

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA DE  
GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**



**“ LA TECNOLOGIA MARINA Y  
LA EXPLOTACION DE LOS  
FONDOS MARINOS ”**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL GRADO DE  
INGENIERO DE MINAS**

**OSCAR R. MORALES SALVADOR**

**PROMOCION 1975 - I**

**LIMA • PERU • 1977**

## RESUMEN

La morfología de los fondos marinos, es similar o comparable con la configuración fisiográfica que nos muestran los continentes. El mar nos ofrece recursos renovables (seres vivos) y no renovables (minerales). Los elementos minerales se presentan en las formas disueltas, precipitados y asociados a la roca de fondo. De ellos, el que tiene mayor importancia actualmente son los precipitados, en especial los nódulos polimetálicos.

Los nódulos se concrecionan alrededor de un núcleo y presentan variadas formas y tamaños, su color es de negro terroso a castaño, el manganeso y el fierro son las mayores constituyentes. A los yacimientos nodulares, Bonatti (1972) los ha clasificado en: hidrogenados, hidrotermales, halmirolíticos y diagenéticos. En el Pacífico norte está la mayor concentración de nódulos y debido a ello existen grandes depósitos con posibilidades de explotarla.

Para la prospección y exploración de minerales en el mar, el elemento fundamental es el barco de investigación, luego las disciplinas científicas (Geología, Oceanografía, Geofísica y otros) y los distintos métodos de prospección usados para el estudio y evaluación de yacimientos marinos.

En el sistema de explotación de los fondos marinos se distinguen 4 fases: recolección, izaje, almacenaje y el transporte.

Para el primero se dispone con más de cuatro tipos de equipos, los sistemas de izaje que están en experimentación son el de bombeo (hidráulico y neumático) y el mecánico (cangilones de línea continua). Para el almacenaje en la superficie del mar y para el transporte hacia el puerto se emplearán plataformas y/o barcos.

El sistema mecánico tiene dos variedades de uno y de dos barcos. El prototipo (con un barco) ha sido ideado y construido por Y. Masuda, el primer ensayo (1968) se realizó frente a Japón, alcanzando las profundidades de 900 y 1400 m. y las posteriores han superado los 5000 m. Actualmente más de 20 compañías de 6 países auspician el desarrollo del sistema.

La metalurgia de los nódulos, está siendo desarrollado por los procesos pirometalúrgico e hidrometalúrgico. En este último, están ensayando los procesos de lixiviación con amoníaco, ácido sulfúrico y clorhídrico y otros. Los metales a recuperarse son el manganeso, níquel, cobre y el cobalto.

Los productores actuales de Mn, Ni, Cu y Co, en su mayoría son países en vías de desarrollo (Sudáfrica, Gabón, Zaire, Zambia, Chile, Perú y otros) a excepción de Canadá, URSS. y otros. La demanda por dichos metales está creciendo a una tasa promedio anual de 5.3 %, lógicamente los grandes consumidores son los países industrializados.

La minería oceánica contribuirá con 262,500 TM. (Mn, Ni, Cu, y Co) de un millón de toneladas secas de nódulos, en 1985, la in-

industria cubrirá el 5, 16, 1.3 y el 50 % de la demanda mundial y el 13, 26 y 5.5 % de las importaciones de los países industrializados. Dado ello, los precios de los metales mencionados se verán afectados por la explotación de los fondos marinos.

El Perú país productor de cobre y que exporta más del 90 % de su producción se verá afectado en gran porcentaje por la industria de nódulos.

Las inversiones para un proyecto minero marino varían entre 25 y 238 millones de dólares, y los costos anuales de operación de 14.8 a 76 \$/TC.

Los posibles ingresos para una producción de uno y tres millones de toneladas anuales serán entre \$ 170 y \$ 268 millones. Luego las inversiones alcanzarán una rentabilidad promedio de 69 y 73 %, pudiendo llegar hasta 109 % y a un mínimo de 43 %.

## AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi agradecimiento a las personas que han contribuido de una u otra manera para la ejecución del presente trabajo, en especial al Ing. Pedro Lavi por su gran sentido humano y colaboración desinteresada, también hago extensivo a los Ings. Francisco Sotillo y Elmer Evangelista por sus consejos y orientaciones, de igual modo a todos mis profesores del programa. a Marco La Rosa por los dibujos, - a la Sra. Eliana I. por el tipeado y finalmente a mis padres por sus sacrificios para lo que soy.

Oscar R. Morales.

## OBJETIVOS Y ALCANCES

1. Uno de los objetivos que me ha conllevado al desarrollo del presente trabajo, es la inquietud de conocer y analizar la tecnología marina que empleará la ingeniería oceánica, para la explotación de los recursos minerales del mar.
2. Difundir las técnicas empleadas en la prospección, exploración y explotación de minerales en el ambiente marino, particularmente para los nódulos policlimetálicos.
3. Tratar de mostrar los logros alcanzados en el campo de la minería oceánica, por los países desarrollados y que están experimentando técnicas y equipos, con miras hacia la explotación de los fondos marinos.
4. Realizar un análisis de los posibles efectos que causará la industria de nódulos a los países productores actuales de manganeso, níquel, cobre y cobalto.
5. Reunir las informaciones y publicaciones existentes sobre la tecnología marina y la minería oceánica, en las instituciones y bibliotecas de nuestro medio.
6. Servir de base y de referencia a las personas interesadas en la investigación marina, en los campos de geología y minería.
7. Despertar interés en los estudiantes y/o profesionales de geología, minas y metalurgia o química hacia la investigación de los minerales marinos.

## INTRODUCCION

En el presente trabajo, se trata de desarrollar los lineamientos generales de la técnica de aprovechamiento de los recursos minerales del mar, pero orientados hacia los nódulos polimetálicos. Es así, que se inicia con la descripción del medio ambiente marino, para continuar con los diferentes tipos de minerales y/o depósitos existentes en él, con las técnicas y métodos de prospección, exploración y la metalurgia de los nódulos, terminando con un pequeño análisis económico de la futura industria minera marina.

Antes de iniciar el desarrollo, se ha tratado de recopilar toda la información posible existente sobre esta nueva técnica, más de 70 % de ella se ha obtenido del INCITEMI y el restante de las bibliotecas de instituciones públicas y privadas.

Indudablemente, el lector encontrará muchas interrogantes en el empleo frecuente de palabras sinónimas, ello se ha tratado de hacer, con el fin de <sup>no</sup> cambiar o tergiversar el sentido de los conceptos (traducción de términos o palabras) de un determinado término; esto se debe fundamentalmente a que en nuestro medio, aún no está uniformizada la terminología en el campo de la minería oceánica.





A, (Illita (fluvial), caolinita, clorita y arcillas mixtas); Margen continental.

Factor 3 : Sed. subsuperficial continental B, (abundante Illita y ausencia de esmectita y arcillas), Talud continental.

Los números que aparecen al costado del core 130 Ej. 87, 88 y 87 significan el % de los elementos anteriormente mencionados.

Fig. 15 y 16

Fuente: Horn, "Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor", pp. 265 y 266.

Fig. 25, 26 y 27

Fuente: Metallgesellschaft Ed. 13, 1975.

Fig. 28

Fuente: :The 3rd International Ocean Develop Conf. Vol III, pp. 313 y 316, 1975

Fig. 30, 31 y 32

Fuente: Agarwal y otros, JOM de AIME  
Abril 1976 pp. 26 y 26.

-----

# INDICE

RESUMEN

AGRADECIMIENTO

OBJETIVOS Y ALCANCES

INTRODUCCION

|  | Pág. |
|--|------|
| 1.0 Morfología de los Fondos Marinos   |      |
| 1.1 Generalidades  | 10   |
| 1.2 Clasificación Morfológica  | 11   |
| 1.2.1 Plataforma continental   | 11   |
| 1.2.2 Talud continental  | 13   |
| 1.2.3 Elevación o umbral continental   | 14   |
| 1.2.4 Zona abisal  | 14   |
| 2.0 Recursos Minerales del Mar   |      |
| 2.1 Generalidades  | 19   |
| 2.2 Yacimientos minerales en Playas  | 21   |
| 2.3 Minerales en solución en el agua de mar  | 24   |
| 2.4 Yacimientos minerales inconsolidados en el margen continental y en fondo oceánico. | 27   |
| 2.5 Yacimientos minerales consolidados o asociados a la roca de fondo                  | 32   |
| 3.0 Los Nódulos Polimetálicos  |      |
| 3.1 Generalidades  | 35   |
| 3.2 Distribución geológica de los nódulos  | 36   |
| 3.3 Características físicas y químicas   | 37   |
| 3.4 Composición mineralógica   | 42   |
| 3.5 Geoquímica regional de los nódulos   | 43   |
| 3.6 Clasificación genética de los depósitos ferromanganesos                            | 46   |
| 3.7 Distribución geográfica de los depósitos nodulares polimetálicos                   | 52   |

#### 4.0 Métodos de Exploración y Evaluación de Yacimientos Minerales Marinos.

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Generalidades  | 56 |
| 4.2 Barcos de Investigación  | 57 |
| 4.3 Disciplinas conexas a la Exploración                               | 62 |
| 4.4 Fases en el programas de Exploración                               | 66 |
| 4.5 Metodos de Prospección   | 69 |
| 4.5.1 Prospección Geofísica  | 69 |
| 4.5.2 Prospección Geológica  | 76 |
| 4.5.3 Prospección Geoquímica   | 82 |
| 4.5.4 Prospección por Sensores Remotos                                 |    |
| 4.6 Parámetros para la Evaluación de los Yacimientos Minerales Marinos | 86 |
| 4.7 Modelo de Evaluación   | 87 |

#### 5.0 Sistemas de Exploración en la Minería Oceánica

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Generalidades                             | 93  |
| 5.2 Recolección de Nódulos en el Fondo Marino | 94  |
| 5.3 Sistemas de Elevación de los Nódulos      | 98  |
| 5.3.1 El sistema Mecánico o CLC               | 98  |
| 5.3.2 El sistema Hidráulico                   | 99  |
| 5.3.3 El sistema Neumático                    | 100 |
| 5.4 Plataformas de trabajo                    | 104 |
| 5.5 Transbordo y Transporte                   | 106 |

#### 6.0 El Sistema de Cangilones de Línea Continua

|  |     |
|--|-----|
| 6.1 Variedades del Sistema   | 110 |
| 6.1.1 Sistema con un barco   | 110 |
| 6.1.2 Sistema con dos barcos   | 114 |
| 6.2 Tipos de cangilones  | 116 |
| 6.3 Algunos Datos y Parámetros técnico-económicos preliminares del sistema | 117 |
| 6.4 Alcances y Limitaciones del Sistema                                    | 121 |
| 6.5 Países Auspiciadores del Sistema                                       | 122 |

## 7.0 Metalurgia de los Nódulos Polimetálicos

|   |     |
|---|-----|
| 7.1 Generalidades   | 124 |
| 7.2 Proceso de Lixiviación Amoniacal  | 125 |
| 7.3 Proceso de Lixiviación con Acido Sulfúrico                              | 128 |
| 7.4 Proceso de Lixiviación con Acido Clorhídrico                            | 131 |
| 7.5 Otros Procesos de Lixiviación   | 133 |
| 7.6 Principales Ecuaciones de las Reacciones en los Procesos de Lixiviación | 134 |
| 7.7 Comparación de los Procesos Estudiados                                  | 137 |

## 8.0 Volúmenes de Producción y Consumo y los Aspectos Económicos en la Minería Oceánica

|   |     |
|---|-----|
| 8.1 Volumen de Producción Continental Actual de Mn, Ni, Cu y Co                         | 140 |
| 8.2 Volumen del Consumo actual y la futura demanda de Mn, Ni Cu y Co                    | 142 |
| 8.3 Participación de la Minería Oceánica en la futura demanda de : Mn, Ni, Cu y Co      | 151 |
| 8.4 Repercusiones Económicas de la Minería Oceánica                                     | 152 |
| 8.4.1 Repercusiones sobre el mercado del Manganeso                                      | 153 |
| 8.4.2 Repercusiones sobre el mercado del Níquel   | 161 |
| 8.4.3 Repercusiones sobre el mercado del Cobre  | 162 |
| 8.4.4 Repercusiones sobre el mercado del Cobalto  | 165 |
| 8.4.5 Conclusiones  | 167 |
| 8.5 Análisis Preliminar del cobre Peruano frente a la Explotación de los Fondos Marinos | 172 |
| 8.6 Los posibles costos en la Industria de Nódulos                                      | 181 |
| 8.6.1 Costos de capital o inversiones   | 182 |

|  |      |
|--|------|
| 8.6.1 Costos de operación                                      | 183. |
| 8.7 Posibles Utilidades en la industria<br>de los nódulos      | 188  |
| <b>ANEXO:</b>  |      |
| Conferencia de las Naciones Unidas sobre el<br>Derecho del Mar | 193  |
| <b>CONCLUSIONES</b>  | 206  |
| <b>RECOMENDACIONES</b>   | 209  |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | 210  |

## CAPITULO I

### MORFOLOGIA DE LOS FONDOS MARINOS

#### 1.1 GENERALIDADES

Este capítulo trata a cerca de la morfología del fondo marino; es decir de la configuración fisiográfica submarina que está cubierto por los mares y océanos.

El inicio del estudio de los mares y océanos se remonta a la época de Hérodoto, Aristóteles y otros, quiénes trataron de explicar algunas de las propiedades físicas de los océanos. Con respecto al relieve topográfico, pensaron que el fondo de los mares era totalmente plano y uniforme.

En las últimas décadas con el fin de conocer con mayor detalle la morfología del suelo marino se ha alcanzado un rápido avance en el campo científico y tecnológico marino. Gracias a ello, en la actualidad los hombres de la ciencia del mar disponen de una serie de instrumentos y equipos, que les permite conocer la topografía y adquirir datos e informaciones del suelo marino.

De acuerdo a los conocimientos adquiridos y mediante el apoyo de la Geofísica Marina, se ha llegado a la conclusión de que el paisaje submarino es similar o comparable con la que nos muestran los continentes, aunque en magnitud sus ac

identes orográficos alcanzan proporciones que superan a las que observamos su tierra firme. Los fondos marinos al igual que los continentes presentan cadenas de montañas, volcanes, planicies, fosas y otras características propias, tales como veremos más adelante.

## 1.2 CLASIFICACION MORFOLOGICA

Morfológicamente, el fondo marino ha sido dividido o clasificado en cuatro grandes unidades; cada una con rasgos topográficos diferentes, pero poseen características propias, Las unidades morfológicas son:

### 1.2.1 PLATAFORMA CONTINENTAL

Las plataformas continentales son consideradas, como las terrazas de los continentes, es decir, constituyen las zonas de transición entre las tierras firmes y el mar, que en épocas pasadas estuvieron alternativamente sumergidas o aflorando de acuerdo a las variaciones de transgresión y regresión experimentadas por el nivel de los mares.

Otra manera de definir la plataforma continental es: Como la zona alrededor de los continentes que se extiende desde la línea de aguas someras hasta una profundidad en la que hay un notable incremento de pendiente a mayores profundidades, cuando hay dos o más cambios de pendiente se utiliza el mas acentuado, con tal que este situado a una pro -

fundidad inferior a 600 mts.

En el caso particular del Perú, su plataforma presenta dimensiones variables. Así en la zona norte (entre Puerto Pizarro y Punta Aguja) la plataforma es relativamente angosta y su borde exterior va paralelo a la línea de costa a una distancia de 5 a 10 Km. En la zona centro (Punta Aguja y Pisco), el ancho de la plataforma aumenta, frente a Pimentel es de 126 Km., y a la altura de Chimbote es de 98 Km., hacia al sur va disminuyendo y frente al Callao es de 70 Km., a la altura de Paracas el ancho promedio de la plataforma es de 80 Km. en la zona de los ríos Majes y Tambo el ancho máximo es de 19 Km. debido a la presencia de la fosa Perú - Chile.

#### TIPOS DE PLATAFORMAS:

Los principales tipos de plataformas que consideraremos son:

- i. Plataformas que bordean masas terrestres o continentes que han estado cubiertas por los hielos.
- ii. Plataformas con bancos de arena alargadas y depresiones.
- iii. Plataformas con fuertes corrientes.



Plataformas que bordean grandes deltas.

iv. Plataformas rodeadas de bancos e islas rocosas.

v. Plataformas con sistemas de vallas discontinuos poco profundos.

vi Plataformas rebajadas por crecimiento de corales

### 1.2.2 TALUD CONTINENTAL

Es la zona comprendida entre el borde exterior de la plataforma continental y la zona pelágica y abisal.

