas de entrada de barcos de acuerdo con los tiempos de llegada.
- 2º. Gráfica de llegadas y equiparación con las curvas de Poisson, Erlang, etc.
- 3º. Test χ^2 de Pearson y comprobación de la bondad de su ajuste y determinación de la ley.
- 4º. Tasa media de llegadas.
- 5º. Estadísticas de estadías.
- 6º. Determinación de la curva de estadías y ajustes a leyes exponenciales, Erlang, etc.
- 7º. Tiempo de servicio f
- 8º. Determinación de los tiempos de espera y de muelles vacantes de acuerdo con las expresiones correspondientes al sistema estudiado y leyes de llegada y servicio.
- 9º. Cálculo del costo y tasa del barco y del atraque por unidad de tiempo; deberá utilizarse un barco medio correspondiente al tipo de tráfico de la instalación.
- 10º. Construcción de la gráfica Tráfico/Costos en función del número de muelles.
- 11º. Gráficas $\theta, \frac{C_r}{Q}$ en función de la ocupación del muelle y

del coste unitario de la operación, lo que permite deducir la operación que da el óptimo económico de costes totales mínimos.

12º. Determinación del número de atraques necesarios en función del tráfico probable.

3.5.9.2. Otros casos

En el caso de que se trate de sistemas con leyes distintas, a partir del punto octavo habrá que determinar (si es posible - encontrar la fórmula apropiada) el valor de las estadías en función de la ocupación resultante, y después valorar costes de estadías, de la instalación y rendimiento anual de la misma.

3.5.10. Análisis y comentarios

Un breve análisis del método antes expuesto permite hacer algunas puntualizaciones que son convenientes para determinar su campo de aplicación y grado de confianza de sus resultados. Las observaciones más importantes son:

a) En relación con las leyes de llegadas, se encuentra que se ajustan mejor a la distribución de Poisson conforme es mayor el número de barcos; pero teniendo en cuenta que al entrar en el puerto se distribuyen por las diferentes dársenas según el tipo de tráfico, tendremos que en cada dársena (línea con estaciones) ya es mucho menor el número de barcos y los ajustes a las distribuciones teóricas no son buenos. Esto se ve agravado por el hecho de que al aumentar el tamaño del barco disminuye el número de llegadas.

Por otro lado se supone que los atraques son iguales para todos los barcos con iguales características, lo que supone una simplificación excesiva.

b) En relación con los tiempos de servicio se introducen simplificaciones derivadas de prescindir de demoras debidas a paros e interrupciones de descansos, mal tiempo, tramitaciones, --- etc., lo que hace que en la realidad se separe mucho la curva de distribución de la exponencial teórica con $K = 1$. En muchos muelles se encuentra, como hemos citado anteriormente, que son más adecuadas las distribuciones de Erlang con $K = 2, 3, \dots$ e incluso 4 ó 5.

En estos casos con más de un muelle, la fórmula analítica no es fácil de desarrollar y es imprescindible acudir a procedimientos de simulación.

c) En la determinación del valor del coeficiente θ de ocupación del atraque es donde suele estar uno de los puntos más debati-

dos y subjetivos del problema.

Conforme aumenta el coeficiente $\theta = \frac{\psi}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{100}$ aumenta el número de barcos en cola y por tanto la espera media y las esperas totales; puede verse en los gráficos que relacionan ocupación y esperas en el caso de varios atraques, en la fórmula que nos da el número de barcos en cola cuando hay servicio Erlang $N_c = \frac{K+1}{2K} \cdot \frac{\psi^2}{\lambda^2}$ y el tiempo de espera medio $T_c = \frac{N_c}{\lambda}$; es decir que crecen con ψ y por tanto con θ .

Algunos especialistas operan a base de lograr una optimización económica del conjunto barco-instalación (véase Nagao, Plumbee, Nicolau, Rodríguez Pérez, etc.), para lo que introducen la relación $\frac{C_B}{C_A}$, es decir coste del barco a coste

$$\frac{C_B}{C_A}$$

del barco más coste de atraque, o bien directamente la relación $\frac{C_A}{C_B}$; Nagao llega en el caso de un muelle, llegadas de

Poisson y servicio exponencial a la fórmula siguiente para determinar el grado óptimo de ocupación.

$$\rho = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{C_B}{C_A}}} \quad , \quad \text{donde } \rho = \text{grado de ocupación y } \beta = \frac{C_B}{C_A}$$

puede verse que conforme β es mayor disminuye el valor de ρ , cosa lógica por el aumento de valor de la unidad de tiempo del barco.

Con un valor de $C_B = 10$ y $C_A = 1$ (caso de los atraques de los grandes petroleros.

$$\rho = \frac{10}{11} \approx 0.9, \quad \beta = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{10}{1}}} = \frac{1}{4} = 25\%$$

si solo fuera

$$C_B = 3, \quad C_A = 1, \quad \rho = \frac{3}{4} = 0.75, \quad \beta = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{3}{1}}} = \frac{1}{2.7} = 37\%$$

En el caso de que las llegadas sean Poisson, servicio Erlang, y $S = 1$, la fórmula es $\rho = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{C_B}{C_A} \left(\frac{1}{1-\rho} \right)}}$, pudiendo deducirse

que conforme crece K , crece ρ , es decir mejora el coeficiente θ de utilización, cosa que ya habíamos comentado al indicar que las ocupaciones mejoran al poder igualar el tiempo de servicio de los barcos.

Si $S > 1$ hay que resolver una ecuación de grado S .

Estos factores de ocupación que dan el costo óptimo originan unos tiempos de espera del barco altos, pues en el primer caso considerado, de un muelle y $\theta = 25\%$, la relación $\frac{T_{cb}}{T_a} > 0,30$

y en el caso de $\theta = 37\%$ $\frac{T_{cb}}{T_a} > 0,50$ que pueden considerarse excesivas.

d) Otros autores prefieren dimensionar los muelles de forma que la relación $\frac{T_c}{T_a}$ no exceda de un valor dado; hay dos casos

donde por las características del tráfico, o por las del servicio del puerto, o simplemente por la fama de la rapidez y bondad del servicio prestado, en los que no se desea que el barco espere mucho tiempo y para ello se fija una cifra máxima para la relación del tiempo medio de espera del barco al tiempo medio de servicio, es decir $\frac{T_c}{T_a} < \omega$. Se puede ver

que para $\frac{T_c}{T_a} = 0,1$ la congestión en función del nº S de muelles será:

$$S = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7$$

$$\theta(\%) = 10 - 30 - 40 - 52 - 59 - 63 - 70$$

La ocupación del muelle aumenta grandemente con el número de atracques y el resultado difiere grandemente del caso anterior.

En el caso general, de las curvas que relacionan $\frac{T_c}{T_a}$ y θ puede obtenerse que para un muelle $S = 1$, y θ , los valores de $\frac{T_c}{T_a}$ y θ :

$$\frac{T_c}{T_a} = 0,10 - 0,25 - 0,42 - 0,68 - 1,00 - 1,50 - 2,3$$

$$\theta(\%) = 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70$$

Estos valores de espera no son apropiados en ciertos casos, y la solución estará en trabajar con un coeficiente de menor utilización aunque no dé el resultado óptimo económico.

Con una distribución $K = \infty$, las relaciones anteriores serían.

$$\frac{T_b}{T_a} (K = \infty) = 0,8 - 0,10 - 0,20 - 0,32 - 0,50 - 0,72 - 1,10$$

$$\theta(\%) = 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70$$

es decir bastante menores que en el caso $K = 1$, de acuerdo con la mejora de la explotación en el caso de uniformarse el tiempo de servicio.

En el cuadro adjunto, cobarcean las relaciones $\frac{T_c}{T_a}$ en función de la ocupación de muelles θ y del nº de muelles S.

e) Si se representan las curvas $\theta, \frac{T_c}{T_a}$ en función de S, puede observarse que el costo unitario mejora grandemente con el aumento

Cuadro: Relación entre el tiempo de espera y el tiempo de servicio

MÓDULO DE PUESTOS DE ATRÁS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0,050	0,053	0,063	0,060	0,060	0,060	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,050
0,100	0,111	0,080	0,061	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,100
0,150	0,176	0,093	0,064	0,061	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,150
0,200	0,250	0,092	0,060	0,063	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,200
0,250	0,333	0,067	0,029	0,067	0,063	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250
0,300	0,429	0,099	0,033	0,063	0,066	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300
0,350	0,525	0,120	0,053	0,063	0,061	0,006	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,350
0,400	0,667	0,199	0,094	0,076	0,070	0,011	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,400
0,450	0,810	0,254	0,113	0,075	0,073	0,020	0,012	0,008	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,450
0,500	1,000	0,333	0,150	0,087	0,072	0,031	0,022	0,015	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,500
0,550	1,252	0,434	0,217	0,126	0,079	0,033	0,037	0,025	0,019	0,012	0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,550
0,600	1,503	0,574	0,284	0,161	0,077	0,066	0,047	0,034	0,025	0,019	0,012	0,011	0,009	0,007	0,006	0,600
0,650	1,753	0,742	0,296	0,177	0,110	0,037	0,059	0,041	0,033	0,025	0,019	0,016	0,012	0,010	0,008	0,650
0,700	2,067	0,841	0,344	0,213	0,143	0,101	0,074	0,056	0,043	0,034	0,027	0,021	0,017	0,014	0,012	0,700
0,750	2,457	0,737	0,401	0,253	0,173	0,124	0,093	0,071	0,052	0,044	0,035	0,029	0,024	0,020	0,016	0,750
0,800	2,977	0,837	0,460	0,301	0,209	0,153	0,115	0,090	0,071	0,057	0,047	0,038	0,032	0,027	0,023	0,800
0,850	3,333	0,941	0,547	0,357	0,252	0,187	0,143	0,113	0,091	0,074	0,061	0,052	0,042	0,037	0,031	0,850
0,900	3,639	1,100	0,647	0,426	0,305	0,229	0,178	0,142	0,115	0,095	0,080	0,067	0,058	0,049	0,041	0,900
0,950	3,940	1,226	0,737	0,509	0,343	0,231	0,221	0,173	0,147	0,123	0,104	0,093	0,086	0,076	0,065	0,950
0,975	3,444	1,504	0,899	0,614	0,431	0,347	0,276	0,225	0,197	0,160	0,135	0,117	0,102	0,090	0,079	0,975
0,990	4,000	1,773	1,099	0,766	0,554	0,431	0,347	0,286	0,240	0,205	0,176	0,154	0,135	0,119	0,105	0,990
0,995	4,734	2,132	1,311	0,917	0,689	0,543	0,421	0,367	0,311	0,267	0,232	0,202	0,181	0,161	0,145	0,995
0,998	5,617	2,602	1,623	1,149	0,873	0,693	0,569	0,470	0,403	0,353	0,310	0,274	0,245	0,220	0,199	0,998
0,999	7,000	3,267	2,062	1,476	1,132	0,902	0,731	0,605	0,527	0,470	0,422	0,375	0,338	0,306	0,279	0,999
0,999	9,000	4,263	2,724	1,959	1,525	1,234	1,023	0,877	0,761	0,669	0,594	0,533	0,487	0,439	0,402	0,999
0,999	12,000	5,926	3,629	2,796	2,165	1,742	1,497	1,265	1,102	0,993	0,898	0,810	0,729	0,668	0,614	0,999
0,999	16,000	8,263	4,847	4,437	3,012	2,409	2,041	1,719	1,495	1,311	1,154	1,028	0,923	0,833	0,764	0,999
0,999	20,000	10,922	6,408	6,011	4,004	3,211	2,701	2,302	1,961	1,662	1,461	1,295	1,162	1,051	0,961	0,999

Nota: Cálculos efectuados por la secretaría de la UNIDAD según la fórmula de la ley de los valores (distribución de Erlang para los tiempos de espera y distribución exponencial para los tiempos de servicio). Se supone que los puntos de atención se asignan por orden riguroso de llegada de los clientes.

de instalaciones y tonelaje; las curvas deducidas del ejemplo donde se ha supuesto que el valor del tiempo unitario del terminal es de 2.660 y el del barco 17.400, es decir que la relación $\frac{C_{ut}}{C_{ab}} = 0,15$, los valores de θ y los correspondientes de $\frac{T_{ab}}{T_{ca}}$ (sabiendo que $Q = T.S.R.\theta$, es decir $\theta = \frac{Q}{T.S.R.R}$).

S	=	1	2	3	4	5	6	7
θ (%)	=	32	42	45	51	55	58	61
$\frac{T_{ab}}{T_{ca}}$	=	0,44	0,22	0,18	0,09	0,08	0,07	0,06

y los valores donde se cortan las curvas es precisamente el punto de coste unitario mínimo.

Comparando este resultado con el que obtenido para el caso de

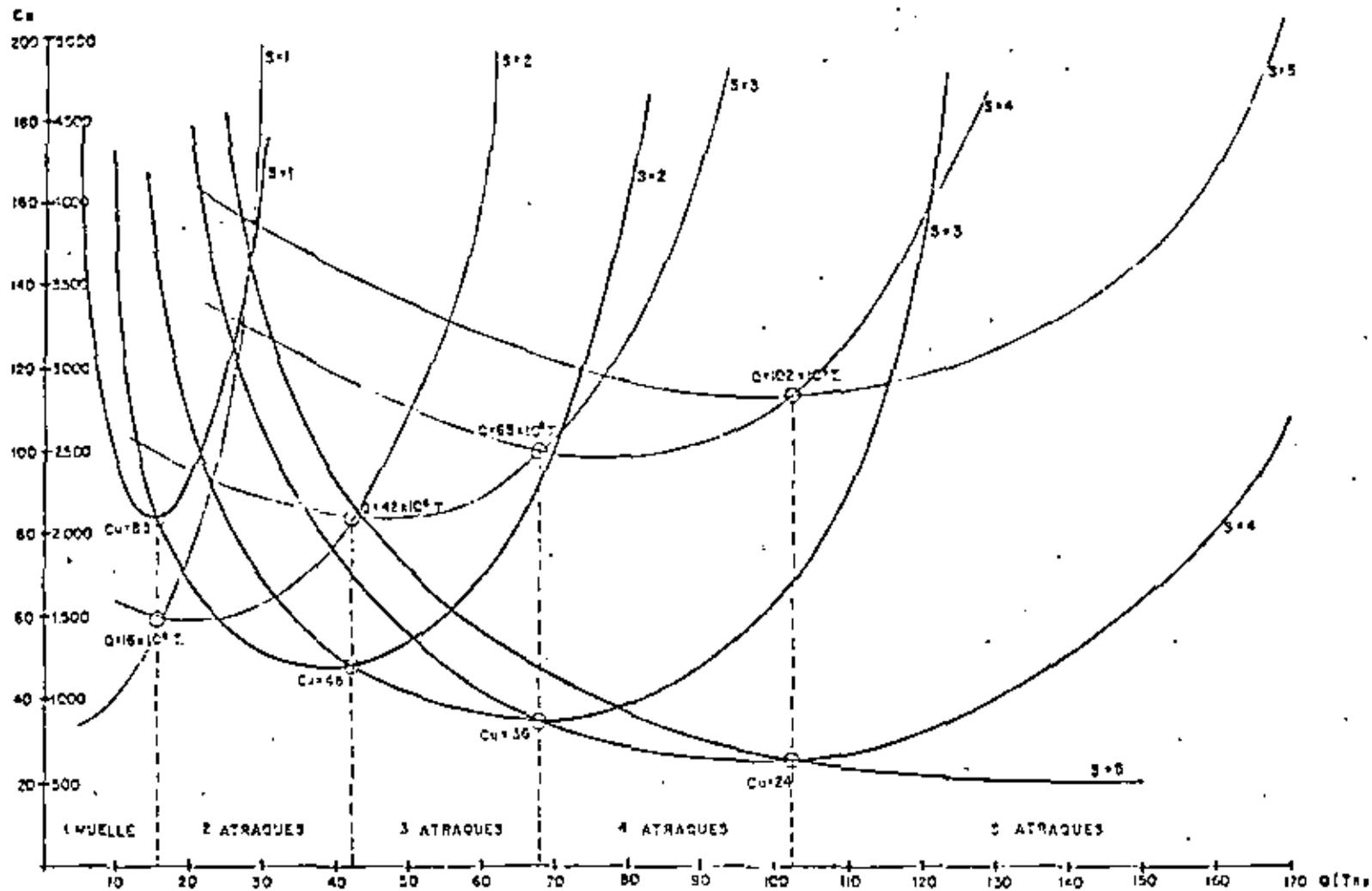
$\frac{T_{ab}}{T_{ca}} = 0,1$, se puede ver que conforme aumenta el número de muelles disminuyen las estadías y a partir de un número de S. -

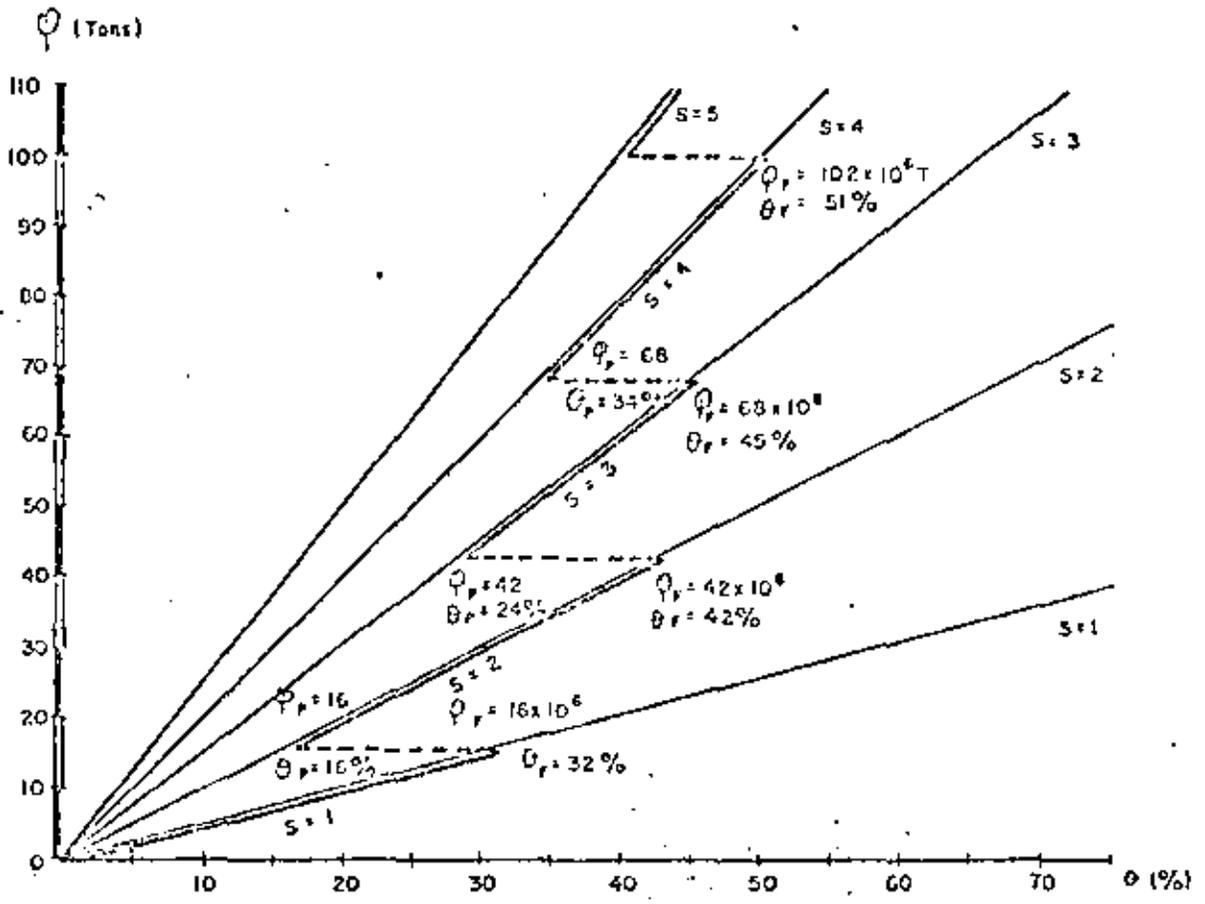
grande (en este caso $S > 4$) prácticamente las demoras son inferiores a las que se obtienen a base de obtener el óptimo económico.