En la Figura 1.1 se esquematiza a las unidades morfológicas. A la plataforma y el talud continental, también se le conoce con el margen continental.

La característica fundamental de los taludes es que presentan una mayor pendiente en relación a las zonas que enlaza. además se halla surcado de cañones submarinos a manera de gargantas y desfiladeros. La profundidad de los taludes oscila entre 3,500 y 5,500 metros

A manera de referencia podemos indicar que el talud continental frente a muestras costas tiene una pendiente promedio de 14 %.

### 1.2.3 ELEVACION O UMBRAL CONTINENTAL

Es la zona de transición entre el talud continental y el fondo abisal. Se caracteriza por no presentar profundas fosas ni cañones, desciende con una pendiente suave hacia el fondo oceánico o abisal.

### 1.2.4 ZONA ABISAL O FONDO OCEANICO.

Corresponde al fondo del mar propiamente dicho; se extiende desde el pie o la parte más profunda del talud continental. Se caracteriza por su heterogeneidad morfológica; es decir todos los océanos presentan fondos rugosos, surcados por valles y fosas que se encuentran separados por cadenas de montañas.

Existen lechos oceánicos cuyo relieve es relativamente suave y su profundidad varía entre 3,000 y 6,000 metros.

Las grandes cadenas montañosas que surcan a los océanos se asemejan a las vértebras de la espina dorsal de un gigantesco animal enterrado casi por completo es la razón por la cual dichas cadenas han sido llamadas dorsales, cordilleras oceánicas o meso-oceánicas como ejemplo tenemos a Dorsal del Pacífico Oriental, Dorsal del Atlántico Norte, etc. además de los grandes macizos y cadenas, los océanos encierrán

otros tipos de elevaciones submarinas: tales como - los montes submarinos aislados (seamounts) y un tipo de formación que no tiene equivalente en los continentes (guyots), ellos presentan una cima plana.

La otra característica topográfica que hemos señalado son las fosas oceánicas, ellas consisten en depresiones alargadas y estrechas de lados relativamente abruptas. Frente a las costas de Perú y Chile la profundidad de dicha fosa se incrementa a partir de la costa sur del Perú, superando los 6,480 m. en el paralelo 17°S, su eje se mantiene entre los 70 y 250 Km. de la línea de costa. La isóbata de 5,400 m. es interrumpida por la Dorsal de Nazca que forma un puente de unos 135 Km. de ancho.

Los fondos marinos desde el punto de vista de su profundidad pueden ser divididos en cuatro provincias o zonas.

- Zona litoral de 0 - 200 metros
- Zona batial de 200 - 2,500 metros
- Zona abisal de 2,500 a 6,000 metros
- Zona hadal de 6,000 - 13,000 metros

En concordancia a las definiciones anteriores, las dos primeras zonas están incluidas en el margen continental. La tercera zona concuerda con la clasifi-

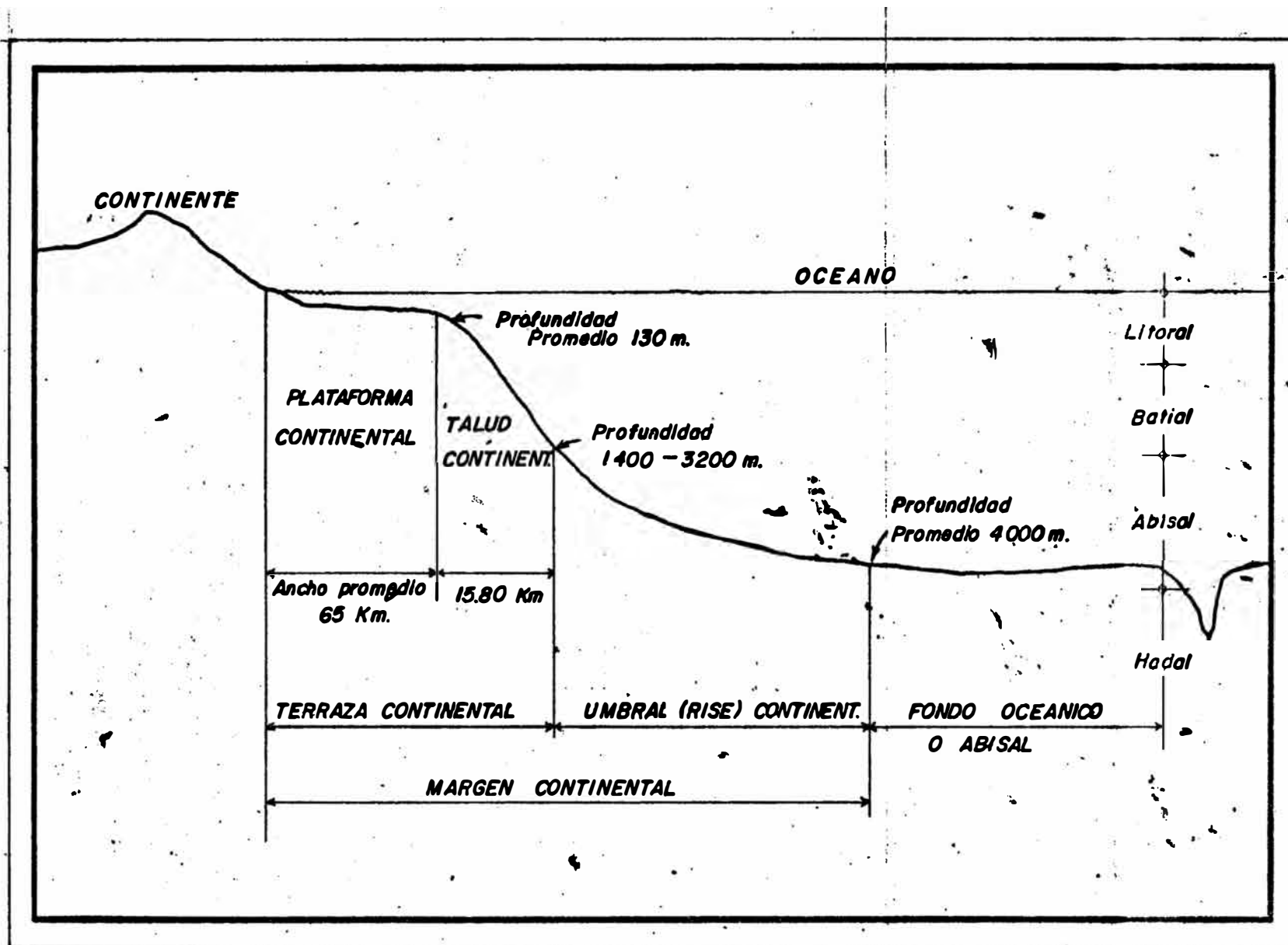
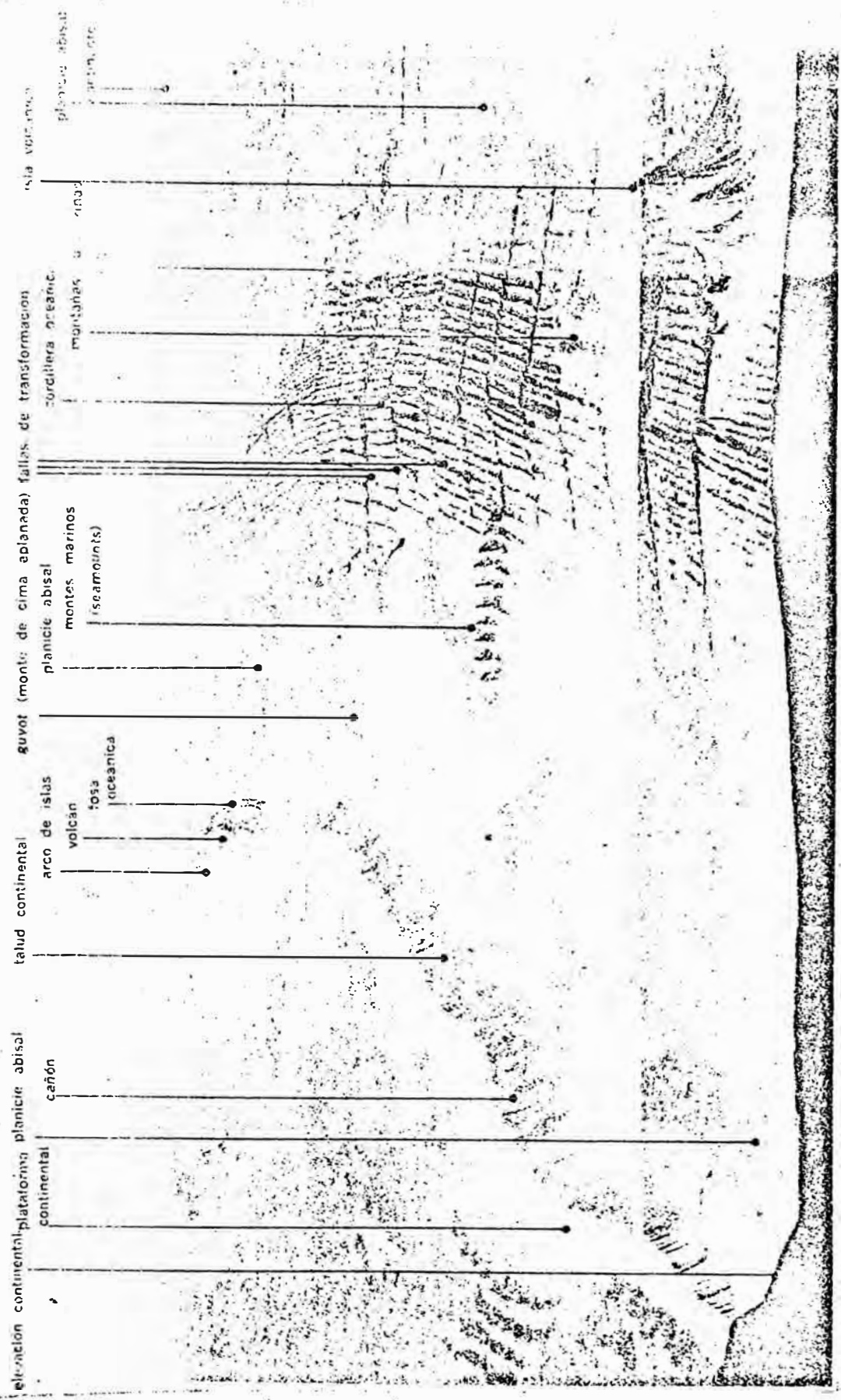


FIG. 1.- PERFIL DIAGRAMATICO DE LA MORFOLOGIA DE LOS FONDOS MARINOS

Fig. 2 Morfología de Los Fondos Marinos



Fuente: Revista el Mundo en que Vivimos N° 3 1975.

cación morfológica y por último la zona hadal según la primera clasificación de los fondos marinos correspondería a la profundidad de las fosas marinas - (Fig 1 y 2).

Ahora, que ya tenemos una visión clara, a cerca de la morfología marina o paisaje submarino, pasaremos a ver ¿Qué hay o qué podemos encontrar en las diferentes zonas que anteriormente hemos definido en caso de encontrar algún elemento ¿Donde abunda y a qué profundidades? ¿Cuáles son las más importantes?. Estas y muchas otras interrogantes trataremos de responder más adelante.

## CAPITULO II

### RECURSOS MINERALES DEL MAR

#### 2.1 GENERALIDADES

Los minerales que el hombre requiere para su industria, los extrae de la corteza terrestre sólida de la tierra, el mar y la atmósfera. No obstante, la mayoría de dichos recursos le son proporcionados por la corteza. Si bien, esta capa sólida externa de la tierra tiene un espesor que fluctúa aproximadamente entre 32 y 40 Km., las operaciones mineras que se están realizando muy raramente alcanzan los 2000 o 3000 metros de profundidad.

Aún considerando sólo esa delgada capa superficial, la corteza terrestre contiene en términos absolutos, cantidades inagotables de todos los metales y minerales que la humanidad necesita. Sin embargo, la mayor parte de ese contenido se halla distribuido uniformemente y en concentraciones -- muy bajas a través de toda su masa, en estas condiciones es posible que el costo de su extracción exceda a su valor económico y, por lo tanto no puede considerarse como reserva disponible a las condiciones tecnológica actuales, debido a que las reservas mejores y más accesibles han sido ubicadas y explotadas primero.

Actualmente, dado la escasez o agotamiento de algunos ele-

mentos en la corteza terrestre y la creciente demanda por dichos metales, la humanidad en las últimas décadas se ha volcado hacia el mar en búsqueda de ellos, porque es la zona menos explorada y aprovechada en cuanto se refiere a los recursos minerales.

El mar, contiene a los elementos minerales en la forma de sustancias disueltas, precipitados químicos o inconsolidados y en forma consolidada o asociada a la roca de fondo.

A los recursos factibles de ser extraídos del mar, podemos agruparlos en dos tipos: no renovables y renovables.

#### - RECURSOS NO RENOVABLES.

Son aquellos cuya renovación es tan lenta, que resulta despreciables, tal es el caso del petróleo y del gas natural que se hallan almacenados bajo el fondo del mar, de los depósitos minerales que se han ido sedimentando lenta, pero continuamente en el fondo de los océanos, de los minerales disueltos en el agua de mar y del agua misma.

#### - RECURSOS RENOVABLES

Son aquellos que pertenecen a todos los seres vivos que habitan en el mar.

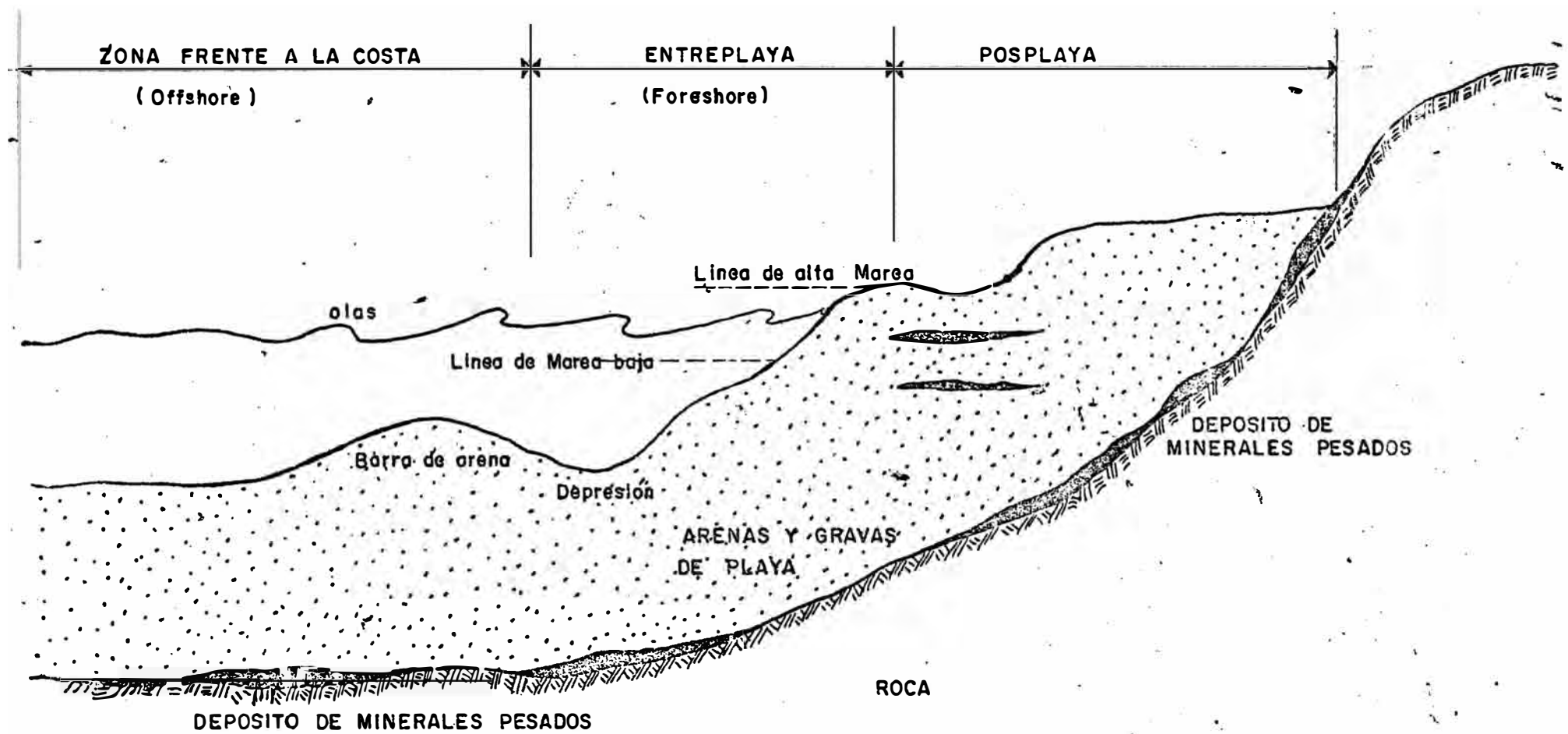


## 2.2 YACIMIENTOS MINERALES EN PLAYAS.

Las playas actuales y las levantadas o las sumergidas a distancias de hasta algunos cientos de kilómetros, son áreas de posible significación económica; debido a que los minerales resistentes a la erosión, son desprendidos de las rocas madres en continente, y luego son transportados por los ríos y el viento hacia el mar; encargándose aquí, las olas y el viento de retrabajarlos, transportarlos a lo largo de las costas y depositarlo en zonas favorables, formando así playas ricas en concentraciones de minerales pesados (Fig. 3).

Los principales minerales que yacen en los diferentes tipos de depósitos en playas y en la plataforma continental no muy lejos de la línea de costa, podemos clasificarlos en dos grupos: Minerales pesados y menos pesados. Para dicha clasificación nos hemos basado en el rango de sus pesos específicos, los primeros están entre 18 y 22 y los segundos entre 3 y 8.

Por lo general (oro, platino, estaño y osmio) se encuentran en extensiones sumergidas en cursos de ríos y a pocos kilómetros de su fuente de origen. Los minerales menos pesados (magnetita, columbita, ilmenita, rutilo, zirconio, monacita, cromita, diamante, shelita, walframio y arenas de cuarzo, fosfáticas y ferruginosas) se limitan a las playas actuales.



**Fig. N°3.- SECCION TRANSVERSAL DE UNA PLAYA MARINA, MOSTRANDO LUGARES FAVORABLES PARA LA DEPOSICION DE MINERALES PESADOS.**

Fuente: J. Mero, 1965. pp. 9 .

En diversos países del mundo, actualmente están trabajando con considerable esfuerzo en la investigación de las acumulaciones de minerales pesados, tanto en las playas como frente a las costas. De ñ mismo modo, muchos países benefician estos minerales desde hace varias décadas, tales como Australia gran productor de zirconio, titanio y otros; Indonesia, Malacia, Reino Unido y Tailandia productores de estaño a partir de sedimentos asociados a playas y Sudáfrica gran productor de diamantes.

En el Perú, tan igual que en otras partes del mundo, existen buenas condiciones geológicas como para inferir a base de prospección, el hallazgo de importantes concentraciones de minerales pesados a lo largo del litoral. Pero, hasta la fecha se han realizado muy pocos estudios y/o investigaciones, referidos a la evaluación económica de dichos minerales en nuestras playas.

El estudio realizado por Herrera R. (Tesis de Bachiller, 1976) de las playas de Chancay, nos revela datos muy alentadores, como para continuar y profundizar las investigaciones a lo largo del litoral peruano. Los porcentajes de los minerales encontrados en dicha playa son:

|                |         |
|----------------|---------|
| Magnetita (Fe) | 43.31 % |
| Ilmenita (Ti)  | 7.93 %  |
| Zircón (Zr)    | 1.96 %  |

El análisis espectrométrico de las mismas muestras reveló

la presencia de los elementos: Hf, V, Be, B, Y, Ce, Sb, Co, Cu, Pb, Os, Sc, Sn y otros

### 2.3 MINERALES EN SOLUCION EN EL AGUA DE MAR

El 71 % de la superficie de nuestro planeta está cubierto por agua; es decir, un área de 139 millones de millas cuadradas con una profundidad media de 4,000 metros, el mar retiene alrededor de 330 millones de millas cúbicas de agua (Sverdrup et al 1942). El agua de mar contiene en promedio 3.5 % de elementos en solución; por lo tanto, una milla cúbica de agua pesa algo de 4.7 billones de toneladas y contiene cerca de 166 millones de toneladas de sólidos (John Mero, 1965).

En el mar abierto, la composición del agua se mantiene relativamente uniforme en cuanto se refiere a sus elementos, - principales, pero no es de modo alguno homogénea en lo que atañe a sus componentes secundarios. Hasta la fecha, se ha detectado más de 60 elementos disueltos en el agua de mar. Los ~~elementos~~ <sup>elementos</sup> más abundantes que cubren el 99 % de los sólidos disueltos son nueve (9), de los cuales el cloro y el sodio constituyen el 85.2 %.

En el Cuadro N°1, se presenta la concentración y la cantidad de los principales elementos disueltos en el agua de mar.

En la actualidad, de los elementos disueltos en el agua de mar, solamente cuatro son extraídos económicamente: El cloro, el sodio, el magnesio metálico y alguno de sus compuestos y el bromo. Las técnicas empleadas para la extracción comercial de dichos elementos son: La precipitación química y la filtración de sales de magnesio y bromo, la evaporación solar para la obtención de sal común y diversos procedimientos de desalinización para la producción del agua potable, N.U. (ST/ECA/125).

CUADRO N° 1

LA CONCENTRACION Y LA CANTIDAD DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS EN EL AGUA DE MAR

| ELEMENTOS | CONCENTRACION<br>( mgr/l) | CANTIDAD DE LOS ELEMENTOS EN EL AGUA DE MAR (TM/Milla <sup>3</sup> ) | CANTIDAD TOTAL EN LOS OCEANOS (TM) | % DE LOS SOLIDOS DISUELTOS |
|-----------|---------------------------|--|------------------------------------|----------------------------|
| Cloro     | 19,000.0                  | $89.5 \times 10^6$   | $29.3 \times 10^{15}$              | 54.8                       |
| Sodio     | 10,500.0                  | $49.5 \times 10^6$   | $16.3 \times 10^{15}$              | 30.4                       |
| Magnesio  | 1,350.0                   | $6.4 \times 10^6$  | $2.1 \times 10^{15}$               | 7.5                        |
| Azufre    | 885.0                     | $4.2 \times 10^6$  | $1.4 \times 10^{15}$               | 3.7                        |
| Calcio    | 400.0                     | $1.9 \times 10^6$  | $0.6 \times 10^{15}$               | 1.2                        |
| Potasio   | 330.0                     | $1.8 \times 10^6$  | $0.6 \times 10^{15}$               | 1.1                        |
| Bromo     | 65.0                      | $3.0 \times 10^5$  | $0.1 \times 10^{15}$               | 0.3                        |
| Carbono   | 28.0                      | $1.3 \times 10^5$  | $0.4 \times 10^{14}$               | 0.2                        |
| Boro      | 4.6                       | $2.3 \times 10^4$  | $7.1 \times 10^{12}$               | 0.07                       |

Fuente: John L. Mero, "The Mineral Resources of the sea" 1965.

Los intentos de localizar concentraciones económicas de oro en las

aguas marinas y explotarla comercialmente por diversos métodos no han tenido éxito; sin embargo, las investigaciones continúan, debido a que en el océano hay suficientes reservas de oro. Al respecto, se ha determinado que el contenido promedio de dicho elemento en el ambiente marino es del orden de 0.02 ton/milla<sup>3</sup>, lo que teóricamente representa una reserva de 6.6 millones de toneladas, frente a las 31 mil toneladas estimadas para la minería continental tradicional (1). Refiriéndonos a la tasa de consumo de oro de 1975 (1,000 TM), en el mar tendríamos una reserva para 6,600 años.

Actualmente, existe un gran interés por parte de muchos países, en elaborar nuevos procedimientos o métodos comerciales para extraer algunos otros elementos disueltos en el agua de mar. Los procedimientos que son objeto de investigación en laboratorios por dichos países son: La electrolisis, la electrodialisis, la adsorción, el intercambio iónico, la quelación, la oxidación, la cloración, la extracción por disolventes y la actividad bioquímica de algunos organismos marinos (N.U.ST/ECA/125).

(1) Damiani, "Potencial de Recursos Minerales del Perú", 1974, VIII CNG. Mundial de Minería, Lima Perú.

2.4 YACIMIENTOS MINERALES INCONSOLIDADOS EN EL MARGEN CONTINENTAL Y EN EL FONDO OCEANICO.

Los yacimientos o depósitos minerales superficiales inconsolidados tanto en el margen continental como en el fondo oceánico de mayor importancia como recurso potencial son los precipitados químicos, entre ellos tenemos a los yacimientos de fosforita, de nódulos de manganeso y los sedimentos superficiales.

En el Cuadro N° 2, se presenta la clasificación de los depósitos inconsolidados según su origen la cual ha sido realizada por M.J. Cruickshank (1974).

CUADRO N° 2

CLASIFICACION DE LOS DEPOSITOS INCONSOLIDADOS

| TIPO          | DEFINICION   |
|---------------|--|
| Terrígenos    | - Producto de la rotura mecánica de las rocas continentales            |
| Biogénico     | - Producto de la descomposición de los organismos vivientes.           |
| Autígenos     | - Producto de la deposición/precipitación química insitu.              |
| Diagénico     | - Producto del reemplazamiento químico.                                |
| Vulcanogénico | - Producto detríticos de la actividad volcánica.                       |
| Cósmico       | - Como resultado de los meteoritos y otros materiales extraterrestres. |

Fuente: Burk-Drake, "The Geology of continental Margens" = 1974.

A continuación, se hace una breve descripción de los depósitos inconsolidados anteriormente mencionados.

### La Fosforita.

Es un fosfato de calcio ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ ), mineral de composición compleja, en el ambiente marino se suele presentar en las formas de: nódulos, arenas fosfáticas, lodos fosfáticos y lechos fosfáticos consolidados. La zona que ella aparece con mayor frecuencia está entre los 40 y 400 metros de profundidad en el medio de sedimentación lenta.

Los primeros descubrimientos de fosforita submarina se hicieron en muestras dragadas del banco Agulhas, frente a Sudáfrica, por la expedición del Challenger en 1873. A éste, le han seguido una serie de expediciones oceanográficas y han sacado nódulos de diferentes zonas del fondo marino (plataforma, talud, etc.)

La sedimentación de la fosforita depende de la rápida precipitación del fosfato contenido en el agua antes de que quede muy diluido por los sedimentos detríticos. La fosforita se suele formar en las regiones donde las aguas frías y profundas, ricas en fosfato y otras sales nutritivas disueltas, son llevadas en grandes masas a las zonas poco profundas por fuertes corrientes ascendentes. La precipitación subsiguiente de fosforita, probablemente por agentes inorgánicos o bioquímicos, sobre los bancos submarinos y -



zonas someras de la plataforma continental se debe a la liberación del bióxido de carbonato disuelto y al aumento del pH del agua, que obedecen a la disminución de la profundidad y la presión, al aumento de la temperatura o a la mezcla con aguas superficiales cálidas (o a ambas cosas).

Las regiones más propicias para la deposición de la fosforita, son las zonas con fuertes corrientes ascendentes divergentes, y ellos suelen aparecer frente a las costas occidentales de los continentes. Aunque, ya se han identificado la mayoría de las regiones importantes de corrientes ascendentes, hacen falta más investigaciones oceanográficas para obtener conocimientos detallados de la circulación del agua y de los procesos físicos, químicos y biológicos conexos.

#### Nódulos de Manganeso.

Entre los depósitos inconsolidados de los fondos marinos, el que ha despertado un gran interés; sobre todo, desde el punto de vista científico y tecnológico, son los nódulos de manganeso. Ellos tapizan el piso de los océanos Pacífico Atlántico e Indico. Dada la importancia del contenido metálico de los nódulos: Mn, Cu, Ni, Co y otros; la investigación actual referente a la minería oceánica está dirigida a hacer factible la explotación de dichos nódulos, mediante una tecnología adecuada. El estudio con mayor detalle de los nódulos, lo haremos en el siguiente capítulo.

### Sedimentos Superficiales

Los sedimentos superficiales no consolidados del fondo oceánico, tales como las arcillas rojas, limos calcáreos y silíceos contienen algunos elementos posiblemente útiles, pero que en la actualidad no están considerados como yacimientos económicamente explotables.

En el Cuadro N°3, se presenta los diferentes tipos de yacimientos minerales incoconsolidados que yacen en el margen continental.

CUADRO N° 3

YACIMIENTOS MINERALES INCONSOLIDADOS QUE YACEN EN EL MARGEN

CONTINENTAL

| Origen                                       | Litorales                    |   | Batiales          |  |   |
|--|------------------------------|---|-------------------|--|---|
|  | No Metálicos                 | Minerales Pesados   | Elementos Nativos | Precipitaciones Superficiales  | Lechos Superficiales  |
| Ígneo  | Arenas y gravas $SiO_2$      | - Arenas de Minerales pesados   | Metales nativos   |  | - Lodos hemipe-<br>lagicos azu-<br>les.                       |
|  | Arena industria l<br>cianita | $Fe_3O_4$<br>Magnetita  | Oro<br>Platino    |  | - Lodos volcá-<br>ricos                                       |
|  | Silimanita<br>$Al_2 SiO_5$   | Ilmenita<br>$FeTiO_3$   | Cobre<br>Diamante |  | Limos roja<br>y amarillo                                      |
|  | Estaurolita                  | - Rutilo $TiO_2$  | Gemas             |  | Sedimentos<br>de grava.                                       |
|  | Granates                     | Monacita  |                   |  |   |
|  | Barros refracta-<br>rios     | Cromita<br><br>Circon<br>Casiterita<br>Berilio<br>Columbita<br>Cinabrio |                   |  |   |
|  | Ígneo                        | Arenas calcáreas<br>Lechos de conchas                                   |                   | corales<br>preciosos<br>perlas   |   |
| Fosforita<br><br>Aragonita<br><br>Glauconita |                              |   |                   | Fosforita<br><br>Concreciones de sul-<br>fato de bario<br><br>Glauconita<br>Silicatos<br>Nódulos de Mn<br>Costras de Mn, Fe,<br>Ni, Co y Cu<br><br>Fosforita<br>Dolonita | Lodos meta-<br>líferos<br><br>Au/ag/Cu<br><br>Lodos<br>verdes |
| Ígneo  |                              |   |                   |  |   |

## 2.5 YACIMIENTO MINERALES CONSOLIDADOS ASOCIADOS A LA ROCA DE FONDO

Los conocimientos geológicos adquiridos en tierra y las inferencias que pueden desprenderse de los mismos, indican que las rocas sedimentarias cristalinas que se hallan bajo los fondos oceánicos al menos en la plataforma y el talud continentales, contienen vastos recursos potenciales de minerales metálicos y no metálicos.

Los yacimientos del subfondo que yacen a distinta profundidad por debajo del fondo del mar, asociado con formaciones rocosas; incluyen petróleo, gas, azufre, carbón, depósitos estratificados de sal potasa, ciertos minerales ferríferos y distintos minerales metálicos.

El petróleo y el gas dominan la historia de la explotación lucrativa de minerales en la plataforma continental frente a las costas de muchos países. En los últimos años se han descubierto yacimientos con grandes posibilidades económicas en la plataforma frente a las costas de la Arabia Saudita, Australia, Brasil, Gabón, Irán, Venezuela, Perú, y otros. Dado a ello, se ha extendido la exploración en más de 75 países y actualmente se explota dichos elementos en 22 países

El carbón, es otro importante mineral estratificado que tal vez exista en vastas cantidades debajo de los fondos oceánicos y se extienda a grandes distancias frente a la costa,

teóricamente hasta la zona exterior del talud continental. Actualmente se explotan mantos submarinos de carbón mediante la minería subterránea tradicional, frente a las costas de Canadá, Japón, Reino Unido, China (Taiwán) y Turquía.

Se sabe que existen yacimientos submarinos de mineral de hierro de ley comercial y de estaño que se extienden bajo el fondo marino.

Es probable que las perspectivas de encontrar filones y vetas de minerales metálicos en los fondos abisales estén limitadas a unos cuantos minerales, tales como la cromita, el platino, el níquel y el cobalto, que están asociados genéticamente con rocas magmáticas básicas y ultrabásicas (N.U.ST/ECA/125).

En el Cuadro N°4, se muestra los principales minerales asociados a la roca de fondo consolidados que yacen en el margen continental.