f) Como resumen de lo anteriormente expuesto se pueden sacar entre otras las siguientes conclusiones:

- Las diferencias que pueden obtenerse por adoptar leyes de llegada y servicio que no reflejan la realidad, hace necesario que previamente a toda decisión, deba analizarse a fondo este aspecto y tratar de encontrar las estadísticas más seguras. En cualquier caso deben tomarse hipótesis medias, nunca optimistas, para que pueda absorberse cualquier anomalía o diferencia entre lo supuesto y lo que ocurre.
- Conforme aumenta el número de atraques, -de iguales características para igual tráfico- mejora la ocupación y el rendimiento de un puerto, es decir, conforme mayor es el puerto (para un tráfico homogéneo) mejor es su explotación.
- No conviene aumentar grandemente el coeficiente de ocupación de los muelles θ , pues si por cualquier causa se producen alteraciones en la llegada de barcos ó aumento del tiempo de servicio a los barcos, etc., como $\theta = \lambda \cdot T_b \cdot S$ si aumenta T_b (tiempo medio), aumentaría θ , y aumentaría grandemente el coste unitario de la operación.
- Es mejor aumentar un puerto, que construir otro similar independientemente (en el caso, claro está, de que fueran semejantes las condiciones de transportes terrestres, etc.). Es decir, es mejor un puerto de 6 atraques que dos indepen-

S	θ%	5	10	15	20	25	30
1		170,14	95,18	83,56	94,09	123,19	161,56
2		10	20	30	40	50	60
		159,60	75,15	51,92	47,69	53,58	68,76
3		15	30	45	60	75	90
		159,60	73,04	45,60	37,14	36,71	47,67
4		20	40	60	80	100	120
		159,60	70,93	43,48	30,81	26,16	28,69
5		25	50	75	100	125	150
		159,60	70,93	41,37	28,70	24,06	22,36





dientes de tres atraques cada uno. Esta es una de las razones que abogan la concentración de grandes unidades de tráfico.

- Debe determinarse cual es el óptimo básico, es decir, que factor debe ser el prioritario en el proyecto, si el mínimo económico, si la calidad de servicio (esperas mínimas), inversiones mínimas, etc.
- Conforme se uniforman las llegadas de los barcos y el tiempo de servicio en muelle (o sea llegadas de Erlang $N > 1$ y tiempo de servicio con Erlang $N > 1$ y a ser posible ∞), mejora la explotación.
- Finalmente, al estudiar el puerto debe analizarse a fondo el tráfico para separar por unidades los muelles de cada tipo.

Si se consideran iguales los muelles y luego no son aptos para un tráfico determinado, al disminuir S , empeorará notablemente la explotación y nos expondremos a tener estadías de barco y por tanto costos totales inadmisibles.

3.5.11 Aplicación del método. Ejemplo

Como resumen de lo anteriormente expuesto se acompaña un estudio para un terminal petrolero.

Se trata de una instalación portuaria que sirve a un puerto de trasbordo debiendo disponer de atraques para recepción de crudos y otros para posterior salida y distribución en barcos menores. El estudio ha sido realizado por C. López.

A. Modelo matemático del terminal

En el estudio que sigue se supone el terminal como sistema abierto en régimen permanente, integrado por un centro de espera o zona de fondeo y varios centros de servicio o puestos de atraque, diferenciados en dos tipos "standard": S_p puestos de atraque de entrada S_s puestos de atraque de salida.

Se supone que la distribución de llegadas de barcos sigue una Ley de Poisson y la de servicio una Ley exponencial.

El comportamiento del sistema se refleja en el modelo por medio de unas magnitudes características cuya definición es la siguiente:

- λ = número medio de buques que llegan al terminal por unidad de tiempo.
- μ = número medio de buques servidos por unidad de tiempo y por atraque.

- θ = porcentaje de ocupación por atraque.
- \bar{W} = estadía media.
- \bar{V} = número medio de buques de fondeadero.

El conocimiento de estas magnitudes para cada dimensión posible del terminal, permite determinar los tonelajes óptimos anuales de operación, las ocupaciones óptimas de los atraques y los costes mínimos de pérdidas originadas por estadías e inactividad de las instalaciones.

El proceso de cálculo se sistematiza de la siguiente manera:

- 1) Determinación de las estadías anuales

$$T_{eb} = \frac{\bar{W}}{\bar{V}} \cdot T \cdot \frac{\theta}{100} S$$

a partir de los ábacos se obtiene para cada S y cada θ un valor de T_{eb} .

- 2) Determinación de los días de inactividad anuales de los atraques.

$$T_{ea} = T S \left(1 - \frac{\theta}{100} \right)$$

- 3) Determinación de los costes de pérdidas C aplicando a los tiempos anteriores los costes unitarios de estadía y de amortización de atraques.
- 4) Determinación de los tonelajes operados anualmente.

$$Q = T S \theta R$$

En definitiva se obtienen para cada S, pares de valores C-Q en función de θ , y se pueden definir los tonelajes óptimos económicamente de operación.

B. Atraques de entrada

Las hipótesis que se formula para realizar el dimensionamiento son las siguientes:

- Rendimiento de las instalaciones de transbordo 15.000 T/h.
- Porte medio de los VLCC 300,000 D.W.T.
- Tiempo medio de ocupación de atraques 2 días
- Coste atraque standard 8.000.000 S
- Coste del VLCC de 300,000 D.W.T. 39.000.000 S
- Período de utilización de las instalaciones marítimas 330 días.

Los costes globales anteriores del VLCC de 300.000 D.W.T. y del atraque standard producen los costes diarios siguientes:

V.L.C.C. 300.000 DWT

\$ U.S.A.

Coste de construcción.....	39.000.000
Valor residual a deducir (2%)	780.000
Coste anual operacional	1.000.000
Coste diario de combustible en Puerto.	75

Período de amortización 15 años; tasa de interés 7%

- Anualidad de amortización

Capital a amortizar: 38,220.000.- \$

$$\alpha = \frac{38,220,000 \cdot 0,07 \cdot (1+0,07)^{15}}{(1+0,07)^{15} - 1} = \frac{38,220,000 \cdot 0,07 \cdot 2,76}{1,76} =$$

$$= 4,200.000$$

- Coste anual: 4,200.000 + 1,000.000 = 5,200.000

- Coste diario: $\frac{5,200.000}{300} + 75 = 17,400$ \$/día

Atraque standard

Coste de construcción	8.000.000 \$
Período de amortización: 15 años; tasa de interés 7%	

- Anualidad de amortización

$$\alpha = \frac{8,000.000 \cdot 0,07 \cdot (1+0,07)^{15}}{(1+0,07)^{15} - 1} = \frac{8,000.000 \cdot 0,07 \cdot 2,76}{1,76} =$$

$$= 880.000 \$$$

$$= \text{Coste diario: } \frac{880.000}{330} = 2666 \text{ } \$/\text{día}$$

C. Atraques de salida

Las hipótesis que se formulan para realizar el dimensionamiento son las siguientes:

- Rendimiento de las instalaciones de transbordo: 6.000 T/M.
- Porte medio de los petroleros: 75.000 D.W.T.
- Tiempo medio de ocupación de atraques: 2 días
- Coste atraque standard: 3.000.000 \$

Los costes globales anteriores producen los costes diarios siguientes:

Petrolero 75.000 D.W.T.

\$ U.S.A.

Coste de construcción.....	9.000.000
----------------------------	-----------

Valor residual a deducir (2%)	180.000
Coste anual operacional	600.000
Coste diario de combustible en Puerto	40

Período de amortización: 15 años; tasa de interés: 7%

- Anualidad de amortización

Capital a amortizar: 8.820.000 \$

$$\alpha = \frac{8.820.000 \cdot 0,07 \cdot 2,76}{1,76} = 970.000$$

- Coste anual

$$970.000 + 600.000 = 1.570.000$$

- Coste diario

$$\frac{1.570.000}{300} + 40 = 5.280 \text{ \$/día}$$

Atraque standard

Coste de construcción obra civil: 3.000.000 \$

Período de amortización: 25 años; tasa de interés 10%

- Anualidad de amortización

$$\alpha = \frac{3.000.000 \cdot 0,1 \cdot 1,1^{25}}{1,1^{25}} = \frac{3.000.000 \cdot 0,1 \cdot 11}{11-1} = 330.000 \text{ \$}$$

- Coste diario: $\frac{330.000}{330} = 1.000 \text{ \$/día}$

Capacidad del terminal

Como resumen del cálculo anterior, se representa en el gráfico el crecimiento del número de atraques del terminal en función del tráfico de productos.

S	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	Tec	297	264	231	198	165	132	99	66	33	0
	Teb	3	13.8	26	39.6	52.2	64.8	77.4	90	102.6	115.2
2	Tec	594	528	462	396	330	264	198	132	66	0
	Teb	0	4.8	9.6	14.4	19.2	24	28.8	33.6	38.4	43.2
3	Tec	891	772	653	534	415	296	207	158	99	0
	Teb	0	7.2	14.4	21.6	28.8	36	43.2	50.4	57.6	64.8
4	Tec	1188	1035	882	729	576	423	296	207	158	0
	Teb	0	9.6	19.2	28.8	38.4	48	57.6	67.2	76.8	86.4
5	Tec	1485	1320	1155	990	825	660	495	330	165	0
	Teb	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108
6	Tec	1772	1584	1396	1208	1020	832	644	456	268	0
	Teb	0	14.4	28.8	43.2	57.6	72	86.4	100.8	115.2	129.6
7	Tec	2079	1848	1617	1386	1155	924	693	462	231	0
	Teb	0	16.8	33.6	50.4	67.2	84	100.8	117.6	134.4	151.2
8	Tec	2376	2112	1848	1584	1320	1056	792	528	264	0
	Teb	0	19.2	38.4	57.6	76.8	96	115.2	134.4	153.6	172.8
9	Tec	2673	2376	2079	1782	1485	1188	891	594	297	0
	Teb	0	21.6	43.2	64.8	86.4	108	129.6	151.2	172.8	194.4
10	Tec	2970	2568	2160	1758	1350	942	534	330	165	0
	Teb	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216

S	Q	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1.	Q	4,55	9,10	14,65	19,20	24,75	29,30	34,85	39,40	44,95	49,50
	C	542,22	942,24	1240,84	1863,02	3045,03	4798,78	7925,74	—	—	—
2	Q	9,10	19,50	29,70	39,80	49,50	59,40	69,70	79,20	89,10	99,00
	C	1580,04	1482,00	1542,37	1888,26	2072,00	4084,84	7102,18	10549,32	—	—
3	Q	14,65	23,70	44,25	59,40	74,25	89,10	103,95	118,80	133,65	148,50
	C	2373,05	7124,33	7234,30	2726,44	2776,10	6243,00	7536,45	5100,74	42245,25	—
4	Q	19,20	38,50	58,40	79,20	99,00	118,80	138,60	158,40	178,20	198,00
	C	2100,00	2608,50	7383,12	2440,70	2553,80	3438,24	6021,00	2321,04	2984,32	—
5	Q	24,75	49,50	74,25	99,00	123,75	148,50	173,25	198,00	222,75	247,50
	C	3900,10	3511,20	3072,30	2692,20	2977,50	3321,40	6056,90	6405,00	10074,90	—
6	Q	29,30	58,60	88,10	118,10	148,10	178,10	208,00	237,60	267,20	297,00
	C	4740,10	4213,44	3688,72	3160,68	3259,80	3610,00	3320,36	11576,80	37121,00	—
7	Q	34,85	69,70	103,55	138,40	173,25	208,10	242,95	277,80	311,65	346,50
	C	5520,16	4913,68	4301,22	3686,76	3432,70	3334,80	4401,18	9598,32	30211,80	—
8	Q	39,40	78,80	118,80	158,40	198,00	237,60	277,20	316,80	356,40	396,00
	C	6320,14	5517,92	4910,68	4213,44	3734,20	3591,96	4664,32	10034,88	33100,44	—
9	Q	44,95	89,10	133,65	178,20	222,75	267,30	311,85	356,40	400,95	445,50
	C	7110,18	6320,18	5522,16	4740,12	4071,00	3659,04	4577,60	10071,24	30109,02	—
10	Q	49,50	99,00	148,50	198,00	247,50	297,00	346,50	396,00	445,50	495,00
	C	7900,00	7027,40	6114,60	5266,80	4387,00	4137,60	3191,20	10107,60	30022,20	—

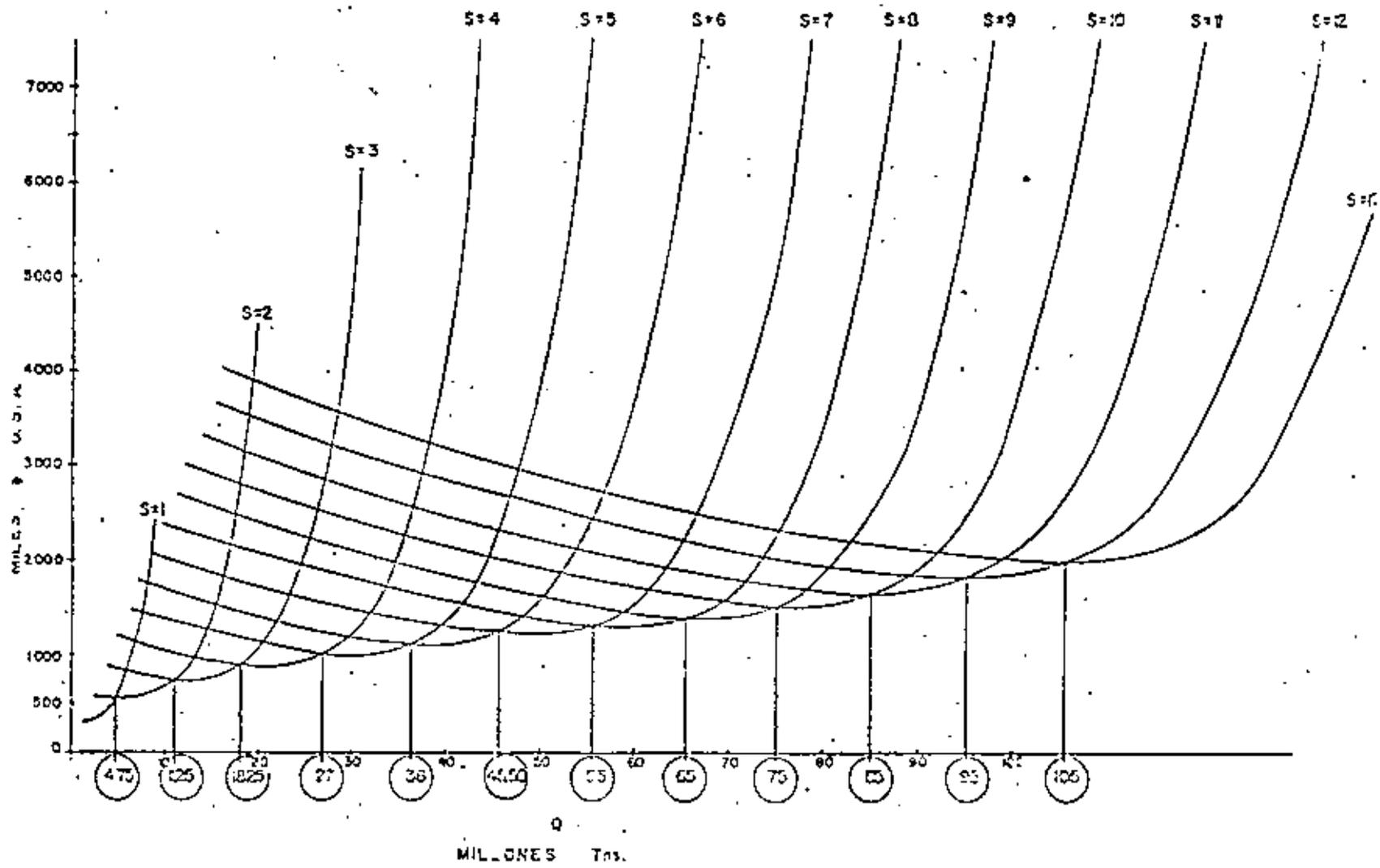
$$Q = TSO \times R = 49,5 \cdot S \cdot Q \cdot 10^6 \text{ Tn.}$$