CUADRO N° 4

YACIMIENTOS MINERALES ASOCIADOS A LA ROCA DE FONDO DEL  
MARGEN CONTINENTAL

| ORIGEN  | SUPERFICIAL       | SUBTERRANEO   | FLUIDO                    |
|---------|-------------------|---|---------------------------|
| Litoral | - Coral           | - Carbón  | - Carbón                  |
|         | - Barita          | - Minerales de Fe                                       | - Petróleo                |
|         | - Bauxita         | - Calizas o piedra Calcárea                             | - Fluido de hidrocarburos |
|         |                   | - Depósitos de arcillas y lodos                         | Energía geotermal         |
|         |                   | (Todos los elementos).                                  | - Helio, azufre.          |
|         |                   |   | - Sulfuros (Cu)           |
|         |                   |   | - Cloruros (Na, Mg, Ca)   |
|         |                   |   | - Nitratos (K)            |
|         |                   |   | - Carbonatos              |
|         |                   |   | - Yodatos y Boratos.      |
| Batial  | - Fosforita       | Lodos metalíferos                                       | Fluidos -                 |
|         | - Oxidos de Mn/Fe | endurecidos   | hidrotermales             |
| Abisal  |                   | - Cromita, Platino níquel, cobalto carbón, hierro y sal | - Fluidos hidrotermales   |

Fuente: Burk Drake, 1974, "The Geology of Continental Margins" pp 993.

### CAPITULO III

#### LOS NODULOS POLIMETALICOS

##### 3.1 GENERALIDADES

Los minerales hidratados bióxido de manganeso y fierro, llama dos nódulos polimetálicos o de manganeso; por lo general, se presentan en el fondo de los mares de nuestro planeta y tam bién en los ríos y lagos de agua dulce. La presencia de e llos en los fondos marinos fue descubierta por la expedición oceanográfica británica CHALLENGER (1873 76). Con aquel descubrimiento de pequeños objetos semejantes a las piedras fue dado a conocer que eran ampliamente distribuidos en los océanos Pacífico, Atlántico e Indico .

En el análisis de las muestras encontraron un contenido rela tivamente alto en porcentaje de manganeso, de allí el nom bre de "Nódulos de Manganeso", además se detectó la presen cia de pequeñas cantidades de cobre, níquel, cobalto, molib deno, zinc y otros elementos metálicos, razón por la cual, también se suele llamar nódulos polimetálicos.

Mas tarde (1920), las expediciones ALBATROS (americano), METEOR (alemán) y barcos franceses siguieron navegando y dra gando los océanos, como resultado de ello dieron a conocer que habían encontrado nódulos en numerosos lugares de los

tres océanos. Cabe destacar, que en las últimas décadas han surgido una serie de expediciones científicas con el objeto de conocer en mayor detalle la distribución geográfica regional de los nódulos.

Durante un largo período, este descubrimiento sólo despertó un interés de orden científico. No cabía la menor sospecha, que estos nódulos pudieran ser considerados como recursos mineros potenciales cuando se encontraban en el suelo oceánico a más de 4,000 metros de profundidad.

Una conjunción de factores, entre ellos, un mayor interés por los problemas oceanográficos, el estudio sistemático de la geología marina, el avance tecnológico en el campo de la exploración y explotación del petróleo en el mar, el constante crecimiento de la demanda de metales por los países industriales, han contribuido, a partir de la segunda mitad de este siglo a incrementar la factibilidad técnica con miras hacia la explotación de nódulos.

### 3.2 DISTRIBUCION GEOLOGICA DE LOS NODULOS

La distribución geológica de los nódulos está relacionada a la fisiografía del fondo marino, además existe una estrecha correlación entre el contenido de níquel y cobre y la profundidad del agua en la cual se depositan los nódulos (James - 1968).



Las principales regiones fisiográficas submarinas, donde se depositan con mayor frecuencia los nódulos son las siguientes:

- La plataforma, el talud y el umbral (Rise) continental (margen continental).
- Las grandes cuencas oceánicas, que consisten de planicies abisales y montañas de poca elevación.
- Las fosas y las cordilleras adyacentes a ella.
- Las cordilleras meso-oceánicas y los levantamientos.
- Los volcanes y las montañas volcánicas.
- Las pequeñas cuencas oceánicas.

### 3.3 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS NODULOS

Los precipitados químicos de ferromanganeso en los fondos marinos se presentan en la forma de : granos, nódulos, placas, recubriendo rocas, impregnado en materiales porosos, reemplazando al relleno de corales y desechos orgánicos y en otras formas de menor importancia. Todas las formas anteriores podemos agruparlos en dos tipos de depósitos: Nódulares y costras o incrustaciones de ferromanganeso.

Hasta el presente, las incrustaciones, por dificultades técnicas relacionadas con la extracción, no son consideradas como recursos potenciales, en cambio, a los depósitos nodulares se consideran como gran reserva que tiene la humanidad con relación a los principales metales componentes: Níquel, cobre, cobalto y manganeso.

Los nódulos varían significativamente en su forma, composición, textura superficial y estructura interna de una zona a otra.

i. FORMA

Los nódulos presentan una variedad de formas físicas; tales como: esféricos, reniformes, elipsoidales, discoidales o polimórficos con superficies externas lisas o nudosas. Es posible que hayan factores, que modifican la forma de dichos nódulos.

ii. TAMAÑO.

Varían entre menos de 1 cm. y 25 cm., con un promedio de 5 cm., aunque existen de mayores tamaños pero raramente, una de las más grandes encontradas hasta ahora ha pesado 850 Kg., la densidad promedio de los nódulos es 2.5-gr/cm<sup>3</sup> (Jhon Mero, 1965).

iii. COLOR

Los nódulos generalmente presentan un color negro terroso, aunque varían a negro castaño, o castaño claro. De acuerdo a la relación porcentual de Mn/Fe, los nódulos pueden tener un color negro-azulado con alto porcentaje de manganeso y un color marrón rojizo con mayor contenido de fierro.

iv. DUREZA.

La dureza de los nódulos varía entre 1 y 4 en la escala de Mohs, una dureza promedio estaría cercana a tres (3). Los nódulos que contienen como cementante carbonato de calcio en cantidades mayores del 5 %, son relativamente duros, y los que contienen menores al 2 ó 3% son friables.

v. ESTRUCTURA.

Un corte transversal de los nódulos nos revela su estructura interna en capas concéntricas alrededor de su núcleo. Han sugerido que cada capa representa una unidad mineralógica. Dichas capas o anillos son visibles a simple vista.

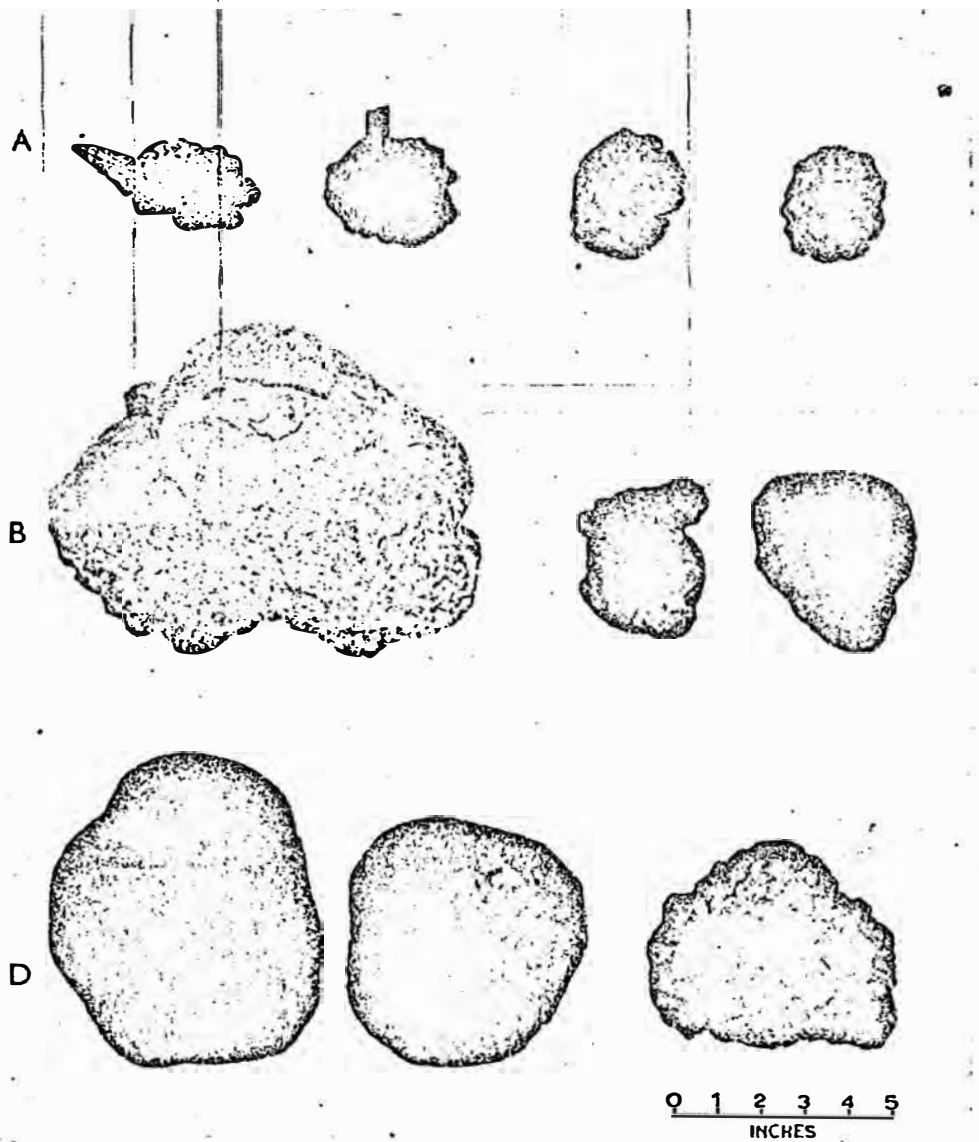


Fig. 4 Nódulos Polimetálicos. Nódulos del O. Pacífico Sur (arriba). Localización: A S  $16^{\circ}29'$  W  $146^{\circ}33'$ . Prof. 1270 m. B. S  $8^{\circ}30'$ , W  $85^{\circ}36'$  Prof. 4330 m. C. S  $9^{\circ}00'$ , W  $171^{\circ}28'$ ; Prof. - 5000m. D. S  $18^{\circ}55'$ , W  $146^{\circ}23'$ , Prof. 4460 m. E. S  $41^{\circ}59'$ , W  $101^{\circ}01'$ , Prof. - 4200 m. (Fuente : Mero, 1965).

Historia del desarrollo de Nódulos (derecha):  
 A. Exposición de basalto, B. Desintegración de rocas, C. Dispersión de granos por corrientes, D. Iniciación de acreción, E. adquisición de forma esférica e incremento de tamaño F. Terminación de acreción seguido por reposición de bentos.

Fuente: Mero, 1965 y Horn, Informe N° 8.

## Vi. NUCLEO

Como núcleo para la formación de los nódulos pueden servir las partículas o granos de carbonatos, fosfatos, arcillas o varias formas de sílice (Murray y Renard). Estos núcleos son seguidos en orden de abundancia por los dientes de los tiburones, hueso de los cetáceos y las esponjas silíceas y calcáreas. Muchas veces la forma del nódulo está en función de la del núcleo

## Vii. TEXTURA SUPERFICIAL.

Los nódulos de manganeso presentan varias clases de textura superficial según Werner Raab (1972). Dichas texturas son las siguientes:

- Smooth: (Uniforme) los nódulos presentan una textura superficial lisa con unas manchas negras lustrosas.
- Gritty: (Arenosa), la superficie del nódulo parece estar compuesta de arena y de partículas finas de otros materiales, las cuales están pocos cementadas o compactas.

Goose-bumps: (Trompazo de ganzo), es una textura caracterizada por innumerables micropliegues. Estos pueden ser considerados como granos individuales de la materia ferromanganeso, la cual está parcialmente

cementada a la superficie del nódulo.

- Pisolitic o Knobb (Pisolítico o Botroidal), los nódulos a menudo exhiben una banda caracterizada por una textura nudosa

### 3.4 COMPOSICION MINERALOGICA

Mineralógicamente los nódulos están compuestos principalmente por los minerales de manganeso y de fierro.

Los minerales más comunes de manganeso presentes en los nódulos, se muestra en el Cuadro N° 5. La determinación de dichos minerales ha sido efectuado por Sorem y Foster (1972)

#### CUADRO N° 5

#### LOS MINERALES PREDOMINANTES DE MANGANESO EN LOS NODULOS

| NOMBRES     | FORMULAS                                      |
|-------------|---|
| Holandita   | $(Ba, K, Pb, Na)_{1-2}Mn_8O_{16} \cdot nH_2O$ |
| Psilomelano | $(Ba, K, Mn, Co)_2 Mn_5 O_{10} \cdot nH_2O$   |
| Birnesita   | $(Ca, Na, Mn)_x Mn_7 O_{14} \cdot 3H_2O$      |
| Todorokita  | $(Na, Ca, Mn) Mn_3 O_7 \cdot nH_2O$           |

FUENTE: Bauman, A.J. Nature, Vol. 259-Febrero 5, 1976.

El fierro está presente en los nódulos en la forma de goethita  $FeO(OH)$ , hematita ( $Fe_2O_3$ ) y otros óxidos férricos hidratados (Bruns y Brown, 1972). Además se ha encontrado otros minerales, principalmente detríticos, tales como: cuarzo - feldespatos, olivino, piroxeno, zeolitas y arcillas con pequeñas cantidades de rutilo y barita o apatita.

### 3.5 GEOQUIMICA REGIONAL DE LOS NÓDULOS

La composición química de los nódulos varía ampliamente de una zona a otra o de un océano a otro.

Según los estudios realizados por Cronan (1972), el manganeso, el níquel y el cobre alcanzan su máxima concentración - en los depósitos que están al este de cada océano y decrecen hacia el oeste, pero cabe la posibilidad de hallar mayores concentraciones de Fe, Co, Ti, y Pb en los depósitos que están al oeste de cada Océano.

Entre los factores que influyen en la variabilidad de la composición química de los nódulos podemos citar los siguientes puntos:

- 1.- Mezclas variables con sedimentos terrígenos, vulcanogénicos, autígenos o materiales biogénicos (Tooms, et al. 1965; Cronan, 1972).
- 2.- Contactos químicos con diferentes cuerpos o materiales

y con el agua en el fondo del mar (Manheim y Pratt, 1975).

- 3.- La influencia local de la actividad hidrotermal (Croan y Tooms, 1969).
- 4.- La proximidad a las fuentes de origen de los metales existentes en los nódulos y su alimentación continua - tanto en solución como partículas en suspensión) en aguas profundas.
- 5.- Las condiciones ambientales de oxidación y la tasa de sedimentación (o la falta de la misma) de minerales de tríticos.
- 6.- La temperatura y el pH del agua.

A manera de ilustración de la variabilidad en la composición química de los nódulos en el Cuadro N° 6 se presenta el contenido metálico de nódulos de los Océanos Pacífico y Atlántico.



CUADRO N° 6

COMPOSICION QUIMICA DE LOS NODULOS (% en peso húmedo)

| ELEMENTOS                      | PACIFICIO | ATLANTICO | MINERALES DE Mn<br>DE BAJO GRADO. |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| Mn                             | 29.8      | 15.7      | 7.7                               |
| Fe                             | 4.8       | 15.5      | 17.6                              |
| Co                             | 0.2       | 0.41      | 0.03                              |
| Ni                             | 1.36      | 0.59      | 0.1                               |
| Cu                             | 1.2       | 0.14      | 0.1                               |
| Zn                             | 0.12      | 0.05      | --                                |
| Pb                             | 0.05      | 0.15      | < 0.03                            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.7       | 4.9       | 8.4                               |
| SiO <sub>2</sub>               | 13.0      | 2.9       | 31.8                              |
| Ca                             | 1.47      | 7.32      | 2.1                               |
| Mg                             | 1.7       | 1.7       | 1.7                               |
| Sr                             | 0.07      | 0.19      | 1.0                               |
| Ba                             | 0.61      | 0.52      | 0.3                               |
| K                              | 0.79      | 0.31      | < 1.0                             |
| Na                             | 2.6       | 2.3       | 0.2                               |
| P                              | 0.05      | 0.15      | 0.4                               |
| Ti                             | 0.44      | 0.34      | < 1.0                             |
| Mo                             | 0.05      | 0.05      | ---                               |
| V                              | 0.05      | 0.07      | < 0.1                             |

FUENTE: Metallgesellschaft Ag, Frankfurt am Main. Ed.

18 - 1975.

### 3.6 CLASIFICACION GENETICA DE LOS DEPOSITOS FERROMANGANESOS

Los nódulos de ferromanganeso, al igual que otros minerales, se presentan en zonas de sedimentación muy lenta y en ambientes de oxidación. Se cree, que los nódulos se forman y aumentan continuamente de tamaño por precipitación de elementos en solución, probablemente en forma coloidal y por un proceso de aglomeración de partículas. Se ha sugerido que el Océano está saturado de manganeso y hierro y el incremento de estos elementos por diversas fuentes origina la precipitación de óxidos hidratados en forma coloidal.

Las pequeñas partículas de minerales clásticos y detritos orgánicos que descienden en el agua actúan como centros de acreción extrayendo eficazmente manganeso y hierro y otros metales del agua de mar. Luego son atraídas por cualquier protuberancia, como fragmentos de roca, que actúan como buen conductor atrayendo las partículas coloidales con carga eléctrica. Por la acción de las corrientes del fondo que aportan nuevos coloides a los núcleos, los nódulos crecen capa por capa debido a un proceso de aglomeración de partículas. Los nódulos pueden alcanzar dimensiones considerables en lugares en que la tasa de deposición de sedimentos es más lenta que la tasa de formación de nódulos.

El problema relacionado al origen de los nódulos, aún no está solucionado, muchas universidades e instituciones -

están avocados en tal investigación con el fin de dar una explicación global y científica al respecto.

Bonatti, Kraemer y Rydell (1972), han realizado una clasificación genética de los depósitos ferromanganesos, el criterio principal para la clasificación ha sido la fuente de Fe y Mn. Los depósitos considerados por ellos son:

#### A) DEPOSITOS HIDROGENADOS.

Son aquellos formados por la precipitación lenta de Mn y Fe del agua "normal" de mar en ambientes de oxidación.

Broen (1971) y Burns y Brown (1972) han dilucidado algunos de los procesos que ocurren durante la precipitación. Mediante el análisis de Electrón provee de varios nódulos, sugieren que la adsorción de la fase hidratada de  $Fe^{+3}$  (probablemente amorfo  $Fe(OH)_3$ ) a un núcleo sólido es un pre-requisito para la precipitación de los óxidos de manganeso. Es decir, el  $Mn^{+2}$  es absorbido por el óxido de hierro hidratado, el  $Fe^{+3}$  hidratado actúa como catalizador para la posterior precipitación de  $Mn^{+2}$ .

Los depósitos se caracterizan por tener ratios de Mn/Fe que varía de 0.5 a 5 % y relativamente por la alta concentración de metales tales como: Ni, Co y Cu. Estos

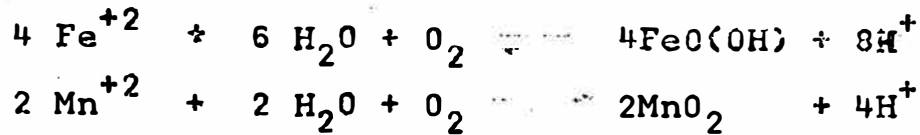
depósitos están ampliamente distribuidas en planicies abisales , su crecimiento es del orden de 1mm/1000 años (Bender et al., 1966). Como ejemplos típicos han señalado a los depósitos de la meseta Blake y la región de Bahamas.

## B) DEPOSITOS HIDROTERMALES.

Estos depósitos son formados por la precipitación de las soluciones hidrotermales submarinas procedentes de áreas de alto flujo calorífico, frecuentemente están asociados con el vulcanismo, a lo largo de las montañas oceánicas y los umbrales (Rise).

Los depósitos se caracterizan por tener un ratio de Fe/Mn variable, además tienen bajas concentraciones de cobre, níquel y cobalto (Cuadro N° 7); relativamente alta concentración de Si, P y B; y un alto ratio de Si/Al. Este tipo de depósitos han sido encontrados a lo largo de la dorsal del Pacífico Oriental (Slornyakova, 1974; Bonatti y Joensuu, 1966), y en grietas existentes en el fondo del Mar Rojo (Miller, et al, 1966).

Las fluidos termales (principalmente H<sub>2</sub>O, en forma de líquido o vapor ) que brotan del piso a través de las fisuras conteniendo Fe<sup>+2</sup> y Mn<sup>+2</sup> son oxidados gradualmente por el oxígeno del agua de mar. Las posibles ecuaciones de las reacciones son:



C) DEPOSITOS HALMIROLITICOS.

En este tipo de yacimientos el manganeso es suministrada parcialmente por el intemperismo submarino de los escombros basálticos, en algunas áreas del Pacífico predomina la sedimentación por el proceso de halmirolisis, por medio del cual, los escombros de vidrio basáltico -- reaccionan lentamente con el agua de mar en el fondo.

El producto final de éstas reacciones es la formación de zeolita, philipsita y de ferro-esmectitas (Bonotti, 1963). Durante la primeras etapas de éstas reacciones -- las cuales ya pueden haberse iniciado a altas temperaturas durante la erupción submarina, hay evidencia de que el Mn existente en los vidrios basálticos sea lixiado, oxidado y precipitado como  $\text{MnO}_2$ .

D) DEPOSITOS DIAGENETICOS

Estos depósitos son formados bajo las condiciones de oxidación- reducción en presencia de sedimentos ricos en materia orgánica. El manganeso es reactivado durante la diagénesis y reprecipitado cerca a la interfase agua-sedimento.

Los depositos diagenéticos son localizados en regiones

## FUENTE CONTINENTAL DE MINERALES

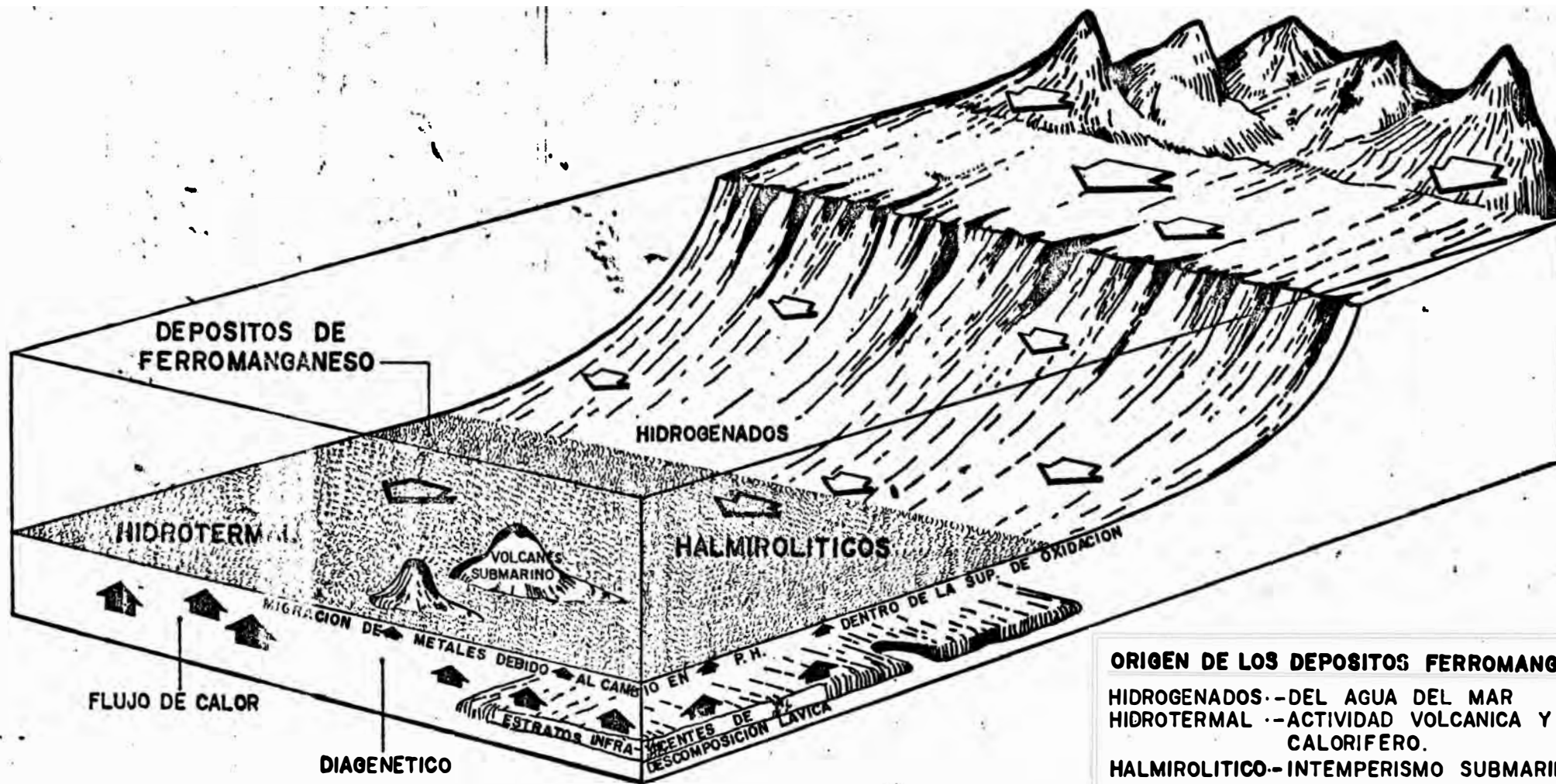


FIG. 4A --El diagrama ilustra las 4 teorías del origen de depósitos de ferromanganesos según BONATTI.

### ORIGEN DE LOS DEPOSITOS FERROMANGANESOS

HIDROGENADOS --DEL AGUA DEL MAR  
 HIDROTERMAL --ACTIVIDAD VOLCANICA Y FLUJO CALORIFERO.

HALMIROLITICO--INTEMPERISMO SUBMARINO DE ESCOMBROS BASALTICOS.

DIAGENETICO --REMOBILIZACION DE Mn EN LA COLUMNA SEDIMENTARIA Y LA PRECIPITACION EN SUPERFICIE.

(piso del mar) con alta tasa de acumulación en materia orgánica, tales como en regiones hemipelágicas, en zonas de alta productividad biológica y en mares cerrados.

La composición química de éstos depósitos se caracterizan por la alta tasa de Mn/Fe y Mn/metales menores (Cuadro N°7).

No cabe duda, que existan depósitos originadas por la combinación de los procesos anteriores.

CUADRO N° 7

COMPOSICION QUIMICA PARCIAL DE TRES TIPOS DE DEPOSITOS REPRESENTATIVOS

| Ley<br>% | HIDROGENADOS |      |      | HIDROTERMALES |        |        | DIAGENETICOS |       |      |
|----------|--------------|------|------|---------------|--------|--------|--------------|-------|------|
|          | (1)          | (2)  | (3)  | (4)           | (5)    | (6)    | (7)          | (8)   | (9)  |
| Fe       | 15.5         | 17.3 | 12.7 | 35.0          | 28.0   | 31.1   | 3.99         | 4.6   | 0.6  |
| Mn       | 15.7         | 18.6 | 15.5 | 0.6           | 9.2    | 0.58   | 30.70        | 40.5  | 37.0 |
| Si       | 1.35         | 3.55 | 5.42 | 11.6          | 7.9    | 5.8    | 6.3          | --    | 0.40 |
| Al       | 2.59         | 0.69 | 2.01 | 1.2           | 0.4    | 0.5    | 2.8          | --    | 1.20 |
| Ni       | 0.59         | 0.32 | 0.33 | 0.0005        | 0.0001 | 0.0009 | 0.007        | 0.047 | 0.05 |
| Co       | 0.41         | 0.44 | 0.26 | 0.0005        | 0.0015 | 0.003  | 0.011        | 0.017 | 0.09 |
| Cu       | 0.14         | 0.11 | 0.16 | 0.003         | 0.0160 | 0.006  | 0.002        | 0.011 | 0.01 |

FUENTE: Horn, (1972) "Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor" pp. 151.

- 1) = Meseta Blake
- (2) = Pacífico Ecuatorial
- (3) Pacífico sur
- (4) = Thera (Bonatti et al, 1972 b)
- (5) = Stromboli (Bonatti et al, 1972 b).
- (6) = Monte Amph (Dorsal del Pacífico Oriental)
- (7) Loch fyne (Calvert y Price, 1970)
- (8) = Jervis Inlet
- (9) = Nódulos del Japón.

### 3.7 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS DEPOSITOS NODULARES POLIMETALICOS .

Nuestro conocimiento global, referente a la distribución geográfica de los depósitos nodulares y costras de manganeso en los océanos es fundamentalmente preliminar; ello, está en base a las muestras tomadas en los cruces realizados por las instituciones, consorcios y universidades de diferentes países industriales. Evidentemente, se necesita hacer muchos trabajos de exploración para esbozar las modalidades de la distribución y las concentraciones de los nódulos con mayor exactitud. El resultado de las investigaciones actuales sobre el origen y los factores que influyen para la deposición de nódulos, servirán de guía e indicarán las zonas más favorables para las futuras prospecciones mineras.



- OCEANOS ATLANTICO E INDICO

El resultado de los intensos muestreos realizados en esta región, indican que la distribución de depósitos ferromanganesos, como posibles recursos prospectables es bastante limitada, tal como se puede apreciar en la Fig. 5. Ello se debe a que en estos océanos hay una alta tasa de deposición de sedimentos. Como consecuencia de la concurrencia de muchos afluyentes cargados de sedimentos continentales y de la presencia de grandes cadenas montañosas submarinas (erosión por corrientes submarinas)

- OCEANO PACIFICO

El Océano Pacífico Norte es la cuenca sedimentaria más extensa del mundo. Sin embargo, es la zona que recibe menos sedimento provenientes del continente. Según Horn (1969 - 1971) los escombros continentales son atrapados en la periferie de la cuenca. Por otro lado, en esta cuenca no hay sistema de montañas meso-océánicas - que pueda servir como fuente de sedimentos. Por lo tanto, la mayor parte de la cuenca se caracteriza por tener una sedimentación muy lenta. Como consecuencia de ello, es la zona de una amplia distribución y de intenso desarrollo de depósitos ferromanganesos. Su distribución está en función de la baja tasa de deposición de arcilla roja (menor que de 1 a 3 mm/1000 años, Opdy Ke

y Foster, 1970) y de los fangos silíceos (3.5 mm/1,000 años, Hays et al, 1969). Como se observa en la Fig. 5 el Pacífico Norte posee los depósitos más grandes del mundo y de mayor concentración.

El Pacífico Sur presenta características morfológicas - diferentes al de Norte. Este posee montañas meso-oceánicas, fosas marinas, etc. Por otro lado, es la zona - que ha recibido la menor atención e interés por parte de los científicos de los países que poseen la tecnología de investigación marina. Los pocos estudios que han realizado, nos muestran cifras bastante alentadoras y se espera que dentro de pocos años ya se tenga una evaluación completa de esta zona.