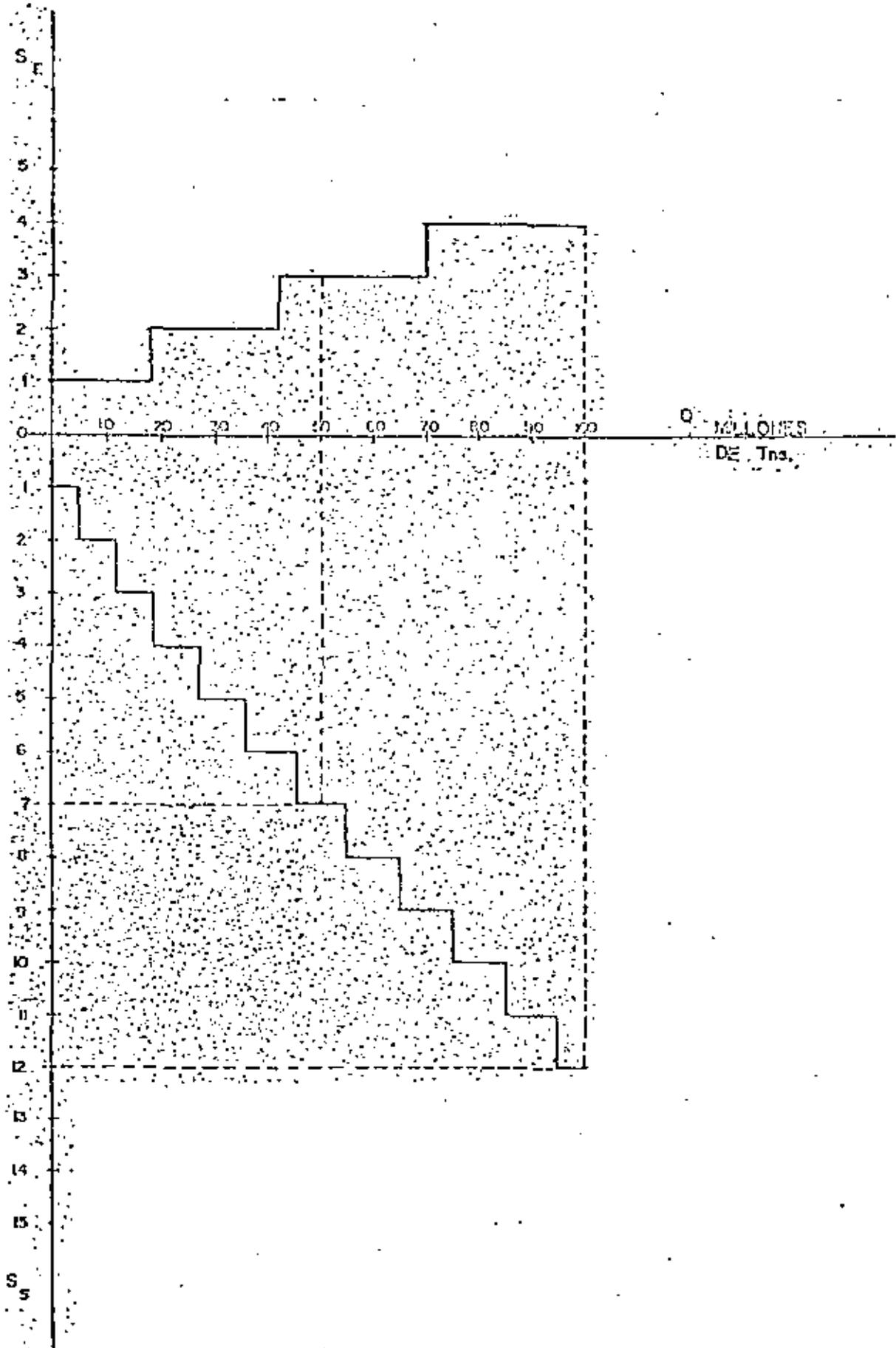
$$C = C_a T_{a0} + C_b T_{b0} = (2,660 T_{a0} + 17,400 T_{b0}) \times 10^3 \text{ \$}$$

S	G	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	Q	1,24	2,43	3,71	4,99	6,19	7,43	8,65	9,90	11,14	12,28
	C	312,84	336,93	421,08	603,5	957	1481,57	2427,48	-	-	-
2	Q	2,48	4,96	7,42	9,90	12,38	14,86	17,32	19,80	22,28	24,76
	C	594,	553,34	557,09	649,47	808,90	1290,43	2025,81	4440,48	-	-
3	Q	3,72	7,44	11,13	14,85	18,57	22,29	25,98	29,70	33,42	37,14
	C	691	611,01	750,02	714,04	922,68	1305,41	2329,79	4753,82	12,522,40	-
4	Q	4,96	9,92	14,84	19,79	24,76	29,72	34,64	39,60	44,56	49,52
	C	1109	1056	962,02	853,35	914,44	1136,26	1503,97	3812,16	12107,04	-
5	Q	6,20	12,40	18,55	24,75	30,95	37,15	43,30	49,50	55,70	61,90
	C	1485	1370	1125	853,35	1057,6	135,7	1936,64	4181,6	11253,70	-
6	Q	7,44	14,88	22,32	29,76	37,14	44,58	51,96	59,40	66,84	74,28
	C	1782	1586	1336	1183	1180,08	1218,14	17915	3162,14	1117,68	-
7	Q	8,68	17,36	26,04	34,72	43,40	52,08	60,76	69,44	77,99	86,56
	C	2079	1840	1617	1414	1552,44	1562,11	1469,16	3123,12	9212,28	-
8	Q	9,92	19,84	29,76	39,68	49,52	59,44	69,28	79,20	89,02	98,94
	C	2376	2110	1844	1584	1355,92	1205,6	1568,16	3146,88	9201,04	-
9	Q	11,16	22,32	33,48	44,64	55,71	66,87	77,94	89,10	100,26	111,42
	C	2673	2376	2079	1782	1521,96	1299,2	1157,16	3172,64	9233,8	-
10	Q	12,40	24,80	37,10	49,50	61,90	74,30	86,60	99,00	111,40	123,80
	C	2970	2640	2310	1980	1650	1510,68	1766,16	3194,4	9174	-

$$Q = T S; Q \times R = 12,375 \cdot S \cdot 10^5 T_n$$

$$C = C_a T_{ca} + C_b T_{cb} = (1,000 T_{ca} + 5,280 T_{cb}) \times 10^3 S$$





3.6. MÉTODOS DE SIMULACION

3.6.1. El sistema portuario y su análisis

El conjunto del puerto forma un complicadísimo sistema operacional cuya complejidad solo es comparable a la de los sistemas industriales o de transportes más desarrollados e importantes que puedan concebirse.

Este "sistema" está formado por una serie de "subsistemas" dependientes entre sí que se influyen mutuamente de forma que cualquier alteración en el ritmo o método de trabajo de uno de ellos afecta a los demás en sus rendimientos y resultados y por consecuencia en el desarrollo global de la actividad portuaria.

Estos "subsistemas" los integran las diferentes operaciones que deben realizar sucesivamente el barco, la instalación de transbordo y el transporte terrestre para permitir el paso de la mercancía a través del puerto en su camino a lo largo de la cadena del transporte, formando por tanto, como parte de los mismos toda la serie diferenciada de movimientos o fases por las que pasan los usuarios, es decir, prácticos, remolcadores, atraques, operaciones de carga y descarga, almacenamiento, etc.

El buen funcionamiento del puerto exige que todos sus elementos o subsistemas trabajen a un ritmo y rendimiento adecuado y por tanto deben estar dimensionados equilibradamente, pues sabemos sobradamente que la capacidad del puerto será la del elemento de menor potencia y si alguno de ellos falla hará que se pierda capacidad de los restantes elementos con la consiguiente repercusión económica.

Pero la capacidad de cada "subsistema" o fase operativa depende de una multitud de factores cuya actuación se superpone y que es difícil de separar para tratar de conocer donde puede residir la causa del mal funcionamiento o escaso rendimiento. Entre otros factores pueden señalarse por ejemplo los debidos a causas humanas tales como escasez de personal o falta de preparación del mismo; o mal organización de las operaciones; o un equipo insuficiente o anticuado; o un mal dimensionamiento de la instalación en conjunto o en alguna de sus partes, etc. etc.

Sería conveniente por tanto conocer en primer lugar cual es el "subsistema" o elemento que falla en el conjunto y después analizar el causante de la anomalía para determinar cual es la causa o las causas que pueden originar su fallo y remediarlo.

A veces no se trata de que el conjunto portuario funcione mal, sino que se desea mejorar sus resultados o aumentar su capacidad, etc. y para ello es indispensable conocer qué puntos son sobre los que hay que actuar y qué consecuencias tendrán las mo-

dificaciones propuestas; otras veces la pregunta será sobre la situación futura del puerto al evolucionar el tráfico a lo largo de los años y cuando sería necesario disponer de nuevas instalaciones para hacer frente a la demanda en las condiciones "óptimas" que previamente se determinen.

Pero por la complejidad del puerto se comprende la dificultad de realizar ésto disponiendo únicamente de los métodos empíricos donde cada modificación de medios, subsistemas o componentes de los mismos, supondría unas largas y pesadas composiciones de situaciones de la actividad portuaria y en total un número tan grande que haría el empeño prácticamente imposible.

Claro está que un especialista portuario puede reducir considerablemente este trabajo, ya que de antemano, con sus conocimientos y experiencias sabe en muchos casos cual es la solución más apropiada para un "subsistema", y por otro lado, varias de las posibles alternativas tienen elementos comunes que pueden dejar de ser tomados en consideración en las comparaciones.

Pero no obstante debe reconocerse que el método empírico es demasiado simplista, y aun podríamos llamar rudimentario y sobretodo puede dar origen a graves errores sobre todo cuando intervienen factores dinámicos o aleatorios.

Tampoco es suficiente el método analítico pues se limita al análisis de partes del puerto consideradas independientemente y no es aplicable prácticamente cuando el número de muelles es mayor de uno o dos y las leyes de llegadas y servicios no son simples.

Por eso, si se pudiera disponer de un medio operativo que permitiera crear una imagen rápida del conjunto y la variación de los diferentes sistemas por variar los factores que influyen en ellos se tendría un arma eficaz para la planificación y dimensionamiento.

La estructura del puerto formada por una serie de subsistemas operacionales, los métodos de análisis de sistemas y la ayuda de los ordenadores electrónicos permiten desarrollar un método que suministre rápidamente la imagen de la situación del puerto para un tráfico dado y unas instalaciones, métodos de operaciones y condiciones de trabajo previamente señalados. Es decir que teóricamente se puede reproducir el desarrollo de la actividad portuaria para diferentes esquemas y dimensiones de instalaciones, con rendimientos, costos, tiempos, etc., variables a voluntad y en diferentes fechas o sea con evolución del tráfico previsto y comparar los resultados entre ellos, o sea, elementos necesarios y su costo, espera, congestiones o exceso de capacidad, para deducir el más conveniente y lo que es casi más impor-

tante, que resultado se obtiene al variar los elementos de uno de los subsistemas contemplándolo no sólo en el resultado para el subsistema considerado, sino sobre el conjunto del puerto, con lo que en resumen se puede conocer el "óptimo" de acuerdo con las bases de comparación establecidas.

En resumen: Estos métodos se basan en establecer un modelo matemático que represente la actividad portuaria en su conjunto con unas normas de funcionamiento, al que se le suministran una serie de datos y con la ayuda de una computadora ir obteniendo los resultados de las distintas fases y las acciones de unas sobre otras al modificar su estado; el ordenador va realizando la operación desde el principio hasta el fin representando los resultados durante un tiempo determinado; al variar sucesivamente los diferentes datos y factores, se obtendrán los resultados correspondientes para el período de tiempo fijado.

Estas técnicas se llaman de "simulación" y sencillamente en síntesis es la aplicación de la técnica de ordenadores a los métodos empíricos, ya que el modelo previo ha de establecerse de acuerdo con el esquema y los datos diversos han de suministrarse por la experiencia o conocimiento del proyectista.

Lo que supone el cambio "absoluto" es el poder representar miles de variaciones de los diferentes factores que intervienen durante periodos de tiempo largo de simulación en unas pocas horas.

Este método tiene aplicaciones diversas muy importantes para el proyectista y al mismo tiempo presenta limitaciones y errores que pueden ocasionar resultados inaceptables. Es indispensable conocer hasta que punto es útil este sistema, advirtiendo que a pesar de los aspectos negativos que actualmente pueda presentar, es el método del futuro y que gran parte de los errores o limitaciones se superarán con un mayor conocimiento de la realidad y con un perfeccionamiento del modelo. A continuación se exponen los puntos más importantes de este método sin entrar a fondo, ya que en realidad pertenece al campo de la informática; el portuario lo que tiene que hacer es dar los datos básicos para alimentar el modelo, así como corroborar que los resultados de comprobación del modelo se ajustan a la realidad.

3.6.2. El proceso de simulación

El modelo del puerto será la representación del esquema operativo que existe en la realidad; cada actividad o subsistema estará representada por una ecuación y los diferentes factores que intervienen mediante variables.

Por la complejidad del puerto sería prácticamente imposible crear un modelo donde intervinieran todos los factores que pueden tomar parte en las operaciones por lo que debe acudir a simplificaciones eliminando aquellos aspectos menos importantes y concentrarse en los aspectos fundamentales, dejando para programas más reducidos los problemas de detalle que pueden afectar a una parte concreta de la actividad portuaria. El proceso a seguir para realizar la simulación del puerto puede esquematizarse como sigue:

- a) Definición del problema
- b) Datos básicos del tráfico
- c) Elaboración del modelo
- d) Elaboración del programa del ordenador
- e) Comprobación de la validez del modelo y ejecución de la similar
- f) Información de salida

El proceso de simulación es muy complicado y sometido a errores por lo que es básico que sea comprobado rigurosamente, aunque una vez ajustados sus resultados su aplicación es automática sin necesidad de nuevos ajustes o comprobaciones.

a) Definición del problema

En primer lugar hay que determinar las condiciones existentes y los objetivos que se desean obtener, así como la posible existencia de determinantes especiales en las operaciones (por ejemplo disminución de estadias, limitaciones de inversiones, posibilidad de modificación o no de normativas, etc.) y en resumen plantear el motivo y fin de la simulación.

b) Datos básicos del tráfico

Es uno de los puntos fundamentales del proceso: por facilidad y simplificación se separa del programa básico formando programas "satélites". Hay que disponer de datos actuales, previsiones y en consecuencia el posible tráfico en los diferentes períodos.

Los programas satélites o "subprogramas" empleados en el programa de la UNCTAD son los siguientes:

- b₁) Programa de acumulación de datos: Son los datos relativos a las frecuencias y tipos de buques y cargas del tráfico actual clasificándolos de acuerdo con sus posibles variaciones; confecciona los llamados FRELIS o listado de llegadas de barcos con sus características y circunstancias.

- b₂) Programa de previsiones: Tiene como misión el tener en cuenta las variaciones que el futuro introdujera en los PRELIS, tanto debido a la evolución del tráfico como a los cambios tecnológicos, etc.
- b₃) Programa de generación de tráfico: Proporciona o genera la estructura del tráfico que debe ser simulada, mediante un muestreo aleatorio de los PRELIS en las condiciones actuales o en las futuras. Será la información del tráfico de entrada que se le suministra al ordenador para que realice la simulación de acuerdo con el modelo base.

c) Elaboración del modelo o esquema de funcionamiento

Aunque la misión de los puertos es idéntica en todos, sin embargo cada uno tiene unas características propias que las diferencian en cierto grado entre sí.

El modelo de simulación representará las operaciones básicas y las diferentes variables que pueden intervenir y habrá que aplicarlo a las características y condiciones específicas de cada puerto. Por ejemplo, habrá puertos con una larga ria y barra y zonas de fondeadero y otros donde la entrada del mar a muelle es directa; puertos donde se necesitan remolcadores y otros no; etc.; en los casos más sencillos el subsistema consiguiente no existirá produciéndose directamente el paso de una fase a la siguiente.

El esquema del puerto puede dividirse en las siguientes secciones operacionales:

- 1) Llegada al antepuerto
- 2) Toma de práctico
- 3) Toma de remolcadores
- 4) Puntos de amarre o fondeo
- 5) Muelles o atracaderos
- 6) Instalación de trasbordo
 - 6₁) Operaciones de descarga
 - 6₂) Transporte a almacén o carga a vehículo
 - 6₃) Almacenamiento
- 7) Carga a vehículo
- 8) Salida vehículo terrestre

Se prescinde de que existan esclusas, aparcamientos de vehículos terrestres, etc. para simplificar el ejemplo.

Puede suceder que no sean necesarios los remolcadores (3), que no exista el fondeadero (4) entrando directamente en muelle, y que la operación en tierra se reduzca desde el punto (6) a una simple operación de entrega continua como sucede con los petroleros.

En estos casos el esquema operacional se reduciría al siguiente:

- 1) Llegada al antepuerto
- 2) Toma de práctico
- 3) Atraque a muelle y dejar práctico
- 4) Operación de descarga
- 5) Toma de práctico y de atraque
- 6) Abandono de práctico y salida del antepuerto

En cualquier caso podrían distinguirse los circuitos del barco, de los prácticos, remolcadores, mercancía, vehículos terrestres, etc.

En cada subsistema se pueden producir demoras y alteraciones en el ritmo del trabajo debido a que la siguiente fase o actividad no tenga elementos disponibles (por ejemplo no haya prácticos disponibles, o atraques, o almacenes para la mercancía, etc.), debiendo permanecer en espera el barco ó el vehículo terrestre por no poder descargar su mercancía.

El modelo se basará en el proceso operativo que se desarrolla sobre el esquema general del puerto: es decir se dibuja el esquema diferenciando las secciones del puerto y los subsistemas o elementos que intervienen.

Posteriormente hay que definir las normas de realización de las operaciones, señalando las características y cantidad de los equipos o instalaciones, limitaciones que puedan existir en su utilización, condiciones especiales, prioridades, etc. tanto referente al buque como a la carga. También se incluyen todo lo referente a rendimientos, capacidades, etc.

d) Programa del ordenador

Pueden ser diversos, según sea el tipo elegido, ordenador, lenguaje, etc. Se comenta brevisísimamente el ya citado de la UNCTAD.

Fundamentalmente consiste en un programa principal que determine el orden de las actividades y dentro de éstas los procedimientos que tratan los problemas específicos y suministran información para la simulación.

El programa lee y asimila en su memoria los datos del generador de tráfico y los valores de los parámetros asignados al modelo; al mismo tiempo se establece un eje de tiempos.

El funcionamiento es el siguiente:

- Procedimiento Pilugall que asigna prácticos y remolcadores cada vez que son necesarios en la simulación.
- Procedimiento Nounitas que determina el número de unidades de carga y descarga que están disponibles cuando son requeridas.
- Actividad Ship "Acciona" los buques a través del puerto y dirige el proceso de carga y descarga.

Para realizar esto tiene a su disposición los siguientes procedimientos:

- Procedimientos Pilotleaves y Tugleaves que realizan las operaciones relativas al abandono de los buques por los prácticos y remolcadores.
- Procedimiento Berthtime que calcula los tiempos de carga y descarga.
- Procedimiento Callin que acumula los tiempos de estancia en el puerto de cargas y buques de diferentes tipos para cada una de las estaciones del año.
- Procedimiento Test que investiga otras posibilidades de carga y descarga si la elegida en primera instancia resulta imposible.
- Procedimiento Berdat que controla los atracaderos.
- Procedimiento Sort que coloca los buques en cola durante las esperas, y los da salida según las prioridades y el orden de llegada.
- Actividad Shift controla los tiempos y equipos disponibles en cada "turno".
- Actividad Season tienen en cuenta las variaciones estacionales para la inclusión en el programa en el momento oportuno.
- Actividad High tiene en cuenta variaciones en mareas y alturas de calado de las diversas secciones del puerto.

En el trabajo de la UNCTAD aparece con todo detalle el procedimiento seguido.

c) Comprobación del resultado

Es fundamental para determinar la bondad del sistema y el programa está preparado para determinar si la simulación debe continuar o no; la prueba consiste en verificar si las dife-

rentes simulaciones presentan una convergencia suficiente, que se admite cuando la diferencia del valor acumulado de los tiempos empleados por los buques entre dos años sucesivos con el mismo programa de tráfico es menor que una cifra dada.

Hay que eliminar las condiciones iniciales de la simulación, para evitar que puedan influir en los resultados finales, cuando aun no está en trabajo normal todo el sistema; para lograrlo se para la simulación al cabo de un cierto tiempo y se comienza de nuevo suponiendo que las condiciones iniciales del sistema son las que tenía en el instante de parar.

f) Información de salida

El programa da una información de una serie de puntos que interesan para la decisión y se refieren a datos sobre el tiempo empleado por los diferentes buques en las instalaciones portuarias tanto en lo referente a tiempo de espera como a tiempo de operación, y lo mismo respecto a la carga dando tiempos de almacenamiento y de carga, etc.

3.6.3. Campos de aplicación

Prácticamente toda la actividad portuaria puede ser tratada mediante un proceso de simulación y de hecho existen numerosos programas referentes tanto al desarrollo de las operaciones portuarias propiamente dichas, como al funcionamiento del equipo portuario, de los equipos laborales, remolcadores, utillajes, etc.

3.6.3.1. Utilización del método

En lo que se refiere al desarrollo portuario, el proceso de simulación puede utilizarse en los siguientes objetivos:

- a) Juicio de las actuaciones anteriores. Consiste en volver a representar lo que ocurrió en el puerto en un período anterior (p.e. un año) donde se conocen los datos de entrada, rendimientos, pérdidas por diversas causas, etc. y los resultados de esperas, utilizaciones, costos, etc.

Si el modelo se estabiliza, se le suministran los datos de entrada y se varían los "subsistemas" (p.e. número de prácticos o remolcadores, longitud de atraques, equipos laborales, etc.) obteniendo fácilmente los resultados y por tanto se podrá juzgar la bondad de la organización que se utiliza o la conveniencia de introducir modificaciones.

Este tipo de simulación será cada vez más útil para los portuarios aunque solo se refieren al pasado; hay que tener cuidado con las extrapolaciones al tratar de aplicar los resultados a otra situación de tráfico diferente.

- b) Capacidad del puerto. Al ir creciendo el tráfico, e incluso ir variando de características, el método de simulación nos puede aclarar hasta cuando podrán valer las instalaciones actuales sin producirse una congestión, o sea, que capacidad admisible tiene el puerto y que modificaciones operacionales o de organización habría que introducir en cada momento para disminuir los costos sin necesidad de grandes inversiones.
- c) Evolución del tráfico. Es el aspecto más importante de la aplicación de la simulación ya que permite ir encontrando el "óptimo" económico en cada momento de acuerdo con el tráfico previsto y las posibilidades.
- El método dará en cada momento los atraques y equipos necesarios, así como estadías, costos operacionales y en resumen costos totales para cada alternativa al ir modificando las variables de los elementos.
- d) Análisis de los subsistemas. Se emplea en el análisis del funcionamiento de cada instalación o subsistema por separado, dándole los datos de entrada y viendo los resultados de cada modificación. Hay que tener en cuenta sin embargo que en estos casos los resultados de buscar un "óptimo" parcial puede ser que vayan en contra de la operación conjunta; por ejemplo al analizar el trabajo de los prácticos, el aumentar el número, aunque aumente el tiempo de estar ociosos puede ser beneficioso para el conjunto si disminuyen las estadías del barco que es lo más importante.

3.6.3.2. Limitaciones

Este método lleva muy poco tiempo en utilización y las limitaciones o errores que pueda tener se deben precisamente a que todavía no ha alcanzado su total desarrollo, por lo que no hay duda que conforme se vayan analizando por los expertos los diferentes aspectos de la vida portuaria y encontrando los modelos apropiados así como definiendo los datos que deben utilizarse, el método irá perfeccionándose y ganando en exactitud y claridad.

Las principales limitaciones o puntos que pueden ocasionar errores son:

- a) Datos estadísticos. Los datos de entrada se suministran al ordenador de acuerdo con las leyes de entrada y servicio del puerto; si las estadísticas están equivocadas o no son lo suficientemente aproximadas pueden introducirse graves errores al adoptar una ley que después no se cumple en la realidad.

Otras veces lo que sucede es que ni siquiera existen estadísticas fiables de dirección de operaciones, pérdidas de tiempo

pos por varias causas, equipos utilizados, etc. por lo que será muy difícil establecer un modelo que sea concordante con la realidad.

- b) Previsiones del tráfico. En la simulación dinámica hay que establecer la evolución del tráfico con el tiempo a base de suponer que el volumen del tráfico (medios de transporte y mercancías) varía aumentando con los años. Si las bases de cálculo de estas previsiones no son apropiadas los datos resultantes no serán ciertos y por tanto la información que se suministre al puerto será errónea y los resultados también.
- c) Cambios tecnológicos. El continuo avance de la tecnología de los barcos, tanto en lo que se refiere a sus posibilidades de maniobra, como de dispositivos de operaciones, dimensiones y capacidades, unido al perfeccionamiento y aumento de rendimiento de los equipos de manipulación en el puerto y los correspondientes del transporte terrestre, hace que al cabo de un tiempo las previsiones no sirvan, pues ni el número de unidades de barco (disminuirán proporcionalmente al aumentar el tamaño), ni las pérdidas por dificultades de navegación (serán menores por el mejor equipo de dirección), ni el tiempo en muelle (aumentará la capacidad y rendimiento y disminuirá el tiempo en operación), etc. será similar al que supondría el nuevo tráfico de mercancías con igual tecnología en los medios de transportes y puertos.

Es indispensable tener en cuenta estos aspectos cuando se establezcan las normas para el generador de tráfico o sucederá igualmente que en el apartado anterior.

- d) Costos de obras, instalaciones y equipos. Es otro de los factores que pueden ocasionar errores. La optimización basada en un costo mínimo de barcos, instalaciones operacionales y transportes terrestres puede resultar errónea si la base no es cierta. Muchas veces, el costo de las instalaciones y equipos portuarios no responde a la realidad debido a una política tarifaria. Debe operarse a base de costos reales o de lo contrario nos expondremos a sacar conclusiones diferentes conforme varían los criterios de valoración.

Lo mismo podría decirse de la variación de los precios de los barcos con el tiempo, que al aumentar mucho más rápidamente que los de las obras e instalaciones, hará que el resultado económico sea diferente (pues valdrá más la unidad de tiempo de estadia perdida por el barco que la de la instalación portuaria y esto significa más atraques).

- e) Complejidad del sistema del transporte. La posibilidad que un cambio en las condiciones de la red de transportes terrestres altere las condiciones de trabajo del puerto es evidente, por lo que para que el modelo sirva en años sucesivos debe tener-

en cuenta en las previsiones de tráfico. Lo mismo podría decirse de las consecuencias derivadas de una competencia portuaria o de una política de coordinación de transporte.

- f) Finalmente, podríamos hablar de las simplificaciones que es necesario introducir en el modelo derivadas de la casuística del tráfico portuario y de la normativa de explotación de los terminales.

En cualquier caso, es fundamental que no se enmascare todo lo que pueda constituir una alteración de las condiciones reales de trabajo para poder juzgar la bondad de la solución elegida y hasta que punto se pueden aceptar los resultados.

En la mayoría de las veces, las simplificaciones introducidas no tienen mayor importancia y en cambio facilitan la claridad y sencillez de la operación.

3.6.4. Aplicaciones del método

Por las características del método, las técnicas a emplear y los medios necesarios no es posible incluir un ejemplo ni tampoco adecuado por el carácter del curso, aparte de que es una técnica ajena al portuario siendo para él una herramienta -importantísima y de toda eficacia- que debe ayudarle incorporando el equipo especialista idóneo, limitándose a dar las normas y valores a los que debe sujetarse el modelo.

Solamente a título informativo, se comenta algunos de los aspectos que entran en un programa de simulación de la actividad del puerto.

Como ejemplo completo y claro se recomienda el estudio del programa elaborado por la UNCTAD aplicado a varios puertos tratando también el problema de la optimización.

Los puntos más interesantes de un programa de simulación son los siguientes:

A) Definición del problema

Se establece el esquema general del puerto a analizar; se examinan todas las condiciones y características de las obras e instalaciones existentes así como los métodos de operaciones.

Un aspecto interesante es el de las normas especiales que al tráfico pueden imponerse (obligación de remolques, prácticos; paro en turnos festivos o nocturnos; número de obreros; prioridades de cualquier tipo, etc.).

B) Datos a suministrar al modelo

b₁) Acumulación de datos

Se suelen establecer una serie de clases para representar.

las características del tráfico y pasarlas a las cintas del ordenador.

Los más usuales son:

- Tipo de buques : Según el tráfico que sirven (regular, carga mixta, pasajeros, etc.).
- Tamaño del buque : Por series de 0/1.000 TRB, 1.000/2.000, etc. según el puerto.
- Tipos de carga : Se clasifican en varios grupos: No especializada, especializada, etc.
- Volumen de la carga : En varias series, por ejemplo: 0 Tons., 1/100, 100/500, etc. varía con el puerto.
- Datos de la carga : Relación de la carga al volumen total; parte del total a ser manipulada, etc.
- Tipo del muelle : Para carga general, especializada, etc.
- Tipo de equipo : Grúas, carretillas, etc.
- Tipo de almacén : Al aire libre, refrigerado, cubierto, sin almacén, etc.
- Tipo de transporte interior : Carretera, ferrocarril, etc.
- Secciones portuarias : Subsistemas o elementos que forman el puerto.
- Estructura estacionaria de la carga : Variación según las estaciones.

Estos datos se suministran por la FRELIS al programa de previsiones.

b₂) Programa de previsiones

Con las combinaciones de tráfico posibles, y con la introducción de unas previsiones futuras, dará un listado similar al del FRELIS pero teniendo en cuenta las variaciones que pueden introducirse por las influencias de todo tipo a lo largo del tiempo.

b₃) Generación del tráfico

En los listados del apartado anterior y teniendo en cuenta todos los factores que pueden introducir variación en las características del barco y carga que transporte ley de entrada, prioridades, características de la carga, volumen y fracción, tiempo de permanencia en atraque, calado y tamaño del barco, necesidad de prácticos y remolcadores- se elabora un

programa de generador de tráfico que va impreso en cinta magnética, donde al dar información de la llegada del buque, da todas las características y datos sobre el mismo, programado de acuerdo con las matrices de entrada y eligiéndose con leyes aleatorias o determinadas.

En el programa de tráfico los datos que figuran son todo lo detallado que se quiera y entre otros están:

- Nº del buque en orden cronológico
- Hora de llegada expresada en unidades de tiempo desde el principio de
- Fracción de carga a granel en importación y exportación.
- Cantidad de carga
- Calado del buque
- Atracadero necesario
- Prioridad del buque
- Tipo de la carga
- Tipo del buque
- Nº de prácticos
- Nº de remolcadores
etc., etc., etc.,

La cinta va suministrando estos datos al programa de simulación conforme informa de la llegada del nuevo barco.

C) El programa de simulación y los resultados

Los datos anteriores entran en el programa preparado, y de acuerdo con las actividades y procedimiento, se van calculando las necesidades del tráfico, las disponibilidades de elementos, el tiempo necesario en la operación y en espera, los equipos necesarios, etc. de acuerdo además con las prioridades y limitaciones que se impusieron al modelo.

El resultado aparece en forma de una hoja de ordenador a lo largo de un eje de tiempos; en la hoja de resultado lo que interesa realmente es lo que afecta a la actividad de los medios de transporte y equipos, por lo que solo aparecen a veces los datos requeridos.

Unas veces se puede seguir la historia del barco en puerto a lo largo del tiempo con todos los equipos y medios que ha necesitado y otras se hace lo mismo con un cargamento.

Para el conjunto, el modelo de simulación da una información integrada de los diferentes aspectos tales como:

- Buques entrados en el período con sus arcos
- Tiempos totales de servicio y espera
- Tiempos medios y relación $\frac{T_{eb}}{T_a}$
- Nº de barcos en cola
- Utilización de muelles
- Tonelajes de mercancías
- Ocupación de muelles,
etc. etc.,

En el croquis adjunto se reproduce el ejemplo sacado de la publicación de UNCTAD sobre un barco en escala en el puerto de Casablanca.

Se trata del barco nº 249 de la simulación del puerto (aparecen todas las operaciones de todos los barcos, por unidades de tiempo y de ella se seleccionan las correspondientes al barco elegido).

Los datos básicos sobre este barco que suministra el programa de generador de tráfico son:

Buque nº 249
Hora de llegada : 3853,7
Nº de operaciones: 1 (carga mixta)
Nº de Tons. a la descarga : 0
Nº de Tons. a la carga : 50
Calado del barco : 7 mts.
Longitud del atracadero : 160 mts.
Orden de prioridad : 3 (según la clave)

En la columna de Claves, aparecen los diferentes tipos de sucesos a lo largo de la estancia del barco según el lenguaje del programa:

ARRI = Entrada del barco en el sistema
FIN = Salida del barco del sistema
SEIL = El buque se desplaza de una sección a otra
BERE = Buque en fondeadero, preparado para atracadero
BERL = Buque abandona atracadero

Ejemplo de datos de salida de comprobación obtenidos por el programa de simulación

Clave del suceso	Número del buque	Hora en que se inicia el suceso	Sección en que se produce el suceso	Hora en que se inicia el suceso siguiente	Información complementaria
ARRI . . .	249	3.853,7			
TUGQ . . .	249	3.853,7			
COND . . .	249	3.881,0			
SEIL. . . .	249	3.900,0	1	3.900,0	
TUGQ . . .	249	3.900,0	2		
SEIL. . . .	249	3.915,0	2	3.917,0	
SEIL. . . .	249	3.917,0	3	3.919,0	
BERE . . .	249	3.919,0	4	3.931,0	
LEBE . . .	249	3.931,0	4		
LOAD . . .	249	3.931,0	4		26,246 50 1.
					29.402 3
					7.808,6
TUAY . . .	249	3.957,2	4		
BERL . . .	249	3.965,7	4	3.974,7	
SEIL. . . .	249	3.974,7	4	3.976,7	
SEIL. . . .	249	3.976,7	3	3.978,7	
SEIL. . . .	249	3.978,7	2	3.978,7	
FIN	249	3.978,7			0 50

LOAD = Comienza operaciones de carga
 TUCQ = Espera de remolcador entrada
 COMD = Espera de apertura de acceso al puerto (si se cerrase durante algunas horas)
 LEBE = Buque en atracadero dispuesto a la carga
 TUAY = Espera de remolcador salida
 Etc. etc. = Las diferentes operaciones que puedan realizarse.

En la fila de cabeza, el significado es el siguiente:

<u>Clave:</u>	Suceso u operación que realiza el barco
<u>Nº del buque:</u>	Orden de entrada en la simulación
<u>Hora en que se - inicia el suceso:</u>	Se refiere al instante de llegada referida al comienzo de la simulación.
<u>Sección en que - se produce el suceso:</u>	Indica la parte del puerto donde se realiza la operación: Antepuerto, Canal de entrada, dársena, etc.
<u>Hora en que se - inicia el siguiente suceso:</u>	Es correlativo a la hora de inicio, e indica el tiempo que tarda en operación o en espera.
<u>Información complementaria:</u>	Los datos complementarios de las operaciones realizadas; en este caso 26.246 indica las unidades de tiempo hasta el suceso siguiente,, 50 las toneladas a cargar,, 1 el tipo de carga (según las claves del programa),, 29.402 la capacidad de almacenamiento de este tipo de carga y 1 el tipo de almacén,, 7808.6 es la cantidad de carga del mismo tipo que queda en almacén. En cuanto al final, el <u>0</u> indica las toneladas descargadas y el <u>50</u> las toneladas cargadas.

De la hoja impresa anual se pueden seleccionar los datos deseados y deducir los resultados que se quieran analizar para su posible modificación.

D) El programa de optimización

Es similar al anterior aunque más complicado, siendo necesario aplicar una serie de parámetros relacionados con los costos del tiempo de equipos, instalaciones, barcos, mano de obras, etc.

Se comparan una serie de soluciones para cada uno de los "sub sistemas" con los costos de inversión, mantenimiento y funcionamiento, llegando en resumen a una serie de soluciones compuestas cada una de las posibles políticas en cada elemento o subsistema a lo largo del tiempo conforme con las necesidades de evolución del tráfico.

En el citado informe de la UNCTAD puede estudiarse el camino seguido y los resultados en el caso de Casablanca.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA

EVALUACION DE PROYECTOS MARITIMOS

Ing. Daniel Ocampo Siguenza

13 ABRIL, 1983

SISTEMAS MARITIMOS Y PORTUARIOS

EVALUACION DE PROYECTOS MARITIMOS .

(11 de noviembre de 1980)

Temario a Desarrollar

- 1 PLANES, PROYECTOS Y PRIORIDADES. (Ref. 1.- pág. 13-25)
 - Introducción. Punto de partida. Directrices. Planeación General y parcial.
 - Importancia de la disponibilidad de proyectos.
 - Planes a largo plazo. Presupuestos. Prioridades.

- 2 LAS DECISIONES SOBRE INVERSIONES. (Ref. 2- pág. 11-30)
 - El contexto del Desarrollo
 - Objetivos del Desarrollo. Papel del Transporte.
 - Plan Integral
 - Planificación de las Inversiones en Transportes.

- 3 PLANIFICACION DEL SECTOR TRANSPORTE. (Ref. 2.- pág. 121-144)
 - Factores comunes en la planificación Sectorial. Política de beneficios y precios. Efectos externos sobre el desarrollo. Los planes sectoriales y bienestar.
 - Rasgos distintivos de la planificación del transporte. - Carácter global de las inversiones en transportes. Problemas de tiempo y espacio. Problemas de distribución.

- Problemas específicos de la planificación. Costos y especificaciones. Mantenimiento. Construcción - nueva. Administración.
- Plan Óptimo. Conclusión.

4 EVALUACION ECONOMICA DEL SECTOR TRANSPORTE. (Ref. 2- pág. 219-246)

- Pasos preliminares
- Problemas de la evaluación de proyectos
- Medición de los costos económicos. Precios de sombra y otros ajustes.
- Medición de los beneficios económicos. Gastos operativos. Tráfico. Disminución de accidentes. Ahorro de tiempo. Estímulo al Desarrollo Económico.
- Comparación de costos y Beneficios.