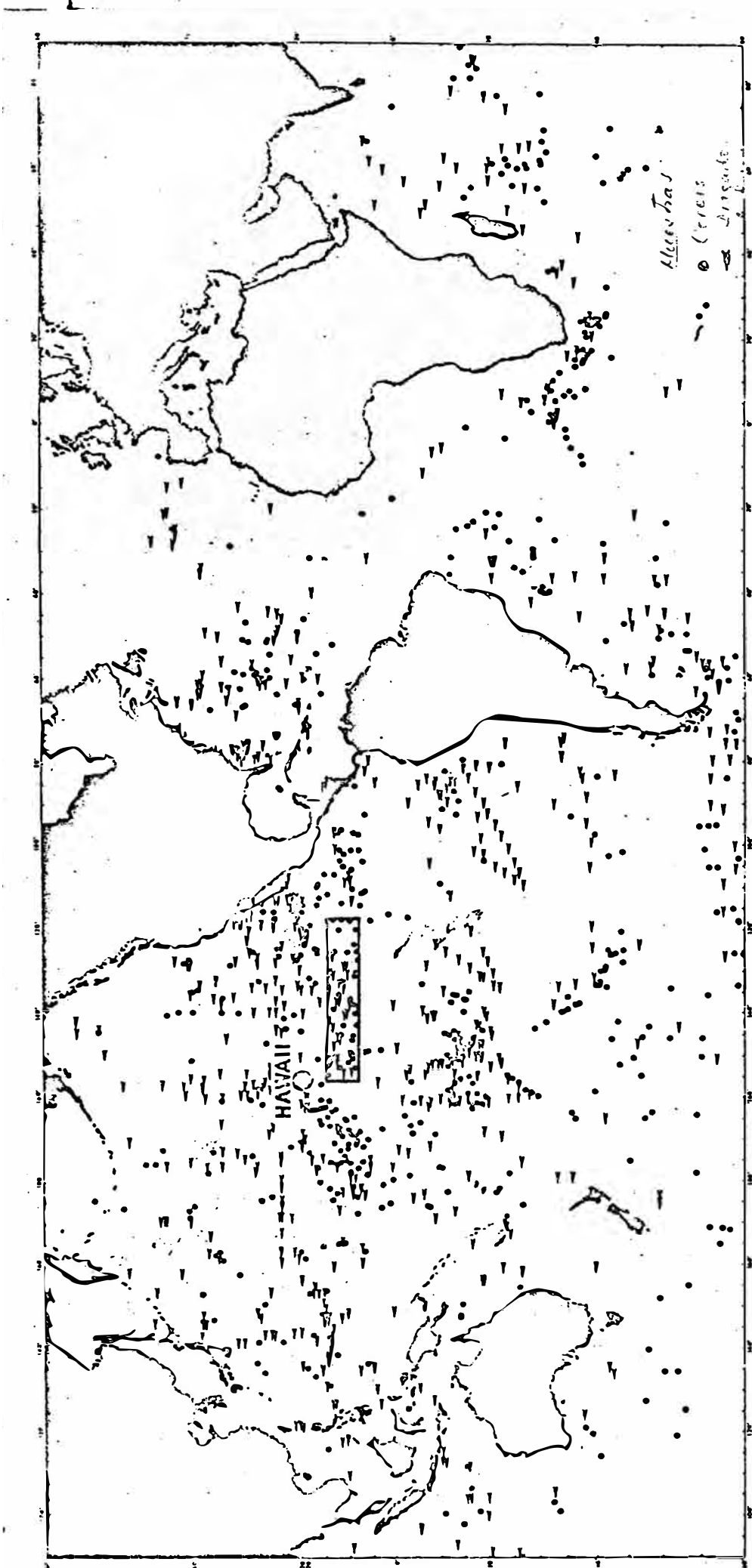


Fig. 5, Distribución Mundial de los depósitos ferrromanganesos. Area en rectángulo, zona económicamente explotable  
Fuente: D. Hohn, 1973 Tech. Report N° 8.

## CAPITULO IV

### METODOS DE EXPLORACION Y EVALUACION DE YACIMIENTOS MINERALES MARINOS

#### 4.1 GENERALIDADES

La exploración para buscar minerales en el mar y la evaluación de los resultados implican una serie de actividades - análogas a las que se realizan en continente; es así, que mediante una prospección se determinarán las regiones favorables para ejecutar programas amplios de exploración: reconocimiento topográfico, geológico, geofísico, etc. y los datos logrados conducirán a un estudio más detallado para localizar yacimientos minerales que puedan explotarse económicamente. Sin embargo, al realizar tales reconocimientos en el mar, particularmente debajo de él y lejos de las costas, se plantean una serie de problemas adicionales y en este capítulo examinaremos las diversas técnicas empleadas desde ese punto de vista.

La exploración para buscar minerales debajo del agua fue iniciada por la industria del petróleo, que ha conseguido adaptar las técnicas geofísicas y de perforación que se emplean en continente a los trabajos frente a las costas, como los que se están efectuando en la plataforma y el talud continental de muchas regiones del mundo.

También cabe señalar, que la búsqueda de minerales y la evaluación de yacimientos en el mar tienen bases comunes - con otras disciplinas científicas, por ejemplo, la prospección ha hecho uso directo de la mayoría de los instrumentos y técnicas de muestreo de la oceanografía.

Es evidente que la industria del petróleo, las nuevas técnicas de ingeniería oceánica y los programas oficiales de investigación emprendidos por los consorcios y los países industrializados continuarán desempeñando un importante papel en el progreso de la exploración de minerales en el mar. Es de esperar que los resultados de estas actividades beneficien a todos los países que buscan recursos en el medio marino.

#### 4.2 BARCOS DE INVESTIGACION

El elemento y/o requisito indispensable para cualquier trabajo relacionado con la prospección y la exploración en el mar, es el barco de investigación, mediante el cual es posible realizar con seguridad y eficacia las diversas clases de levantamientos geológicos y geofísicos. Tales barcos no solo deben cumplir las condiciones usuales hechas por los barcos modernos, sino también deben satisfacer las siguientes requerimientos:

- Gran radio de acción y la capacidad de los compartimien -

tos debe estar en relación con el tamaño de los barcos (cargueros de petróleo, agua, mercaderías, etc.) permitiendo así quedarse en el mar por un mínimo de un mes.

- Alta velocidad para cubrir rápidamente la distancia entre el puerto base y la zona de operación, las cuales generalmente exceden las mil millas. Este factor es decisivo en la estimación de la utilidad de los barcos de investigación.
- Comportamiento satisfactorio en el mar (balanceo), una buena capacidad de maniobrabilidad tanto a baja como a alta velocidad, durante el trabajo estacionario.
- Cubierta grande y limpia, para el almacenaje y el manejo frecuente de los equipos (Fig. 6).

Disponibilidad de una instalación de winches especiales para cables y cuerdas, así como también para el izaje (grúas móviles y fijas), las cuales permiten el fácil descenso y elevamiento de los equipos de muestreo.

- Sistemas de navegación, el cual permite el continuo posicionamiento del barco con una precisión y/o exactitud. El sistema de navegación satélite, radio navegación, boyas de navegación y el método Doppler sonar (fig. 7).
- Posición de los instrumentos detectores, los cuales faci-

tan la determinación de la distancia y la posición de los equipos por debajo del agua en relación al barco ( transponders, silbador, hidrofono, etc.) Fig 7 (20), (21) y (22).

- Equipos para mediciones geofísicas, tales como las ecosondas de precisión, instrumentos sísmicos y sondas de mediciones hidrográficas.
- Equipos de mapeo óptico (cámaras fotográficas, filmadoras y televisores submarinos.
- Equipos muestreadores (muestreadores de agua, de sedimentos, de nódulos, etc.) Fig. 7 (17) (18) y (19).
- Laboratorios con instalaciones adecuadas (instrumentos analíticos.
- Posibilidad de registrar y procesar los datos en computadoras, lo cual permita la inmediata evaluación del trabajo realizado.

Llevar embarcaciones pequeñas capaces de conducir equipos científicos, para ejecutar trabajos cerca a la orilla y/o fuera del barco.

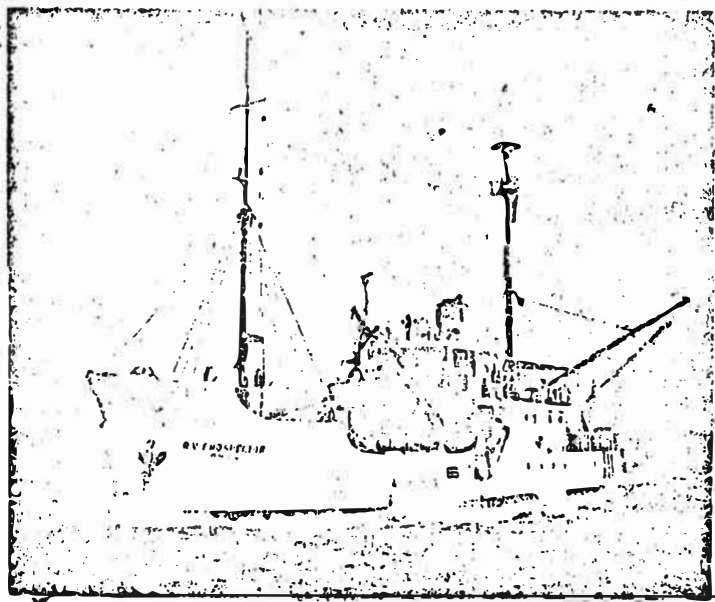
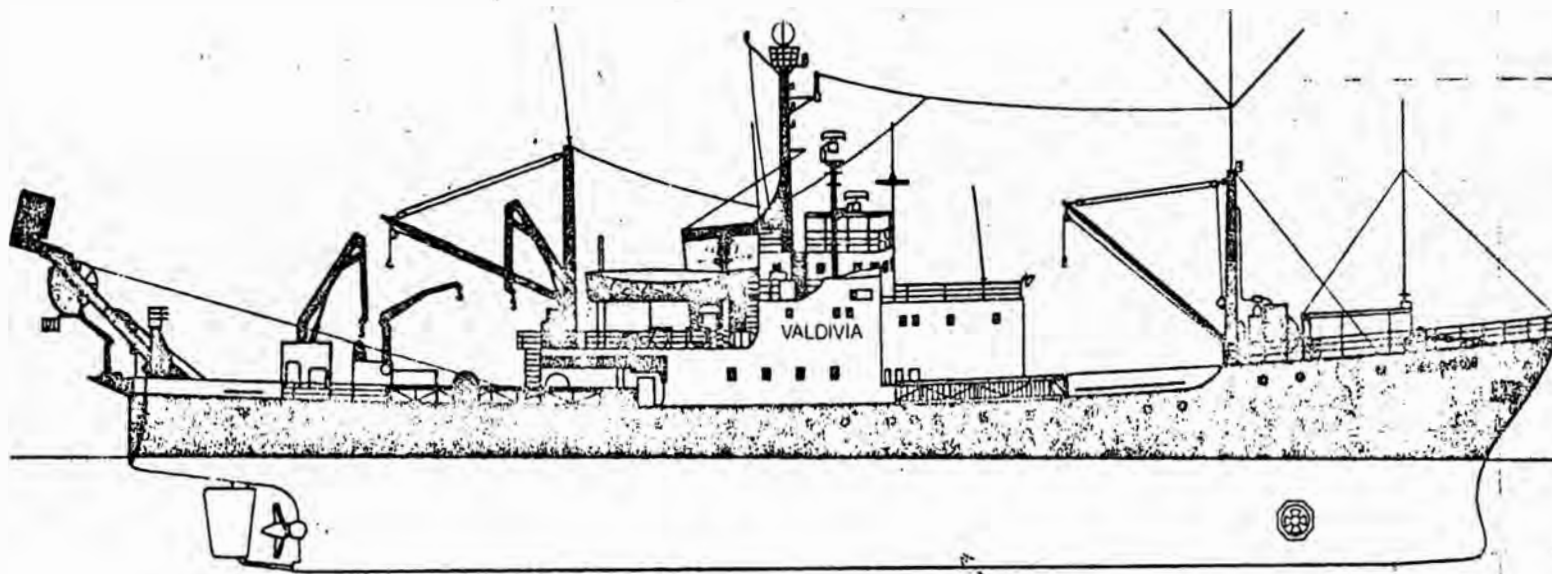
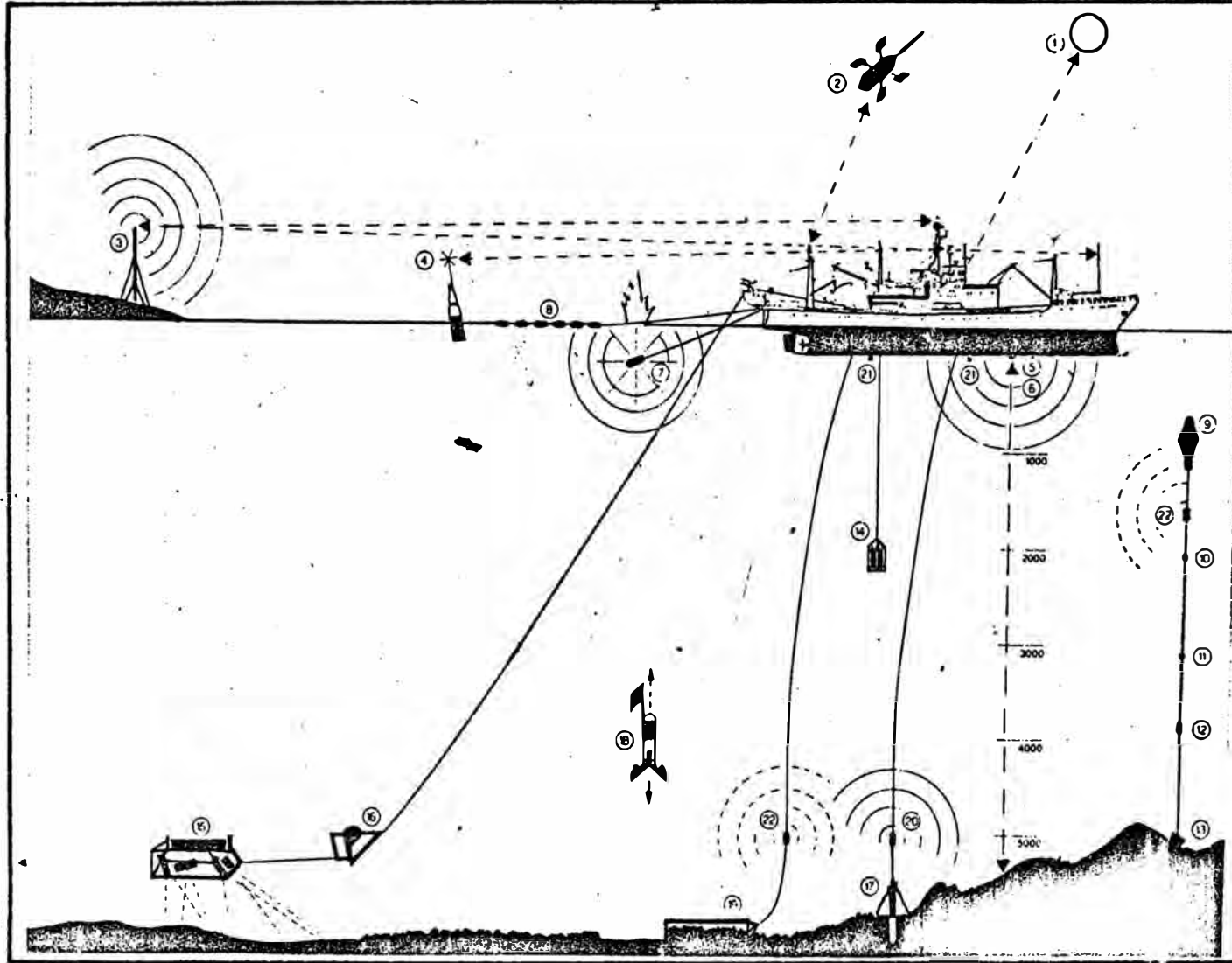


Fig. 6, Barcos de Investigación. VALDIVIA el primer barco de investigación alemán, trabaja desde 1972 en la exploración de recursos minerales marinos. R/V PROSPECTOR, trabaja en los levantamientos oceanográficos.



# SISTEMAS USADOS EN LA EXPLORACION DE MINERALES EN LOS FONDOS MARINOS



## NAVIGACION

- ① Estrellas
- ② Satélites
- ③ Radio Navegación
- ④ Boyas de Navegación

## BATIMETRIA

- ⑤ Sonda de haz angosto y Ecógrafo de Sedimento,
- ⑥ Diversos Sistemas de Registro

## REFLEXION SISMICA

- ⑦ Pistola Neumática
- ⑧ Sonda con Hidrófonos

## LEVANTAMIENTO OCEANOGRAFICO

- ⑨ Red medidora submarina con Boya localizable
- ⑩ Correntómetro
- ⑪ Termómetro
- ⑫ Medidor de la Presión Hidráulica
- ⑬ Ancla de corte
- ⑭ Batisonda,
- Mediciones constantes de Temperatura, Salinidad
- Velocidad de Sonido, Presión

## ESTUDIO DE DEPOSITOS MINERALES

- ⑮ Sonda de inmersión profunda con cámara de TV, cámara fotográfica y luces
- ⑯ Plataforma Estabilizadora
- ⑰ Piston Corer para muestreo de Sedimentos con nódulos
- ⑱ Muestreador de caído libre
- ⑲ Drago de arrastre: Muestreador de Nódulos para ensayos metalúrgicos.

## LOCALIZACION DE LOS INDICADORES DE ESTUDIOS

- ⑳ Silbador

#### 4.3 DISCIPLINAS CONEXAS EN LA EXPLORACION DE LOS NODULOS

En el estudio de localización, delineación, exploración y - evaluación de un yacimiento en el fondo marino, intervienen una serie de disciplinas científicas, tales como: La Geología, Geotecnia, Oceanografía, Meteorología y la Ecología.