5 LA ADMINISTRACION DEL DESARROLLO PORTUARIO (Ref.3-pág.5-22)

- Plan Nacional de Puertos. Desarrollo Portuario. Planeamiento de largo plazo. La secuencia de las inversiones. Mantenimiento de la capacidad operativa. - Planeamiento de plazo medio. El análisis necesario. Servicios. Desarrollo de la organización portuaria. Control de proyectos. Las propuestas para inversiones. El procedimiento de implementación de los proyectos portuarios. Concursos, contratación y supervisión.

6 PRINCIPIOS DEL PLANEAMIENTO (Ref. 3-pág.23-35)

- Objetivos . Plan de Inversiones. Principios para el proyecto. La capacidad de atraque. Costos, Ocupación del frente de atraque. Relación entre los tiempos -- de espera y de servicio. Planeamiento en relación -- con las variaciones del tráfico. Planeamiento en relación con cambios inesperados. El óptimo económico de las inversiones. Tráfico programado. Variaciones estacionales. Especialización. Flexibilidad y cambio tecnológico. Principios de la evaluación de Inversiones. Evaluación financiera, Evaluación económica. Costos. Beneficios. Descuentos. Resumen sobre los métodos de evaluación. Decisiones sobre inversiones. Proyectos conjuntos. Incertidumbre.

7 PREVISION DEL TRAFICO. (Ref.3-pág-36-46)

- Principios. Descripción del ámbito. Estadísticas. La incertidumbre. El procedimiento de predicción del -- tráfico roll-on - roll off. El mercado. Tasa de crecimiento. Eventos. La política del puerto. Tendencias. Estacionalidad. Carga general y el producto nacional. Tráfico en containers. Hinterland Tráfico originado -- por agencias gubernamentales. Tráfico de transbordo. Cambios tecnológicos. Arribos al puerto y tamaño de -- embarques. Tamaño de las embarcaciones.

8 PREVISION DE LA PRODUCTIVIDAD (Ref.3-pág. 47-51)

- Errores en la estimación de la productividad. Productividad efectiva. Eslabonamiento de operaciones. Con-

diciones locales. Incremento de la productividad. Productividad a largo plazo. Incremento de la productividad con los embarques mayores. Efectos que reducen la productividad. Metas de productividad.

9 PLAN MAESTRO Y ZONIFICACION. (Ref.3- pág. 52-66)

- Localización. Aproximación a plan maestro. Clases de puertos.- Configuración del puerto. Puerto Industrial. Rellenos . Uso de la tierra. Principios generales. Ingresos provenientes de expansiones del puerto.

10.a.- ALGUNOS ASPECTOS DE INGENIERIA

10.b.- TRANSPORTE INTERIOR

(Ref.3 Pág.67-101)

10.c.- MANTENIMIENTO Y EQUIPAMIENTO.

11 EVALUACION DE PROYECTOS. (Ref. 4 pág. 1-119)

- Evaluación Económica. Evaluación Financiera
- Costos económicos
- Beneficios económicos
- Comparación de costos y beneficios
- Otros aspectos
- Discusión de ejemplos y casos

Formuló:

ING.DANIEL OCAMPO SIGUENZA

Veracruz, Ver., noviembre de 1980.

EVALUACION DE PROYECTOS MARITIMOS.Referencias.

- Ref. 1 "Recursos Financieros y Reales para el Desarrollo"
John H. Adler.
C. E. M. L. A. 1965.
- Ref. 2 "La inversión en el Transporte y el Desarrollo Económico."
Gary Fromm
(The Brookings Institution - 1965)
Ediciones Troquel - 1974 (Traducción)
- Ref. 3. " Port Development "
U N C T A D
United Nations - 1978
- Ref. 4. "Evaluación de Inversiones Portuarias"
U N C T A D
Naciones Unidas.- 1977

Formu16:

ING.DANIEL OCAMPO SIGUENZA

Veracruz, Ver., noviembre de 1980.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PLANEACION, ADMINISTRACION Y OPERACION PORTUARIA

**PUERTOS INDUSTRIALES
(Documentación Adicional)**

Ing. Luis Domínguez

ABRIL, 1983

I N D I C E

1.- CONSIDERACIONES GENERALES

- 1.1. Fundamentos y necesidad de un Plan Nacional.
- 1.2. La responsabilidad del Plan.
- 1.3. La Dirección del Plan.

2.- EL PLAN NACIONAL Y LOS PLANES DIRECTRICES

- 2.1. Niveles, Areas de Actuación y Horizontes.
- 2.2. Bases de estudios.
- 2.3. Objetivo y contenido del Plan.

3.- EL PLAN DIRECTOR DEL PUERTO

- 3.1. Bases del Estudio.
- 3.2. Bases de Comparación de Alternativas.
- 3.3. El Desarrollo del Estudio.
- 3.4. Conclusiones.

EL DESARROLLO DEL PLAN NACIONAL DE PUERTOS

1.- CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. FUNDAMENTOS Y NECESIDAD DE UN PLAN NACIONAL

Los puertos, además de constituir un eslabón fundamental en la cadena del transporte por ser el enlace entre los transportes terrestres y marítimos, proporcionan unas condiciones adecuadas y favorables para la instalación de complejos industriales y de núcleos de distribución del comercio interior y exterior y son unos factores primordiales para la ordenación del territorio de un país y lograr los equilibrios regionales del mismo, convirtiéndose en muchas ocasiones en el motor del desarrollo de su zona.

Si a esto se une la necesidad ineludible de coordinar el sistema nacional del transporte terrestre con el marítimo; la conveniencia de disponer de terminales de gran capacidad y rendimiento que exigen la concentración del tráfico en los puntos apropiados evitando la dispersión y su manipulación en instalaciones pequeñas e insuficientemente equipadas; el aumento creciente de los costos de las instalaciones portuarias de características adecuadas a las exigencias cada vez mayores del tráfico; la limitación e insuficiencia de recursos nacionales, que obliga a una cuidadosa utilización de los mismos para conseguir la máxima rentabilidad socio-económica de las inversiones, y tantas otras razones más que podrían citarse, justifican sobradamente la necesidad de que se formule un plan de puertos a escala nacional que fije los objetivos básicos a conseguir y señale las directrices que marquen las actuaciones a desarrollar en cada puerto de acuerdo con el conjunto de los intereses nacionales y coordinados con las actuaciones de los restantes aspectos sociales, económicos, del comercio, transporte, etc. directamente relacionados o afectados por la actividad portuaria.

1.2. LA RESPONSABILIDAD DEL PLAN

Por la importancia que la actividad portuaria tiene sobre el conjunto del país, la responsabilidad de la decisión final sobre la elección de una política de desarrollo portuario corresponde sin duda a nivel nacional al Estado o en ciertos países a los Organismos regionales o locales dentro de los límites de su jurisdicción.

La intervención del Estado en muchos países, está además reforzada por el hecho de que la construcción de un puerto exige la ayuda de la nación para su financiación, pues prácticamente no existen puertos que sean totalmente autosuficientes, -es decir sin ningún tipo de ayudas como empréstito, avales, subvenciones, etc,- independientemente de que los grandes intereses que se mueven alrededor de los puertos -de tipo local o regional, económicos, industriales, sociales, etc,- plantean una serie de problemas de toda índole que los Estados no pueden ignorar o desentenderse de ellos.

1.3. LA DIRECCION DEL PLAN

Al intervenir los Estados en el estudio del Plan, -es lógico que el responsable de este estudio sea un organismo público especializado, que en muchas naciones son las Direcciones Generales de Puertos u otros organismos semejantes.

No hay duda, que por sus circunstancias pueden ser más objetivas que los propios puertos al enjuiciar sus posibilidades y necesidades, y que las administraciones de tipo regional o local por carecer de una óptica de tipo nacional y atender preferentemente a otros objetivos limitados en el conjunto del país.

Al mismo tiempo puede lograr una coordinación con otros organismos nacionales encargados del desarrollo de otros sectores relacionados con las actividades portuarias, así como

cumplir las directrices que en materia de inversiones y otras/ de tipo económico, etc, fije el Estado para el desarrollo de la nación.

Aunque por muchas razones es conveniente para la eficacia del puerto, que las decisiones sobre las actividades portuarias de todo tipo se tomen por el organismo portuario local, no hay duda que el organismo coordinador central debe tener poderes y autoridad suficiente en todos los aspectos de coordinación, reglamentación y desarrollo.

Sus atribuciones deben extenderse entre otras a la aprobación de los siguientes aspectos: Planes de Desarrollo; programa de inversiones; política financiera, económica y tarifaria; normas técnicas y operacionales; normas laborales; normas de concesiones de explotación; asesoría jurídica sobre cuestiones que afecten al organismo, etc.

De una manera especial debe tener el total conocimiento y aún supervisión y control de todas las estadísticas para la difusión de la actividad portuaria del conjunto de todos los puertos de la Nación.

La organización de este organismo nacional y sus poderes y atribuciones es un aspecto del máximo interés por sus repercusiones sobre el éxito de la política portuaria nacional.

2.- EL PLAN NACIONAL Y LOS PLANES DIRECTORES

2.1. NIVELES, AREA DE ACTUACION Y HORIZONTE

1.- Estando formado el sistema portuario nacional por una serie de subsistemas individuales y diferenciados que son cada uno de los puertos, es indispensable que el Plan opere en dos niveles distintos: el nacional y el local de cada puerto, aunque como es lógico, están íntimamente relacionados entre sí, puesto que las actuaciones que se determinen en el ámbito local vendrán determinadas por las directrices generales que se fijen para

el conjunto, y a su vez el Plan General vendrá condicionado no sólo por la oferta y demanda del país y las características de las redes nacionales del transporte, la ordenación del territorio y la política de desarrollo nacional, sino también en gran medida por las condiciones de cada uno de los puertos. Finalmente el conjunto de actuaciones que presente el Plan Nacional al país en materia de política portuaria será la integración de las actuaciones que se determinen para cada uno de los puertos una vez que se haya realizado la coordinación y adecuación de sus previsiones a los objetivos señalados para la actividad portuaria nacional.

Por tanto el Plan Nacional abarcará el conjunto de todas las actuaciones en materia portuaria que se formulen en los Planes de Puertos de cada uno de los de la Nación y simultáneamente existirán ciertos planes de conjunto como los de Costas, Señales Marítimas, Capacitación laboral, Organizaciones auxiliares que aunque abarquen a todo el país, son parte del Plan Nacional lo mismo que el de un puerto determinado.

2.- Un aspecto importante es el del año horizonte que debe contemplar el Plan Nacional y los Planes de Puertos.

Al igual que en otros sectores de las infraestructuras nacionales y quizás de forma más acusada por las características especiales de los puertos, es necesario tener una visión del desarrollo deseado a un plazo relativamente largo, debido a las exigencias de reserva de terrenos; largo plazo de construcción y sobre todo de repercusión en el futuro de las grandes infraestructuras portuarias; política de inversiones y financiación; adelantar la oferta de servicios a la demanda del tráfico, etc- pero en cambio por las características del comercio marítimo, la evolución de la tecnología del barco, del transporte terrestre y de los equipos portuarios, etc, hacen muy difícil y peligroso formular un plan rígido a largo plazo, ya que la realidad demuestra que los servicios y necesidades que los puertos tienen que atender son cambiantes en el tiempo, debiendo modificarse las directrices de acuerdo con la evolu -

ción de las características y volúmen de la actividad portuaria.

3.- Es por tanto indispensable disponer de un Plan Nacional a largo plazo, (y lo mismo en cada puerto), que señale las directrices del desarrollo del sistema portuario, que permita planificar de manera realista el puerto de acuerdo con las tendencias previsibles; pero esos planes deben sólo dibujar las líneas generales de actuación tanto en los aspectos económicos y organizativos como en los de los esquemas generales de los puertos, - que permitan una gran elasticidad y flexibilidad para ir acomodándose a las necesidades cambiantes de la demanda sin que haya que destruir o anular toda la labor realizada anteriormente sino que al contrario puedan utilizarse con el mínimo de modificaciones.

El resultado de estos planes serán el Plan Nacional de Puertos y los Planes Directores de los Puertos que constituyen las bases de actuación en cada uno de los niveles, marcando las directrices para el desarrollo portuario.

Periódicamente, de acuerdo con las necesidades de la demanda o la evolución de la tecnología o incluso por decisiones de tipo nacional extrínsecas a los puertos (ordenación del territorio, política financiera, etc) se revisarán los planes, modificándolos en lo que sea necesario para su adecuación quedando el nuevo plan como la base de partida para el futuro; pero nunca debe ser modificado de manera arbitraria y sin previsión de las repercusiones de las alteraciones introducidas, - pues a la larga esta decisión acarreará graves consecuencias para el puerto y la nación.

4.- Paralelamente a los planes a largo plazo, deben formularse los planes a medio plazo que recojan las actuaciones a realizar en el Sistema Portuario para un período variable -de tres a cinco años- de acuerdo con las circunstancias de cada país y puerto, y que dentro de las previsiones del Plan Director constituyan la etapa a desarrollar en ese período.

Los planes a medio plazo deben fijar claramente las actuaciones en aspectos determinados, que permitan pasar a la fase de ejecución, tanto en los aspectos de obras e instalaciones como en los de organización y administración, valorando las inversiones y determinando la capacidad de financiación de cada puerto y las necesidades de ayudas financieras. A nivel nacional el plan a medio plazo debe recoger el análisis de la situación y necesidades futuras como las propuestas de inversión del conjunto portuario.

2.2. BASES DEL ESTUDIO

Un plan de puertos puede establecerse simplemente como el conjunto de programas independientes a realizar en cada puerto de acuerdo con su previsión particular.

Puede estudiarse coordinadamente, partiendo de una visión total de necesidades nacionales y su posible distribución entre los diferentes puertos, limitándose a un macroestudio, es decir un análisis de conjunto tratando únicamente de definir las líneas generales de actuación.

Puede estudiarse coordinadamente entre las previsiones e intereses de ámbito nacional y las del conjunto de los puertos estudiados por separado.

Este último método es el más completo y objetivo, ya que se pueden contrastar los resultados de ambos estudios.

Un aspecto básico para lograr un Plan que se ajuste a la realidad y tenga altas posibilidades de éxito es la de determinar con la mayor exactitud posible las necesidades nacionales y su posible distribución por los diferentes medios de transporte y finalmente por los puertos.

Un estudio de este tipo es sumamente complejo e incluye una serie de trabajos sobre la demanda y la oferta del sistema de transportes, zonificación interior y exterior, defi

nición del sistema de transportes, costes, etc, que mediante un modelo calibrado de distribución permite asignar las previsiones a corto, medio y largo plazo a cada arco portuario.

Paralelamente se debe aplicar un método convergente con el anterior y contrastar sus resultados para los mismos años horizontes y disponer de indicadores de fiabilidad.

La convergencia se hace mediante un proceso secuencial de sentido inverso, partiendo desde cada puerto y el análisis de su zona de influencia, basándose los estudios en criterios homogéneos para el conjunto, ir a un proceso de agregación hasta llegar a elaborar el análisis global del sistema portuario.

Como paso intermedio que facilite el proceso y permita ir verificando los resultados que se van obteniendo con datos conocidos es conveniente agrupar los puertos en zonas relativamente autóctonas del resto del sistema, diferenciados por sus características físicas, económicas, sociales, etc, formando lo que se conoce por fachada portuaria.

El paso final es el análisis ponderado de estas fachadas y determinar el conjunto de los tráficos esperados en el año horizonte.

Del conjunto de ambos métodos se puede llegar a una asignación del tráfico por puerto, tanto globalmente como lo que es más importante por tipo de mercancías, permitiendo disponer de los datos básicos para determinar las necesidades portuarias en los años horizontes.

2.3. OBJETIVOS Y CONTENIDO DEL PLAN

1.- Para lograr formular un Plan que responda a las demandas y exigencias de la actividad portuaria es fundamental señalar los objetivos que se desean lograr; se podría decir que es exponer Para Qué se hace el plan.

Estos objetivos se refieren a todos los aspectos de la vida portuaria, tanto en lo que se refiere a los planes directores y características de las infraestructuras e instalaciones, como a la financiación y tasificación, explotación y ordenación de la zona portuaria, normativa legal necesaria para favorecer el desarrollo, papel del puerto en la ordenación del territorio, etc.

Fijados los objetivos deben señalarse las acciones a realizar para conseguir el objetivo. Este aspecto responde a la pregunta Qué se va a hacer.

Estos objetivos y acciones corresponden prácticamente al contenido de un Plan Nacional o Plan Director a largo plazo, y puede designarse en conjunto como la Planificación.

En los Planes a medio plazo los objetivos y acciones son más concretos y exigen una determinación en características, costes, resultados y plazos.

Por un lado deben determinarse las actuaciones y esquemas que hay que ir desarrollando en el tiempo del plan. Sería contestar a la pregunta Cómo va a hacerse que suele corresponder al Planeamiento.

Finalmente deben señalarse las prioridades y orden en el tiempo de las realizaciones. Es el Cuándo o Programación.

2.- En lo que se refiere al contenido del Plan, es muy diferente cuando se trata de un plan a largo plazo de un plan a medio plazo.

El plan a largo plazo sólo debe constar como se ha dicho anteriormente de líneas generales de actuación que permitan dibujar cual será el sistema portuario de la Nación en el año horizonte considerado de acuerdo con las previsiones realizadas y dentro del marco general de desarrollo y ordenación te

territorial del país.

Para ello deberán estudiarse fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Situación actual del sistema portuario y crítica de la misma.
- Tráfico y previsiones en los años horizontes.
- Evolución tecnológica de los medios de transporte y su impacto sobre el puerto.
- Método de explotación.
- Organización de los servicios y operaciones.
- Objetivos.
- Medidas orgánicas paralelas al plan
 - estructurales.
 - financieras.
 - de organización y dirección.
 - técnicas.
- Planes Directores en cada Puerto.
- Resumen del Plan.

En los planes a medio plazo, además de los aspectos anteriores deberán analizarse los siguientes aspectos entre otros:

- Actuaciones concretas en el período.
- Valoración.
- Análisis financiero y económico.
- Financiación necesaria.
- Capacidad portuaria.
- Plan de realizaciones.

Finalmente en los planes a medio plazo debe figurar como una acción importante la de estructurar un sistema de seguimiento que permita detectar el grado de cumplimiento de los objetivos y actuaciones formuladas; al mismo tiempo este sistema permitirá conocer las posibles desviaciones que se produzcan y

sus causas y poder disponer de la información necesaria para su corrección.

3.- EL PLAN DIRECTOR DEL PUERTO

3.1. BASES DE ESTUDIO

1. Aunque existen numerosos tipos de puertos y las condiciones de emplazamiento son muy diferentes, el esquema general básico de un puerto puede concretarse en la siguiente zonificación:

- zonas marítimas.
- zonas de terminales.
- zonas terrestres y de evacuación.

2. La zona de terminales comprende la línea de atraque, las dársenas correspondientes y los terraplenes contiguos; es la parte fundamental del puerto por desarrollarse en ella las operaciones; debe planificarse de acuerdo con las características del barco y del tráfico, de la mercancía y sus operaciones y del tráfico terrestre, y especialmente el nº y características de los puestos de atraque teniendo en cuenta muy especialmente las ocupaciones, demoras, costes, etc, y las necesidades de su superficie de los terraplenes para permitir una buena explotación.

3. La zona marítima debe planificarse por un lado de acuerdo con las necesidades del barco en su entrada, evolución, maniobra y parada, así como las áreas de fondeo y espera, y por otro con las condiciones físicas y las exigencias de abrigo.

4. La zona terrestre debe asegurar por un lado la construcción de los enlaces terrestres y por otro la existencia de áreas suficientes para almacenamiento de largo plazo, servicios auxiliares y complementarios del puerto, etc.

5. Al planificar el puerto debe situarse en un primer término/ las posibilidades de expansión, y especialmente la solución que se adopte para las obras de abrigo, pues una elección desafort-

tunada puede impedir futuras ampliaciones, obligando a construir nuevas obras que son normalmente costosas y largas de ejecutar.

6. Finalmente debe tenerse en cuenta que el Plan Director puede realizarse sobre un puerto existente o tratarse de un puerto nuevo. Las dos cosas son totalmente diferentes pues en el primero deben tenerse en cuenta las obras e instalaciones existentes y analizar su posible utilización o abandono en el futuro y en cambio en el segundo no existen condicionantes previos.

3.2. BASES DE COMPARACION DE ALTERNATIVAS

En el estudio del Plan Director se presentan una serie de alternativas posibles que deben estudiarse y compararse entre sí para elegir la que se estime más adecuada.

Este punto es importantísimo pues no debe olvidarse que el Plan Director es un esquema básico que modela el futuro del puerto y condiciona su desarrollo, por lo que una elección errónea puede tener consecuencias gravísimas para el porvenir del puerto.

La comparación debe realizarse sobre una serie de consideraciones más o menos objetivas y debe tratarse que la decisión se haga con el propósito de lograr el esquema más adecuado y no hacerla por motivos de facilidad o economía de ejecución de la inversión sin tener en cuenta los futuros costos de explotación y conservación o las consecuencias sobre los usuarios.

Entre otras que pueden citarse, las más útiles son:

- a) Cumplimiento de las condiciones técnicas y necesidades de los usuarios.
- b) Condiciones de la explotación actual y futura.
- c) Aprovechamiento de las instalaciones existentes y mínima perturbación de la ordenación.

- d) Posibilidad de ejecución por fases, logrando la más rápida utilización de las obras y fraccionamiento de las inversiones.
- e) Posibilidades de ampliación y desarrollo en el futuro.
- f) Buenos enlaces con los sistemas de transporte terrestre.
- g) Costos mínimos totales, tanto de inversión como de conservación.
- h) Rentabilidades financieras y económicas máximas.
- i) Defensa del medio ambiente.
- j) Relaciones con los factores externos: urbanos, artísticos, históricos, sociales, políticos, etc.
- k) Servicios auxiliares y complementarios.
- l) Atención a los servicios sociales del personal portuario: viviendas, etc.
- m) Varios.

3.3. EL DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio se realiza a través de una serie de fases sucesivas que permiten determinar la solución más apropiada desde los diferentes aspectos de capacidades, exigencias del tráfico, operaciones, financieros, económicos, posibilidades de ampliación, etc. Nos referiremos a un puerto existente.

El camino que hay que seguir en el estudio y análisis de las distintas fases puede ser el siguiente:

1. Estudio de la solución actual

Los aspectos a analizar son los siguientes:

- Condiciones del emplazamiento.
- Tráfico actual.
- Análisis y juicio de la solución actual:
 - esquema general e instalaciones.
 - organización y explotación.

- capacidad teórica.
- rendimientos reales.
- valoración actual de las instalaciones.
- tarifas y presupuestos.
- personal.
- aspectos varios.

Como consecuencia de los apartados anteriores se puede dar un juicio sobre la situación del puerto y sus posibilidades.

2. Previsiones futuras

Analiza las condiciones del futuro de acuerdo con las previsiones del tráfico y las necesidades de instalaciones supuestos la utilización de nuevos métodos de trabajo, así como se deduce las nuevas necesidades deducidas las existentes que pueden continuar.

- Tráfico futuro.
- Métodos nuevos de explotación y rendimiento.
- Esquema básico adecuado.
- Necesidades teóricas:
 - necesidades totales.
 - aprovechamiento instalaciones existentes.
 - nuevas instalaciones.
- Esquema teórico recomendado.

3. Análisis soluciones posibles

Se clasifican las posibles soluciones que resultan del apartado anterior.

Deben analizarse en base a criterios homogéneos que permitan su comparación.

Además de los aspectos analizados anteriormente de

condiciones físicas, tráfico futuro, esquemas básicos, instalaciones anteriores y nuevas deben introducirse los siguientes:

- Costes unitarios de obras e instalaciones.
- Costes unitarios de explotación.
- Beneficios y costes indirectos.
- Condiciones varias comunes a todos.

De este análisis tendremos un grupo de esquemas - que pueden responder en mayor o menor grado a las condiciones planteadas.

4. Selección previa de soluciones

Se realiza una selección previa que permita simplificar el problema, reduciendo el número de alternativas posibles.

Las bases de comparación más utilizadas son:

- Criterios de exclusión: eliminan los que no cumplen alguna condición básica.
- Juicio técnico del esquema y su instalación.
- Juicio de la explotación.
- Beneficios y costes.

5. Estudio de las soluciones seleccionadas

Para lograr un conocimiento más profundo debe realizarse un estudio más detallado que comprende los siguientes puntos:

- Anteproyecto y dimensionamiento previo.
- Fases de ejecución y valoración de las obras e instalaciones.
- Capacidad teórica.
- Características varias.

- Costes de explotación y conservación.
- Tarifas óptimas.
- Beneficios a los usuarios.

6. Estudio económico de cada solución

Se refiere a la factibilidad de realizar el plan.

- Inversión anual de primer establecimiento.
 - intereses y amortizaciones.
 - costos del dinero.
 - anualidad financiera.
 - gastos de funcionamiento.
 - gastos anuales del puerto.
 - ingresos anuales.
 - cash-flow anual y necesidades anuales de dinero.
- beneficio total.
- plan financiero.

7. Rentabilidad de cada solución

Engloba los estudios de rentabilidad del conjunto del Plan:

- Criterios de rentabilidad utilizada.
- Rentabilidad financiera.
- Rentabilidad económica.

8. Elección de la solución

Trata de la decisión sobre la elección de la solución que se juzgue más adecuada. Los criterios básicos son:

- Juicio de las características fundamentales.
- Rentabilidad financiera y económica.
- Plan financiero y necesidad de ayudas financieras.

9. Juicio de la solución elegida

Es un análisis de sus condiciones y características teniendo en cuenta que a veces conviene introducir modificaciones en su esquema y métodos operacionales.

Los aspectos que deben figurar en este juicio son:

- Sobre el esquema y las obras e instalaciones.
- Explotación y organización operaciones.
- Capacidad portuaria.
- Fases de ejecución.
- Inversiones y rentabilidad.

3.4. CONCLUSIONES

Analizada la solución elegida y comprobadas sus posibilidades para responder a los objetivos que se fijaron debe establecerse el Plan Director resultante como el documento base que regirá el desarrollo del puerto en el futuro. Sobre este Plan debe decirse lo mismo que se señaló en el Plan Nacional a medio plazo: que debe respetarse totalmente siendo la base de los distintos proyectos de ejecución de las diferentes obras; para su revisión y modificación debe realizarse un nuevo estudio que permita planificar una nueva solución que servirá de base a un nuevo Plan Director. Al mismo tiempo debe establecerse un seguimiento y control del Plan y revisarlo en los casos necesarios.

En el resumen del Plan, debe figurar además de la previsión de tráfico, esquemas adoptados, etc, la programación de las fases y las necesidades de inversión de las etapas.

Estos datos son los que se integran con los correspondientes de los restantes puertos para formular el Plan Nacional de Puertos.

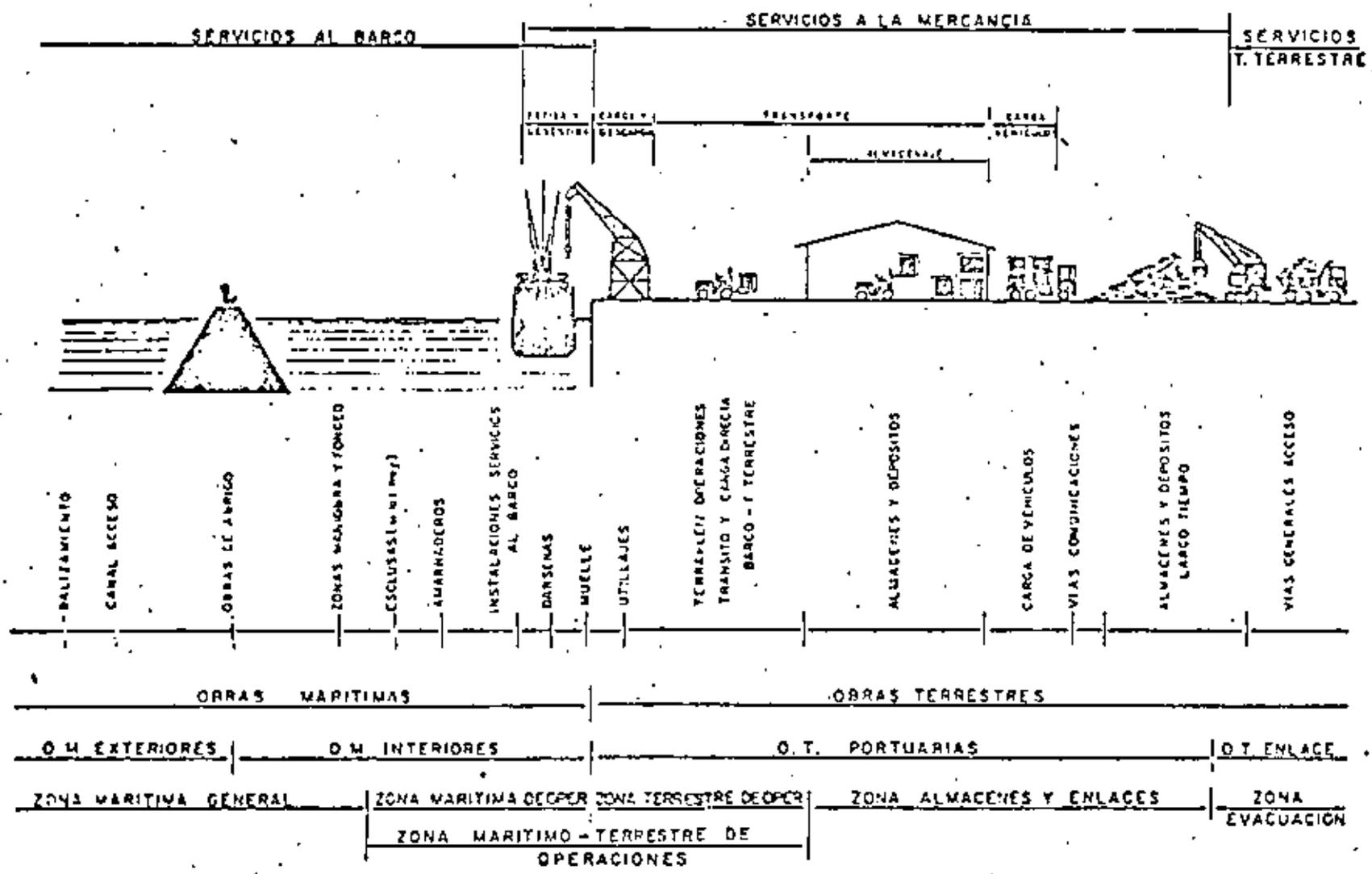


fig. 2.

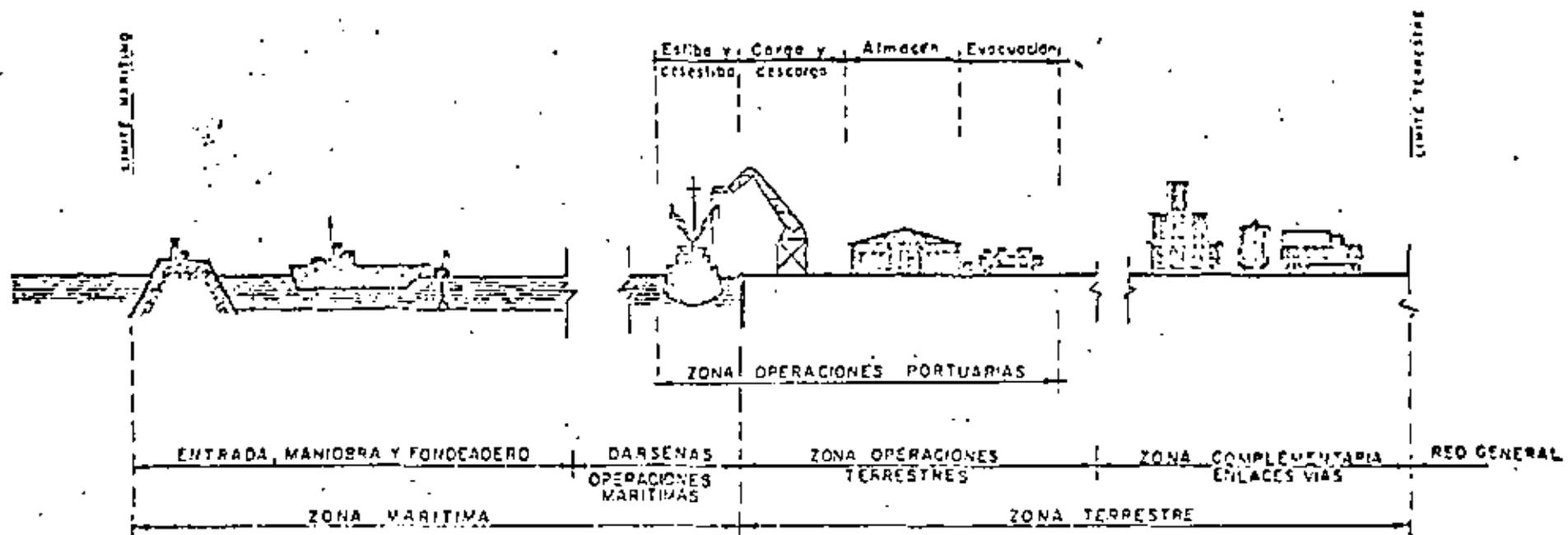


Fig. 1. ESQUEMAS DE LAS OBRAS, INSTALACIONES Y SERVICIOS

PASAJEROS.

Por tipo de navegación y tráfico:

- Líneas internacionales en larga distancia:
 - En tránsito.
 - Provistos de pasaporte.
- Líneas de corta distancia.
- Cruceros.

MERCANCIAS.

Por forma de presentación:

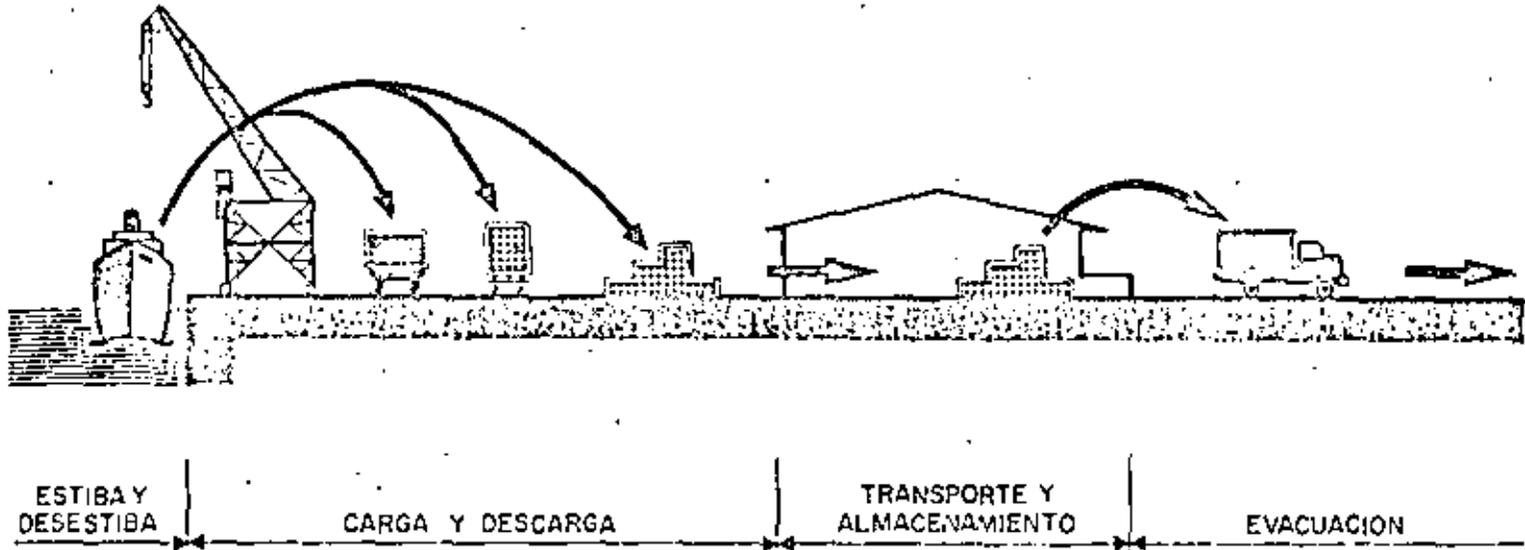
- Carga general:
 - Convencional:
 - Cajero
 - Saquero
 - Balas.
 - Bidones
 - Unitaria:
 - Individuales (rollos, máquinas)
 - Reunidas (pallets)
- Carga unitizada:
 - Contenedores:
 - Lift-on/lift-off
 - Roll-on/roll-off
 - Especial:
 - Lash
 - Seabee.
- Carga a granel:
 - Sólidos:
 - Ligeros:
 - Ordinario
 - Pulverulentos
 - Mineral.
 - Fluidos:
 - Productos petrolíferos:
 - Crudos.
 - Refinados.
 - Gases licuados.
 - Varios (vinos, aceites, etc.)

PESCA.