Las técnicas y los métodos empleados por estas disciplinas, previamente han sido adaptadas a la tecnología marina. A continuación daremos a conocer los diferentes parámetros, que deben tomarse en cuenta durante el desarrollo del programa de exploración:

##### - Geología:

En un programa de exploración del mar por minerales, el dato básico de mayor requerimiento es el conocimiento de las características geológicas del yacimiento y su medio ambiente. Para lo cual es necesario conocer las características topográficas del fondo, la forma, el tipo y la ~~calidad~~ de los depósitos; luego evaluar los métodos y proyectar los costos para su explotación y procesamiento en función a las características obtenidas del depósito en estudio.

Para un estudio geológico de? suelo, sedimentos y nódulos será necesario tomar fotografías del piso, extraer muestras y testigos (cores).

- Geotecnia

El medio ambiente de la minería oceánica consiste básicamente en la interfase atmósfera-agua, la columna de agua, el suelo y el subsuelo del fondo oceánico. Uno de los requerimientos en el desarrollo tecnológico minero es la caracterización del medio ambiente y el conocimiento, de su interacción con los sistemas de minado, dependiendo del tipo de depósito (disuelto, consolidado e inconsolidado) y su localización geográfica.

Durante la etapa de la exploración, es necesario hacer un monitoreo continuo de la operación de dragado, para los propósitos de control y evaluación de los equipos y los procedimientos operacionales. La importancia de las características del subfondo, es esencial para la evaluación de otros equipos auxiliares.

Para el transporte, la molienda y la distribución de desechos se requiere de técnicas adecuadas, además será necesario conocer el tamaño de los granos, las características de los sedimentos, la consistencia y su grado de plasticidad en el estado disturbado.

Los problemas relacionados con la estabilidad de taludes del fondo, también necesitará soluciones para evitar la contaminación de las áreas minadas o el entierro de los equipos. El empleo de equipos en el fondo requerirá el -

conocimiento de la capacidad de rodamiento del suelo, el esfuerzo cortante y la compresibilidad de los sedimentos, y de las características de la velocidad del sonido para la interpretación de los perfiles sísmicos del subfondo y de los sedimentos.

#### - Oceanografía

La oceanografía es la ciencia del mar que emplea los principios de física, química, meteorología, biología y geología.

En la exploración del mar por minerales, la oceanografía interviene desde el punto de vista física o dinámica y química. Mediante la ayuda de estas ciencias se realiza el estudio de la columna de agua, la cual tiene importancia para la exploración, la evaluación y para el minado.

Los datos que se deben determinar o medir son: la presión, la temperatura, la salinidad, la altura de la columna, el sentido de las corrientes y su velocidad. Los parámetros anteriores son de suma importancia para el diseño de los equipos que han <sup>de</sup> operar en esta zona, tales como tuberías, cables, cangilones, bombas, etc. Además la composición de la columna de agua debe ser investigada por el efecto de la velocidad del sonido, la cual tiene una relación importante sobre la lectura batimétrica y la navegación acústica.

- Meteorología:

Durante la etapa de exploración es necesario hacer un estudio del medio ambiente, para evaluar y planificar las horas de trabajo, generalmente en áreas adversamente afectadas por las condiciones climatológicas.

En el programa de estudio meteorológico debe considerarse los siguientes puntos:

- La dirección del viento y su velocidad  
La precipitación fluvial, su duración e intensidad
- La cobertura de nubes y la visibilidad  
Las condiciones de la superficie del mar-temperatura, corrientes, olas y marejadas.  
Las tormentas o tempestades - duración, intensidad, trayecto y los efectos locales.
- Presión barométrica
- Batitermografía
- Cualquier otro dato disponible pertinente a la operación del barco.

- Ecología:

La colección de datos sobre el medio de vida en los fondos marinos y el conocimiento de cambio del medio ambiente, es una tarea compleja e importante en la investigación marina. El requerimiento básico para la evaluación

de la influencia de la minería con respecto a otras actividades, es el conocimiento de la existencia de vida en el agua y en el fondo oceánico.

Los cambios naturales deben ser registrados y los efectos del cambio artificial predecido. Los datos ecológicos en los fondos son generalmente desconocidos, para superar estas deficiencias están desarrollando nuevas técnicas, - mediante la cual se podrá controlar los cambios ecológicos producidos u originados durante las fases de exploración explotación y procesamiento de nódulos.

#### 4.4 FASES EN EL PROGRAMA DE EXPLORACION DE NODULOS

El programa de prospección y exploración de minerales y/o nódulos en el mar, tentativamente podemos separar en 4 fases

- Fase I: Localización de depósitos
- Fase II: Delimitación del área localizada
- Fase III: Estudio detallado del área delimitada
- Fase IV: Evaluación del depósito.

La secuencia de las fases del programa de exploración, podemos visualizar en la Fig. 9. Ella ilustra esquemáticamente las tres primeras fases:

A) Prospección a malla gruesa: Con el objeto de localizar depósitos de nódulos y determinar su extensión.

B) Prospección semidetallada o a malla más cerrada: con la finalidad de delimitar el potencial de los recursos nodulares con posibilidades de explotarla económicamente.

C) Exploración detallada: consiste en estudios de investigación detallada del área delimitada. El resultado de ello servirá para la evaluación del depósito.

La última fase, es con el objeto de determinar y conocer la naturaleza y la forma del yacimiento, concentración, contenido y el potencial de reservas de los metales útiles, con la finalidad de establecer la posibilidad de explotar el yacimiento.

Si nos permitimos a hacer, una comparación de los programas de búsqueda de minerales en continente y en el mar tendríamos que: El cateo correspondería a la Fase I, la prospección a la Fase II, la exploración a la Fase III, y la última Fase son coincidentes en ambos programas. Pero sabemos, que los programas de prospección y exploración no tienen un límite fijo de separación, muchas veces ambas marchan paralelamente, debido a ello, las delimitaciones no son muy rígidas.

En el desarrollo de las fases, intervienen una serie de técnicas y métodos ya conocidos y empleados en continente, pero previamente, adaptadas a la tecnología marina, más adelante se desarrolla dichos métodos.

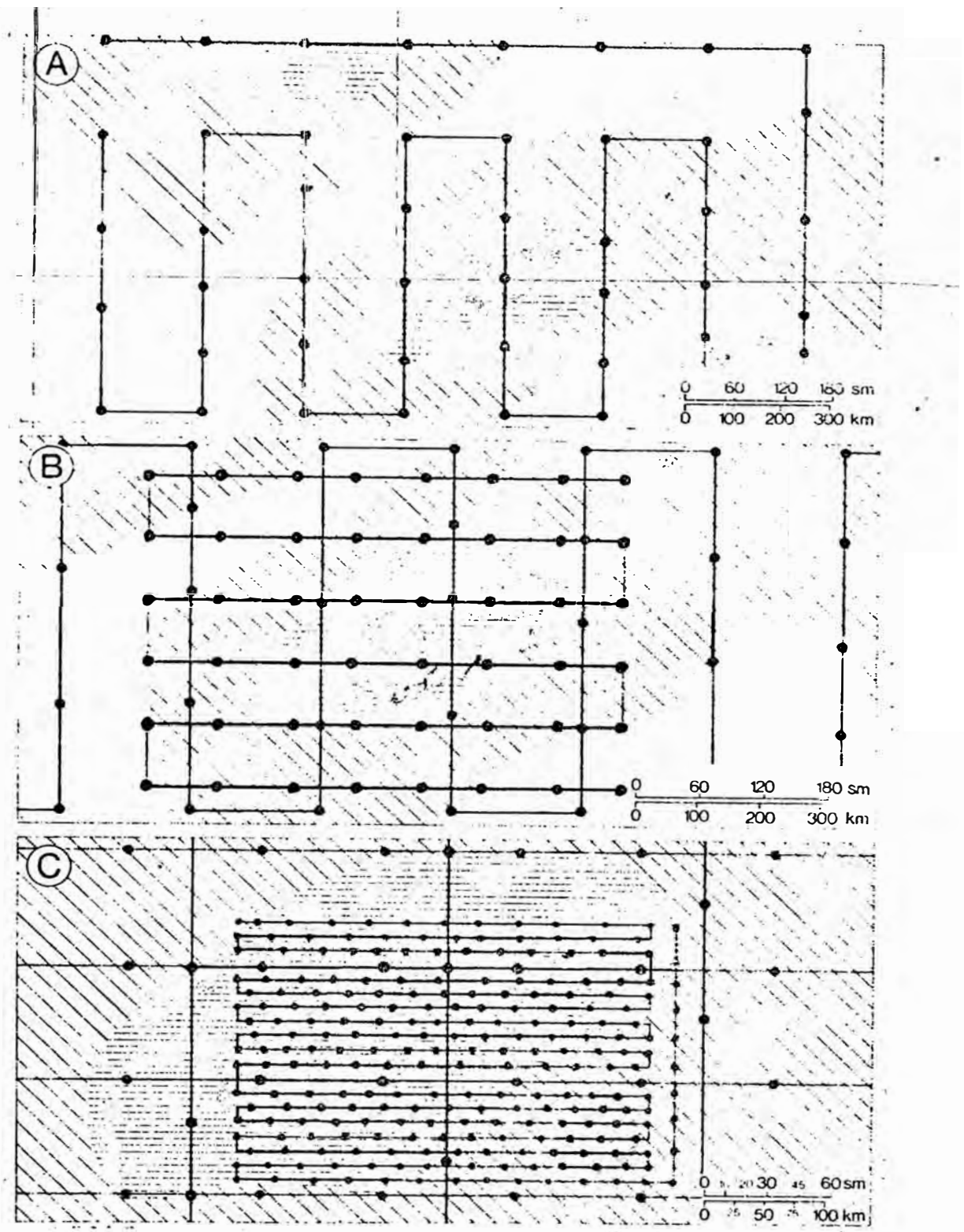





Fig. 9 Fases en el Programa de Exploracion.  
Fuente: Metallgesellschaft Ed. 18-1975.

- Red de Malla con localizaciones de muestra
-  Concentración 5 - 10 Kg/m<sup>2</sup>
-  Concentración 10 -15 Kg/m<sup>2</sup>
-  Concentración > 15 Kg/m<sup>2</sup>



#### 4.5 METODOS DE PROSPECCION

En el presente trabajo se ha considerado los siguientes métodos de prospección: Geofísica, Geológica, Geoquímica y - la prospección por sensores remotos.

##### 4.5.1 PROSPECCION GEOFISICA:

El método geofísico, es la técnica que se ha adaptado mejor a las investigaciones submarinas debido a que la tecnología en este campo ha tenido un gran avance en las últimas décadas. Los métodos de geofísica marina se emplea ampliamente para establecer la configuración estructural del subsuelo y para señalar las anomalías geofísicas con que pueden estar asociado los yacimientos minerales.

##### - Batimetría:

Uno de los objetivos de la investigación de los fondos marinos, es el levantamiento topográfico, ello se consigue mediante la aplicación de la batimetría y el empleo ecosondas de precisión (Echo-sounders).

La ecosonda emite impulsos breves de señales acústicos de alta frecuencia (10. a 20 Kcs} desde una fuente montada bajo el casco del barco. Al llegar al fondo el impulso sonoro es en parte absorbido y en par-

te reflejado hacia la superficie del mar. Al entrar de nuevo en la fuente el impulso reflejado se amplifica y aparece en un registrador como un perfil gráfico (ecograma) de la topografía del fondo marino (Fig. 10).

La interpretación de las características del ecograma que se obtiene de los registradores acústicos, contribuyen a determinar y a establecer la naturaleza del fondo marino. Por regla general un fondo rocoso produce un trazo áspero en el ecograma, mientras que los fondos de arena y lodo se reflejan en una línea suave. Las profundidades obtenidas mediante el ecograma sirven para la confección de cartas batimétricas (Fig. 11).

Las investigaciones batimétricas de los fondos marinos representa el primer paso en todo trabajo de prospección y exploración. Ellos son decisivos para la selección de zonas de investigación detallada en la fase de exploración.

#### - MEDICIONES SISMICAS EN EL MAR:

Entre las mediciones sísmicas en el mar se puede diferenciar dos métodos: Primero, el método sísmico continuo o de sondeos acústicos y segundo, el método sísmico discontinuo o de reflexión o re

fracción.

El primer método, consiste en el levantamiento de los perfiles sísmicos del subfondo con el objeto de investigar su configuración estructural (Fig.- 12).

El equipo se compone de tres elementos principales: Una fuente de energía acústica, que consiste generalmente en un transductor o pistola neumática (airgun), un receptor acústico (hidrófonos o geófonos) remolcados en el agua (Fig. 7 (7) y (21)), y de un sistema amplificador y registrador. Las señales reflejadas son recibidas, amplificadas y registradas gráficamente como un perfil continuo que indica el espesor, la configuración y la estructura interna de las capas no consolidadas de sedimentos, así como las estructuras de roca subyacentes, tales como fallas, pliegues, cúpulas de sal, cauces de arroyos enterrados y otras características.

El segundo método, levantamientos sísmicos por refracción y reflexión, requieren el empleo de explosivos para la generación de ondas de choque y una serie de detectores sensibles a la presión o a la velocidad (hidrófonos o geófonos) situadas a cier

ta distancia de la fuente de ondas.

El método de refracción se basa en la refracción de la onda de choque en la superficie de contacto entre dos estratos rocosos con distintas velocidades de propagación. Este método suele proporcionar las características geológicas generales.

Los levantamientos por reflexión, como su nombre lo indica, aprovechan la reflexión de las ondas - son registradas en cintas magnéticas para su posterior digitalización e interpretación.

#### - OTROS METODOS GEOFISICOS:

Entre otros métodos de geofísica marina tenemos el magnetométrico y el gravimétrico..

Los levantamientos magnetométricos revelan principales formaciones rocosas, las fallas y otras características estructurales del fondo del mar. También pueden indicar la existencia de minerales magnéticos o de vetas intrusas en la roca subyacente.

Los datos gravimétricos son útiles para reconocimientos y estudios geológicos regionales. Los datos de ambos métodos son interpretados aplicando-