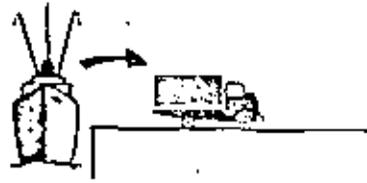
- Fresca.
- Congelada.
- Salada o seca.
- Industrial.

AVITUALLAMIENTO.

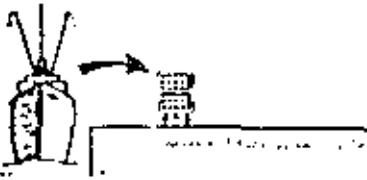
- Fuel-oil.
- Agua.
- Hielo.



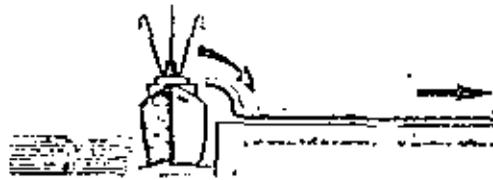
OPERACION DIRECTA CAMION



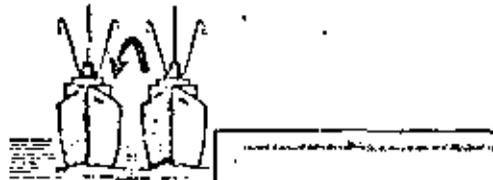
OPERACION DIRECTA VAGON



OPERACION DIRECTA TUBERIA



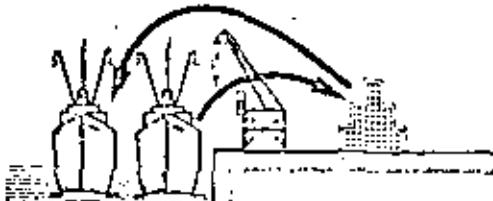
OPERACION DIRECTA DE TRANSBORDO



OPERACION SEMIDIRECTA TIERRA



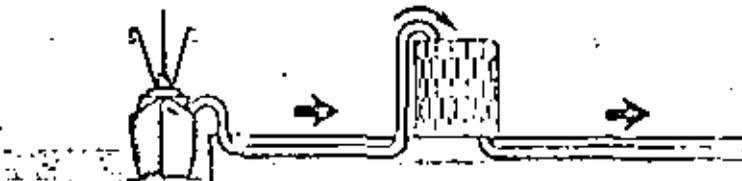
OPERACION SEMIDIRECTA MAR



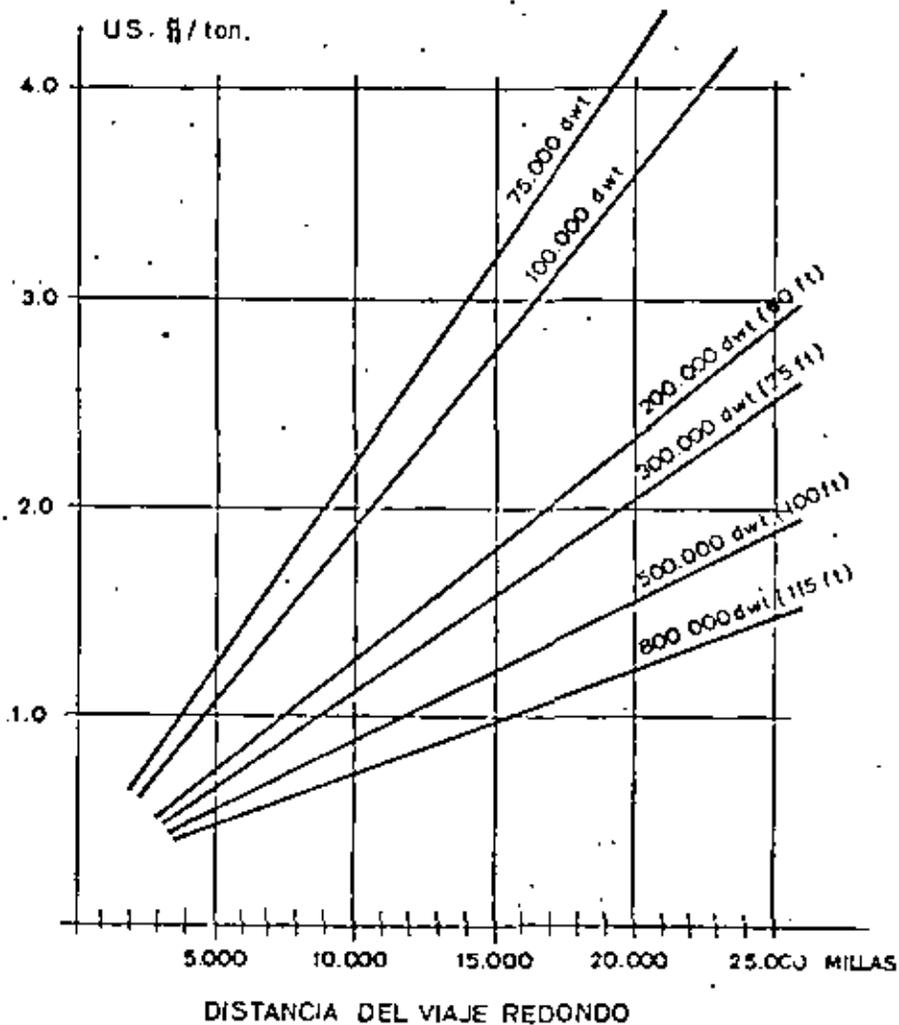
OPERACION INDIRECTA VIA TERRESTRE



OPERACION INDIRECTA FLUIDOS



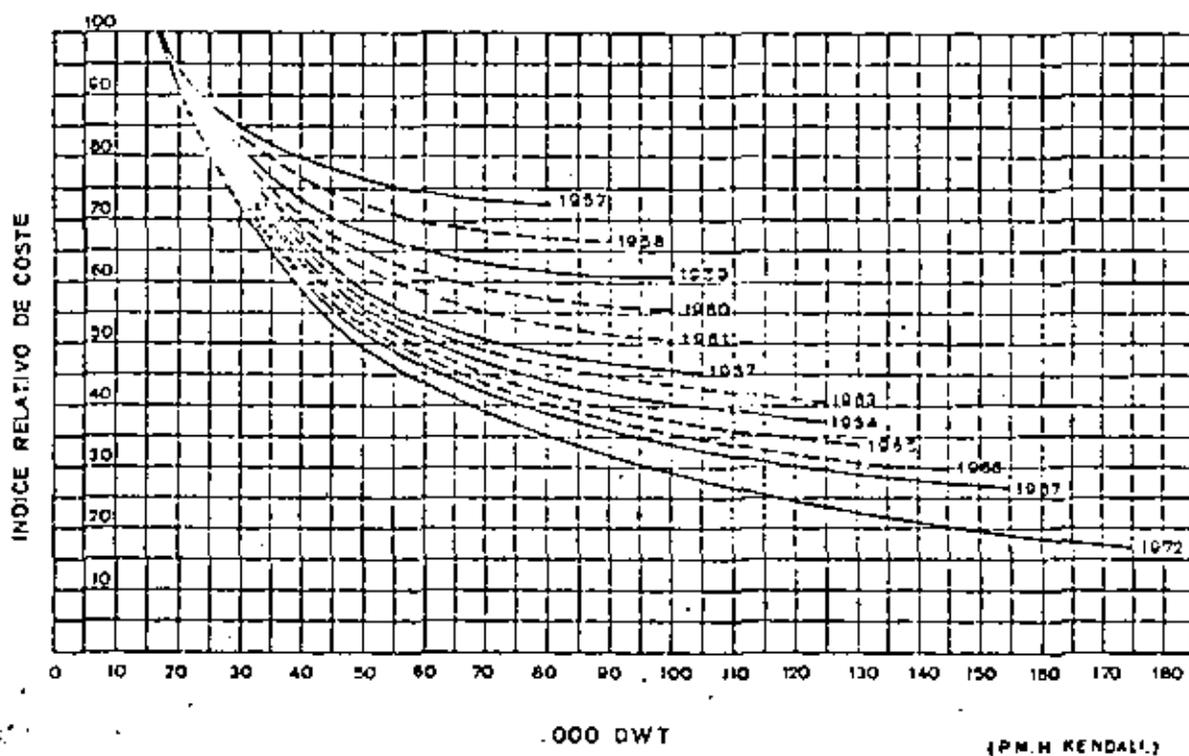
COSTES DE TRANSPORTES DE PETROLEO



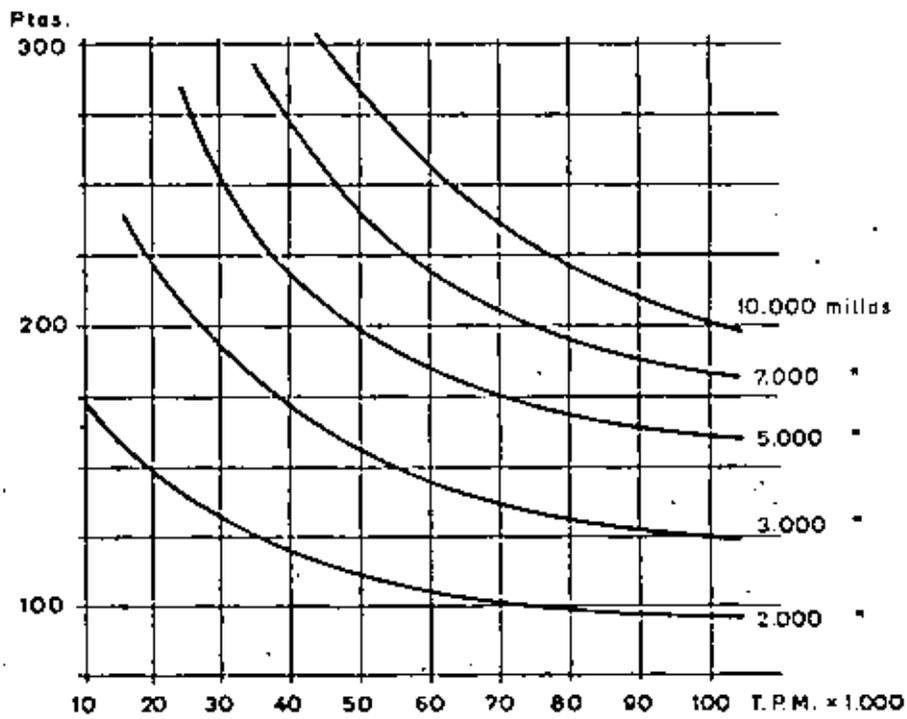
(J. B. PARGA)

DIAS DE NAVEGACION CONSTANTE

COSTE DE TRANSPORTE DE GRANELES POR DIFERENTES TIPOS DE BARCOS



FLETES (en Ptos.) PARA DISTINTAS LONGITUDES DE VIAJE Y TONELAJES (P.M.)



(J.A. SEBASTIAN)



CABOTAJE



LINEAS ORDINARIAS



FRIGORIFICO



NAVIO COMBINADO



GRANALERO

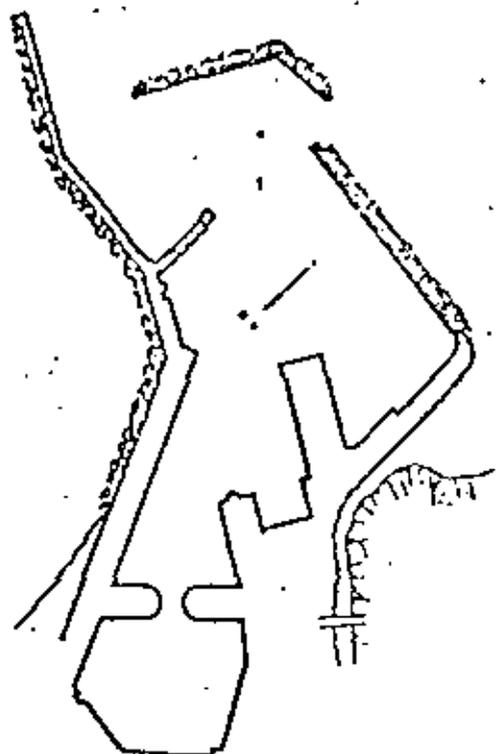


PETROLERO



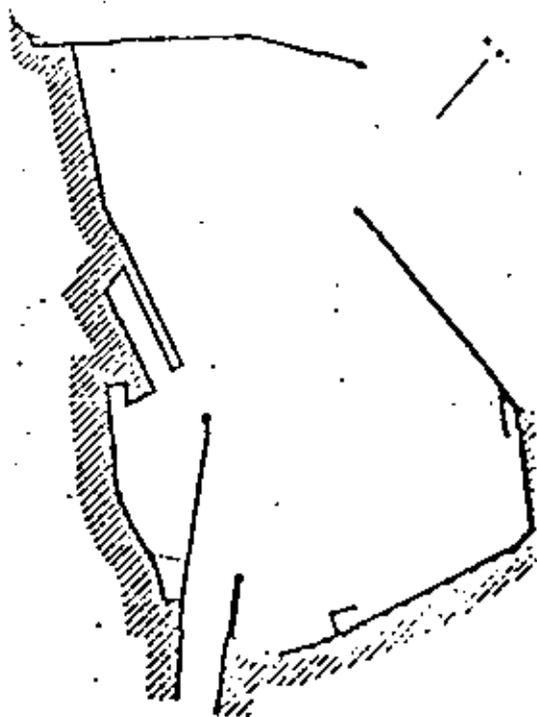
TRANSATLANTICO

DIQUES CONVERGENTES CON ANTEMURAL



VALENCIA

fig. 6



BILBAO

fig. 7

DIQUES CONVERGENTES

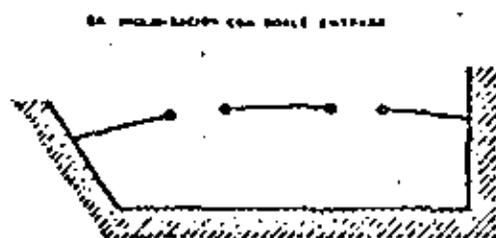
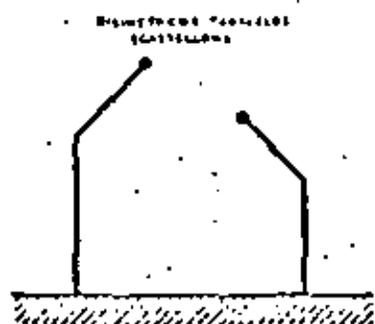
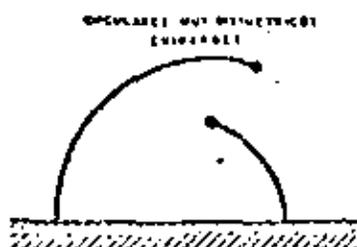
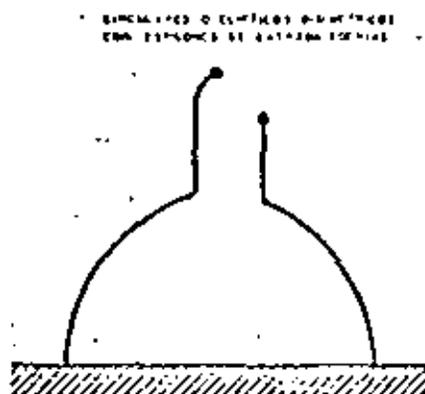
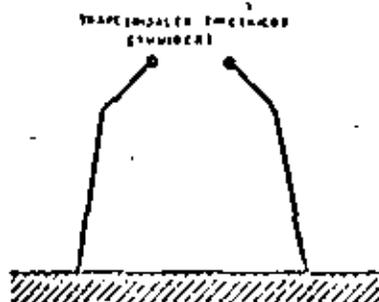
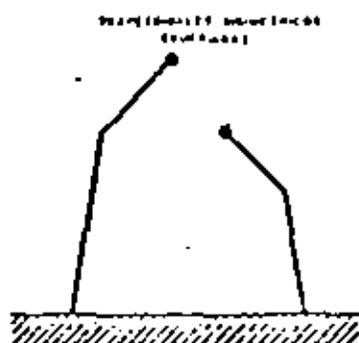
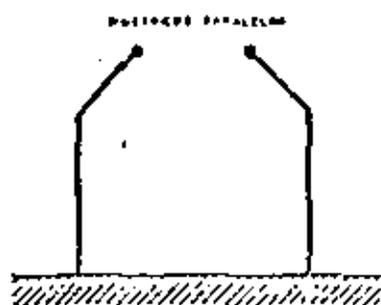
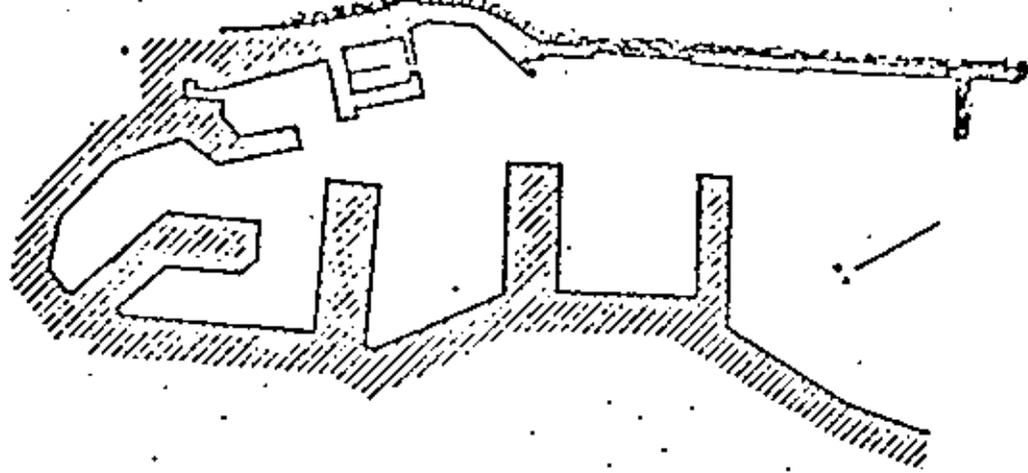
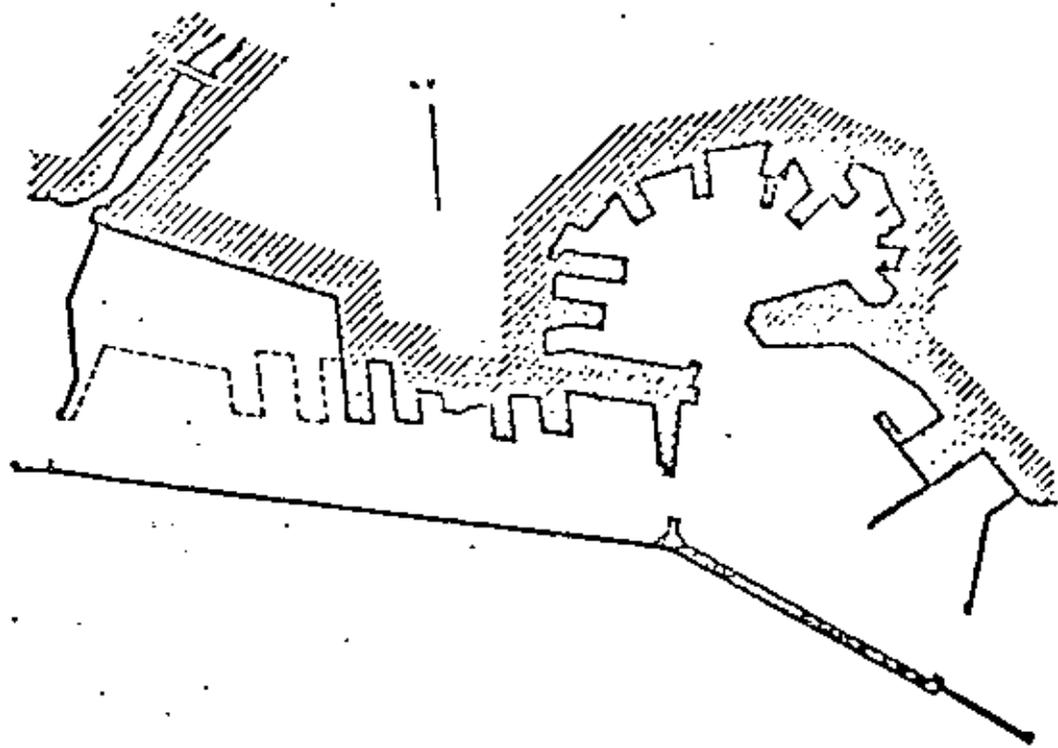


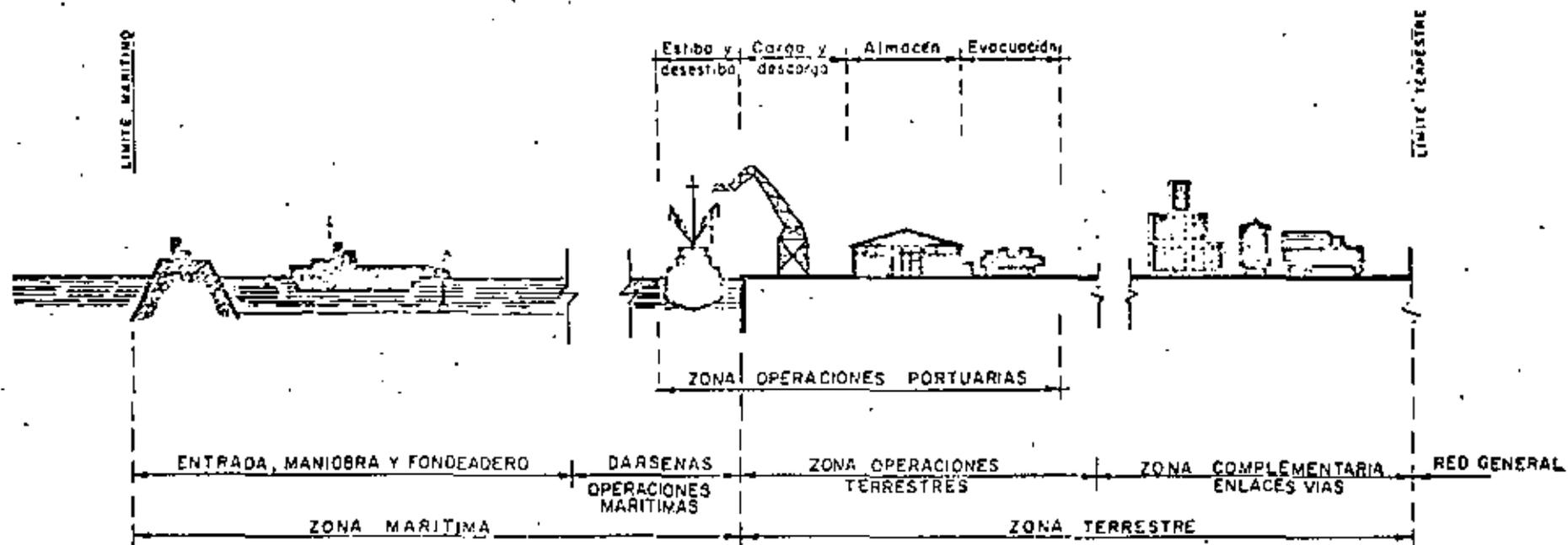
fig 5.



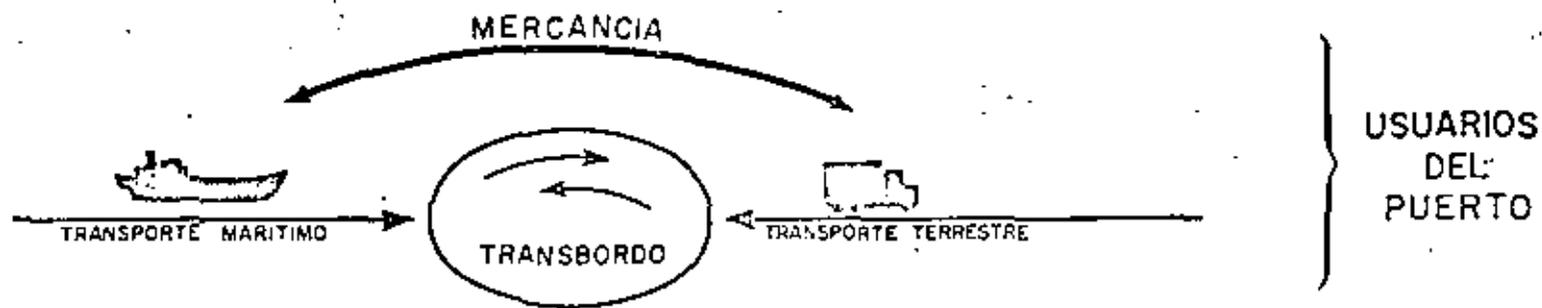
DIQUE PARALELO A LA COSTA UNIDO A TIERRA.- BARCELONA



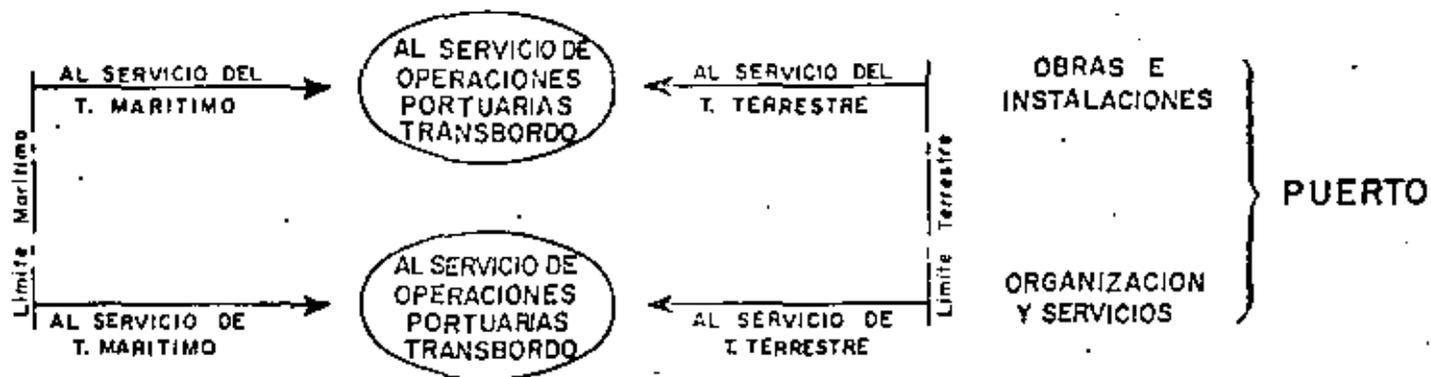
DIQUE AISLADO PARALELO A LA COSTA.- GENOVA



ESQUEMAS DE LAS OBRAS, INSTALACIONES Y SERVICIOS



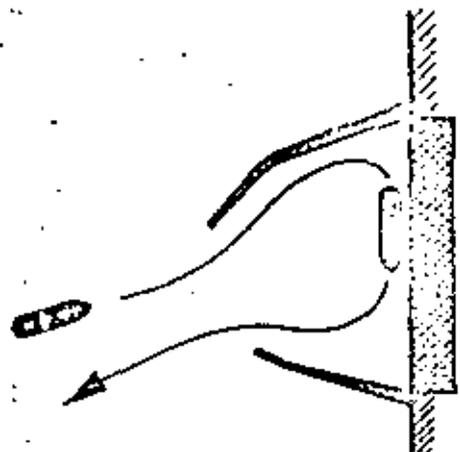
AL SERVICIO EN GENERAL DE TODA LA ACTIVIDAD PORTUARIA



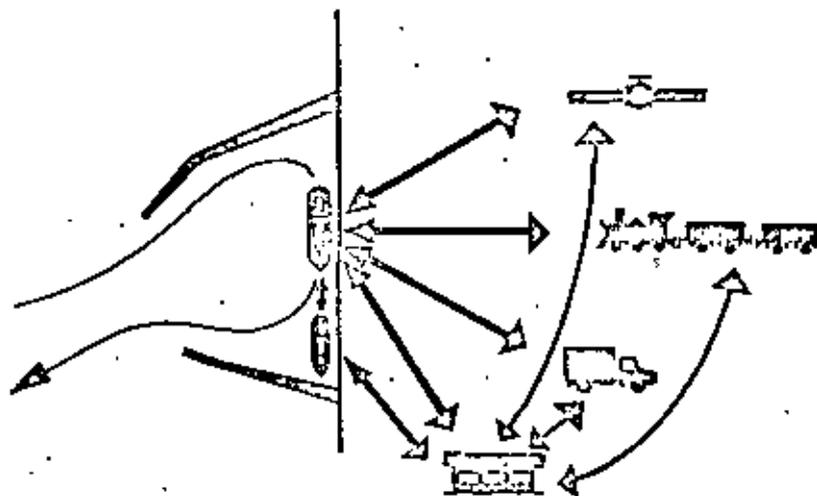
AL SERVICIO EN GENERAL DE TODA LA ACTIVIDAD PORTUARIA

ESQUEMA GENERAL DEL PUERTO

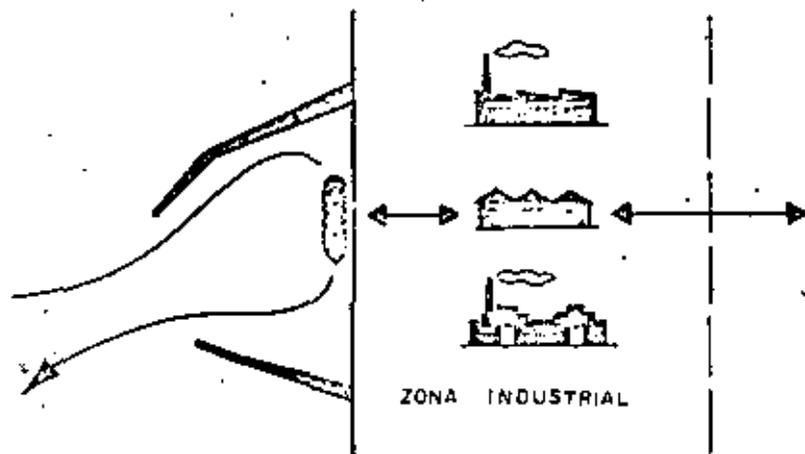
FUNCION MARITIMA



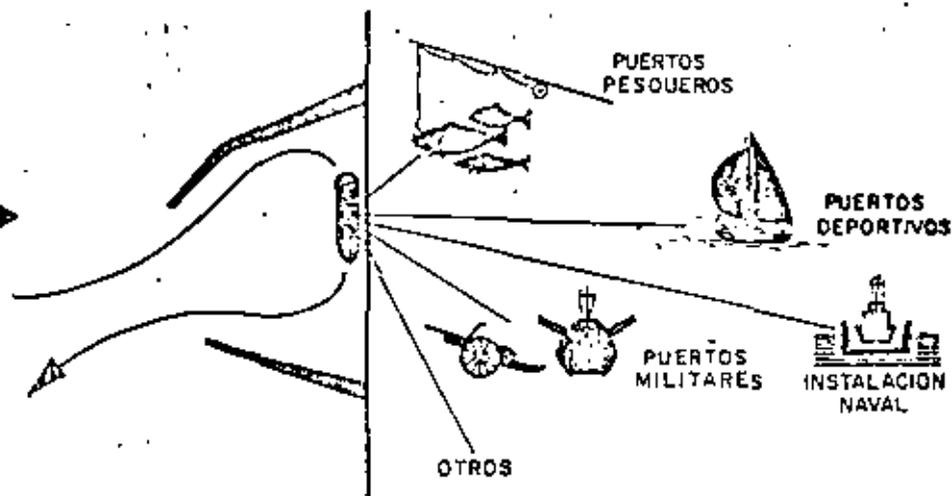
FUNCION DEL TRANSPORTE



FUNCION INDUSTRIAL



FUNCION ESPECIFICA



FUNCIONES DEL PUERTO

Directorio de Alumnos del Curso "PLANEACION, ADMINISTRACION Y
OPERACION PORTUARIA", del 11 al 22 de Abril de 1983.

1. Jorge M. Lecona Ruiz
Comisión Nacional Coordinadora de Puertos
Baja California No. 225-8° Piso
Hipódromo Condesa
México, D.F.
584 34 36
4-C No.30
C.U.Tlalpán Educación
Coyoacán
04400 México, D.F.
544 67 88
2. José L. García Pelayo
Comisión Nal. Coordinadora de Ptos.
B. California 255 Edif. A 8° Piso
Hipódromo Condesa
México, D.F.
584 34 36
Av. Pirineos 241 A 32
México, D.F.
3. Francisco Rodríguez Tapia
Comisión Nal. Coordinadora de Ptos.
B. California 255 -A 8° Piso
Hipódromo Condesa
México, D.F.
584 34 36
Adolfo Prieto 1113
03100 México, D.F.
559 48 66
4. Aida M. Alvarez Camarena
Dir. Gral. de Obras Marítimas
Insurgentes Sur 465
Condese
México, D.F.
564 53 61
Pegaso 152
Prado Churubusco
Coyoacán
México, D.F.
582 07 30
5. Amado de J. Athié Rubio
DEPFI
UNAM
México, D.F.
550 52 15 Ext. 4486
Calz. de Tlalpán 625-9
Alamos
B. Juárez
03400 México, D.F.
519 87 52
6. Roberto Den Houting
Grupo Oceanwide
Río Balsas 35-601
Cuauhtémoc
06500 México, D.F.
514 44 88
7. Francisco Escanero Muñoz
Portacarrero 40
Veracruz, Ver.
7 06 02
8. Sergio Espinoza Roto
BANPESCA
Versalles 15
Juárez
Cuauhtémoc
México, D.F.
566 29 00
Av. Méx. 19
Américas
Naucalpan, Edo. de México
560 38 55

9. Héctor Fernández Esparza
IPESA CONSULTORES S.C.
Carrada de Sn. Fco. 6
Del Valle
B. Juárez
México, D.F.
559 87 44
- Pregonero 71
Colinas del Sur
A. Obregón
01430 México, D.F.
680 51 06
10. L. Alberto Floreau Escutia
Planeación, Admón y Sist., S.C.
J. Ma. Velasco 82
S. J. Insurgentes
B. Juárez
México, D.F.
598 44 11 Ext. 23
- Hda. de la Condesa 37
Echegaray, Edo. de Méx.
53310 México, D.F.
560 62 09
11. Arturo Fuentes Gómez
I M P
Eje Central Lázaro Cárdenas 152
Sn. Bartolo Atepehuacán
México, D.F.
567 66 00 Ext. 2657
- Los Encinos Ote. 36
Arcos del Alba
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.
8732721
12. Sergio García Murguía
Miguel Escalona, S.A.
Av. Insurgentes Sur 1650-507
Florida
A. Obregón
01030 México, D.F.
524 14 65
- Cerro del Otate 103
Pedregal de Sn. Fco.
Coyoacán
04320 México, D.F.
554 96 29
13. Pedro León Monjaraz
U A M Xochimilco
Calz. del Hueso y Canal Nal.
Coyoacán
04460 México, D.F.
594 70 02
- Amatas 19
Secc. Colina
Jardines san Mateo
Naucalpan, Edo. de Méx.
373 17 36
14. Armando Lezama Galicia
FONDEPORT
J. María Ibarrarán 47
Sn. J. Insurgentes
México, D.F.
- Dr. Lucio 103 Edif. Sagitario
Depto. 1002
Doctores
Cuauhtémoc
México, D.F.
598 45 83
15. César A. Martínez Noriega
Inst. de Ciencias del Mar y
Limnología
UHNAM
México, D.F.
- Ote. 255 A No. 94
México 08500, D.F.
763 00 33
16. David Malgoza Figueroa
IPESA Consultores, S.C.
Cda. San Fco. 6
Del Valle
B. Juárez
03100 México, D.F.
559 98 74
- Holbein 10 Bis
Depto. C 302
Carrera Lardizabal
B. Juárez
03730 México, D.F.

17. Eduardo Miles Knight
Miguel Escalona, S.A.
Insurgentes Sur 1650-507
Florida
A. Obregón
01030 México, D.F.
524 14 65
18. Horacio Nájera Franco
Ingeniería y Desarrollo "Las Truchas", S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 1799-301
San Ángel Inn.
A. Obregón
01020 México, D.F.
534 51 75
Atizapán 60
Verg. de Coyoacán
Tlalpán
14320 México, DF.
677 03 14
19. Froylán Ortiz Cadena
Dirección General de Obras Marítimas
Insurgentes Sur 465
Hipódromo Condesa
Cuauhtémoc
México, D.F.
564 72 78
Sabino 60-13
Sta. M. la Ribera
Cuauhtémoc
06400 México, D.F.
541 12 33
20. Raúl Ramírez Echeverría
PEMEX
Av. Marina Nal. 329-2° Piso
Anahúac
México, D.F.
531 62 50
Suits Tecpan Depto. 1505
Tlatelolco
México, D.F.
519 90 80 Ext. 1505 --
21. Carlos Rendón Alatorre
Fondo Nal. para los Desarrollos Portuarios
J.Ma. Ibarrarán 47
S.J. Insurgentes
México, D.F.
Sn. Foo. 415-204
Del Valle
B. Juárez
03100 México, D.F.
536 24 20
22. María G. Saldaña García
PEMEX
Av. Marina Nal. 329 Edif. B-1 2° Piso
Anahúac
México, D.F.
531 62 50
Adolfo Prieto 714
Edif. B Depto. 6
Del Valle
México, D.F.