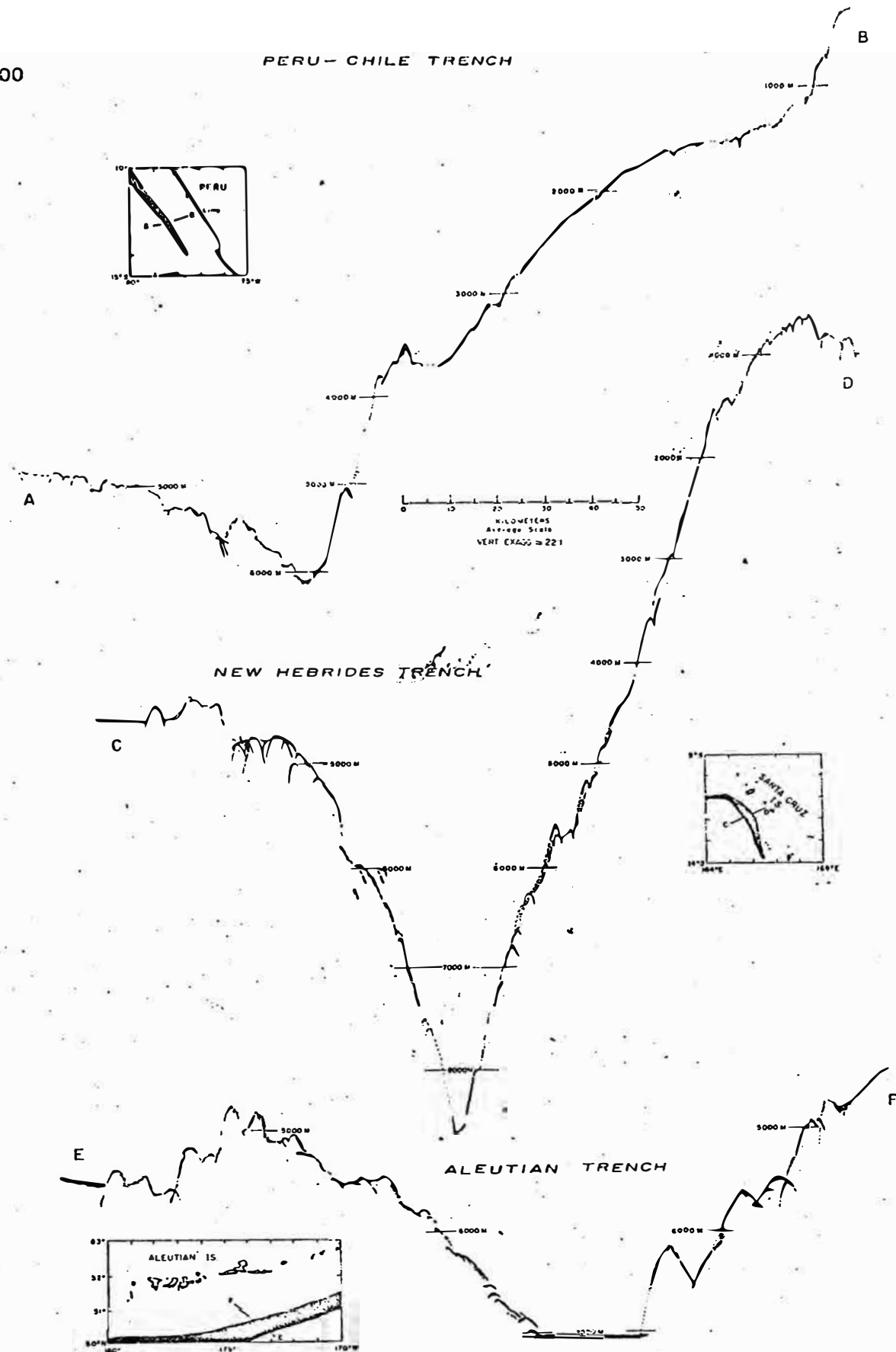


Fig. 10, Ecograma (Perfil del Fondo Marino).  
Fuente: Menard, pp. 100

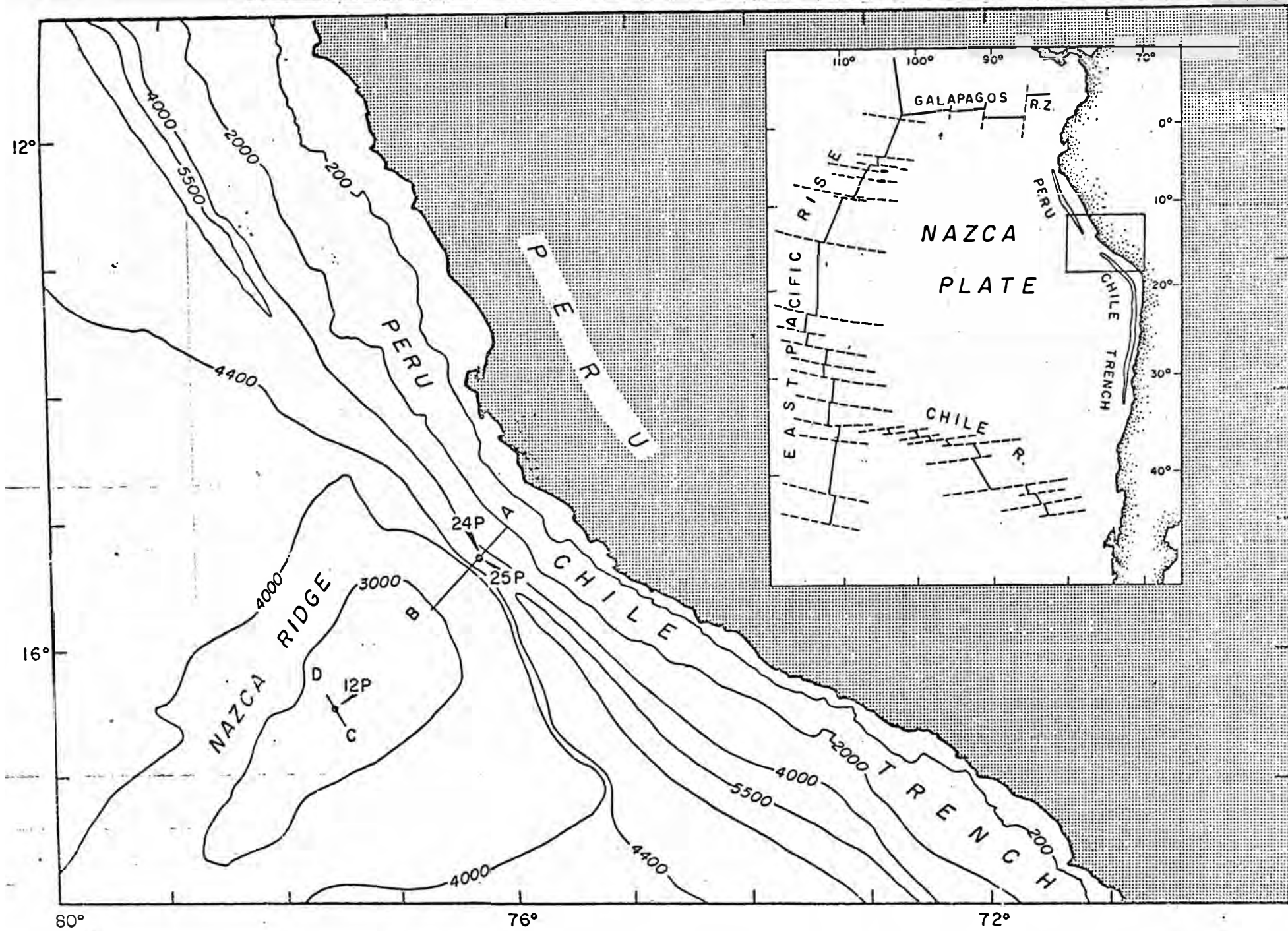


Fig. 11 Carta Batimétrica Fuente: Rosato 1974.

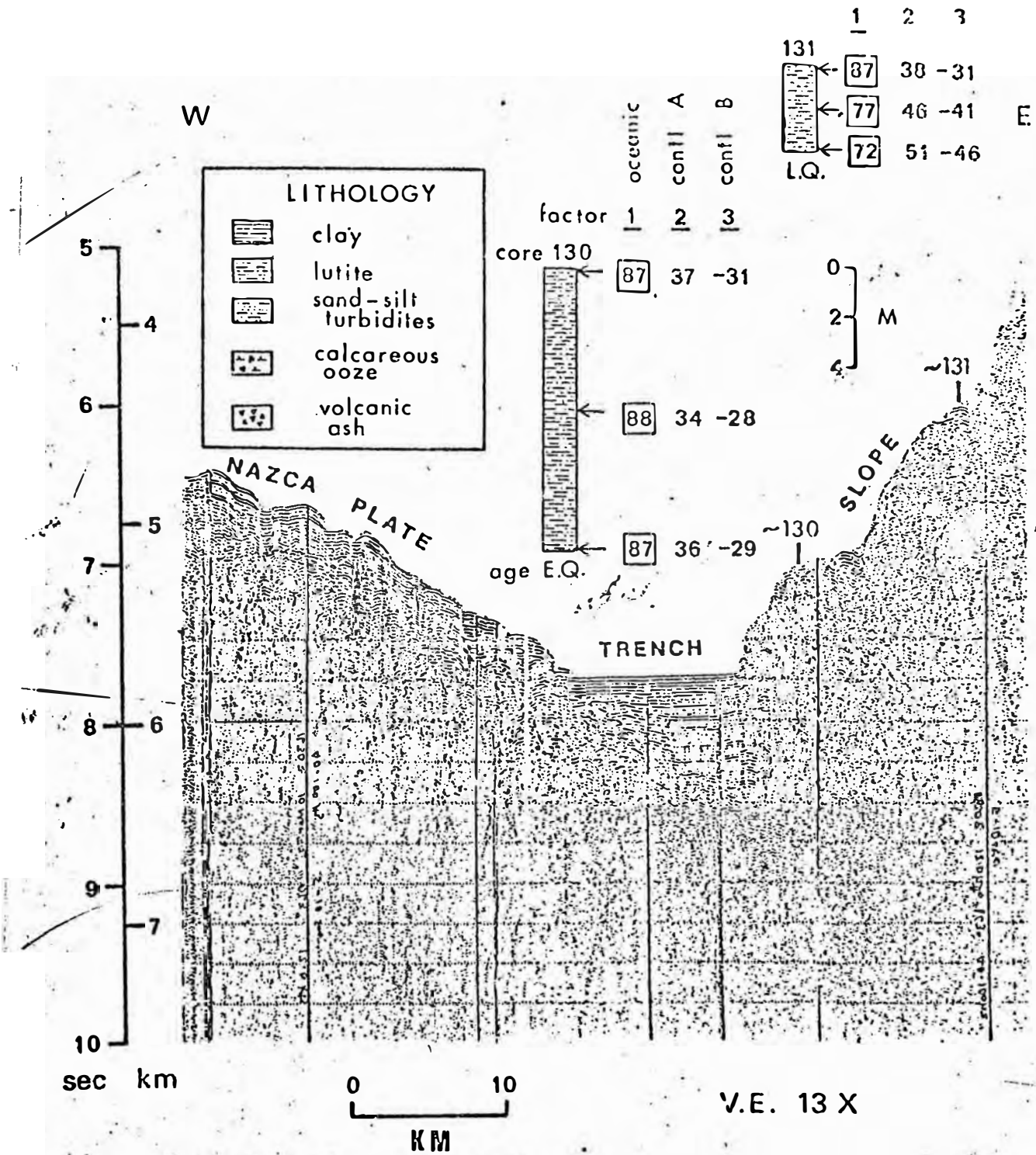


Fig. 12, Perfil Sísmico (Zona frente a Chiclayo)  
 Fuente: Rosato, pp. 47

los modelos matemáticos convencionales y la computadora.

#### 4.5.2 PROSPECCION GEOLOGICA.

Las principales actividades a desarrollarse durante las fases de prospección y exploración geológica, - con las siguientes:

- Mapeo geológico de la superficie del fondo marino.
- Muestreo superficial de rocas y sedimentos.
- Perforaciones y extracción de testigos.
- Análisis y estudio en laboratorio.
- confección de mapas geológicas y de cartas especiales.
- Reconocimiento óptico del fondo marino.

El muestreo de los fondos marinos, con el objeto de localizar yacimientos minerales, se ha intensificado en las últimas décadas. Paralelo a ello, los equipos y las técnicas empleadas han ido perfeccionándose.

Los equipos más importantes para el muestreo son los siguientes: "Freefalls grabs" (sacamuestras de caída libre), Fig. 13, ellos son usadas para muestrear nódulos y sedimentos no consolidados. Mediante el "Spade cores" se extraen testigos cortos de -



sedimentos y con el "Box Corers" y Pistón Corers" se extraen testigos largos de sedimentos. Las dragas canasta o de arrastre (Basket dredges, Fig. 14) son empleadas para extraer muestras a granel (bulk samples). "Ballasted Grabs" son lanzadas a bordo del barco, cuando ll. g. n al fondo tiran el peso del lastre, cerrando simultáneamente su quijada y levantando nódulos; las unidades boyantes son las encargadas de conducir a la superficie, la cual es recuperado por el mismo barco o por una tripulación auxiliar.

La perforación para extraer testigos es una de las fases de la investigación de minerales y petróleo, que más importancia reviste y que más tiempo y recursos consume, sobre todo en aguas profundas más allá de la plataforma continental. Permite registrar, muestrear y analizar toda la secuencia de los sedimentos y rocas en que se penetra.

A bordo es necesario realizar algunos trabajos de ensayos y análisis de las muestras extraídas, sobre todo en cruceros prolongados lejos de la costa. Los resultados obtenidos servirán para la evaluación preliminar del programa, En el barco se pueden realizar análisis sedimentológico, mineralógico, paleontológico y químicos.

Los equipos de reconocimiento y muestreo óptico, son usados generalmente para grandes profundidades. Las cámaras fotográficas y las filmador submarinas (Still camera) toman fotos a una distancia predeterminada del fondo (Fig. 15).

La cámara de televisión, tiene un extenso alcance - de aplicación en la ingeniería oceánica y en la investigación tecnológica. La televisión empleada - en la exploración ayuda a evaluar yacimientos superficiales del fondo, debido a que revela la forma, el tamaño y la concentración de los nódulos; facilitando una opinión visual de la cantidad y calidad (Fig. 16). La ventaja de este sistema de exploración, es la continua observación del fondo marino y la directa disponibilidad del cuadro de información. Por un lado, cabe destacar que esta técnica está sujeta a ciertas restricciones debido a la baja velocidad con que opera.

Además de servir como instrumento de reconocimiento a la televisión se ha usado con éxito para controlar las actividades de explotación submarina de petróleo y otros trabajos de construcción. Es indudable que desempeñará, un importante papel en el control de todas las actividades cuando se inicie la explotación de nódulos en los fondos marinos.

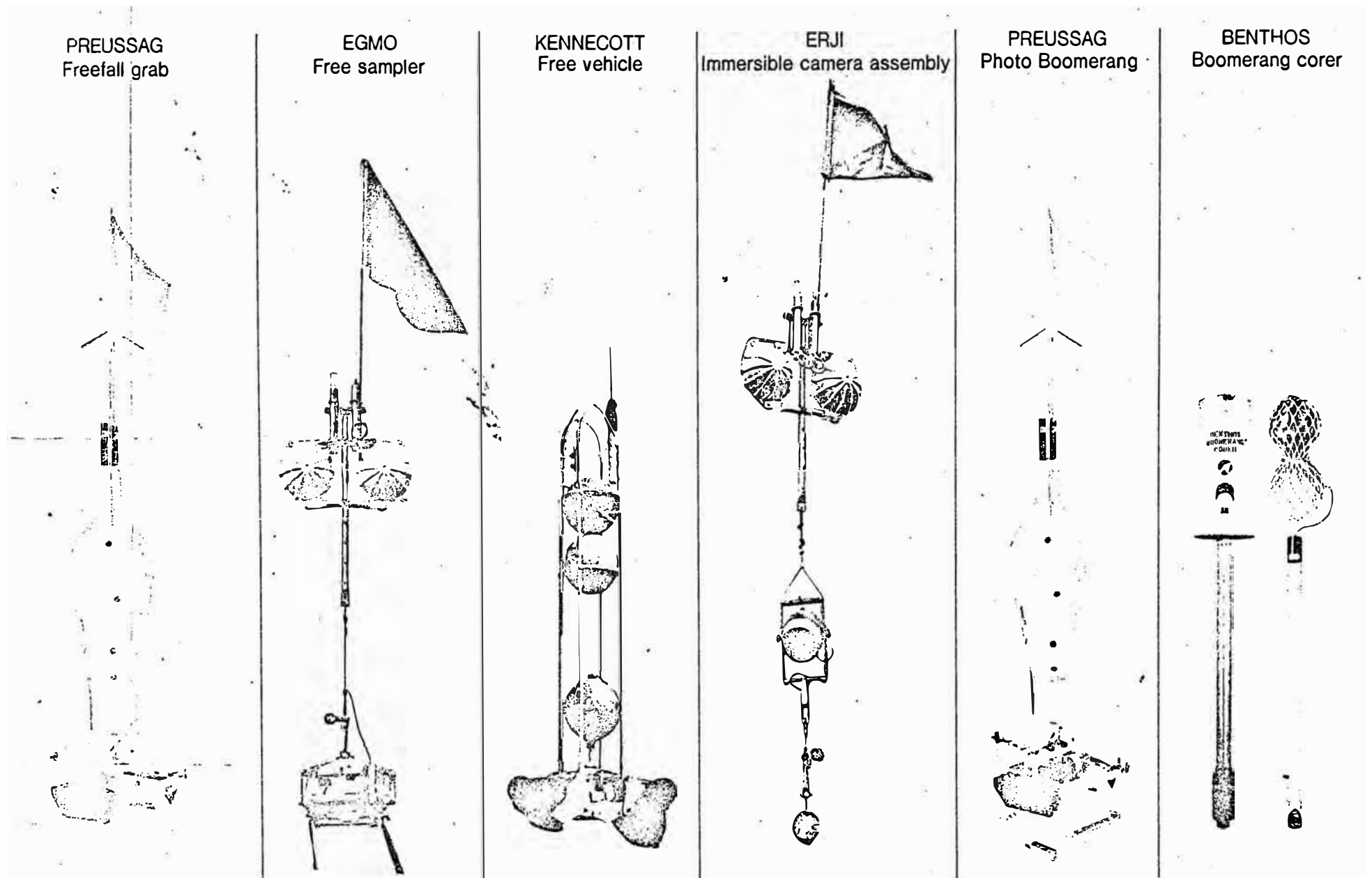


Fig. 13, Equipos Muestreadores de Caída Libre.

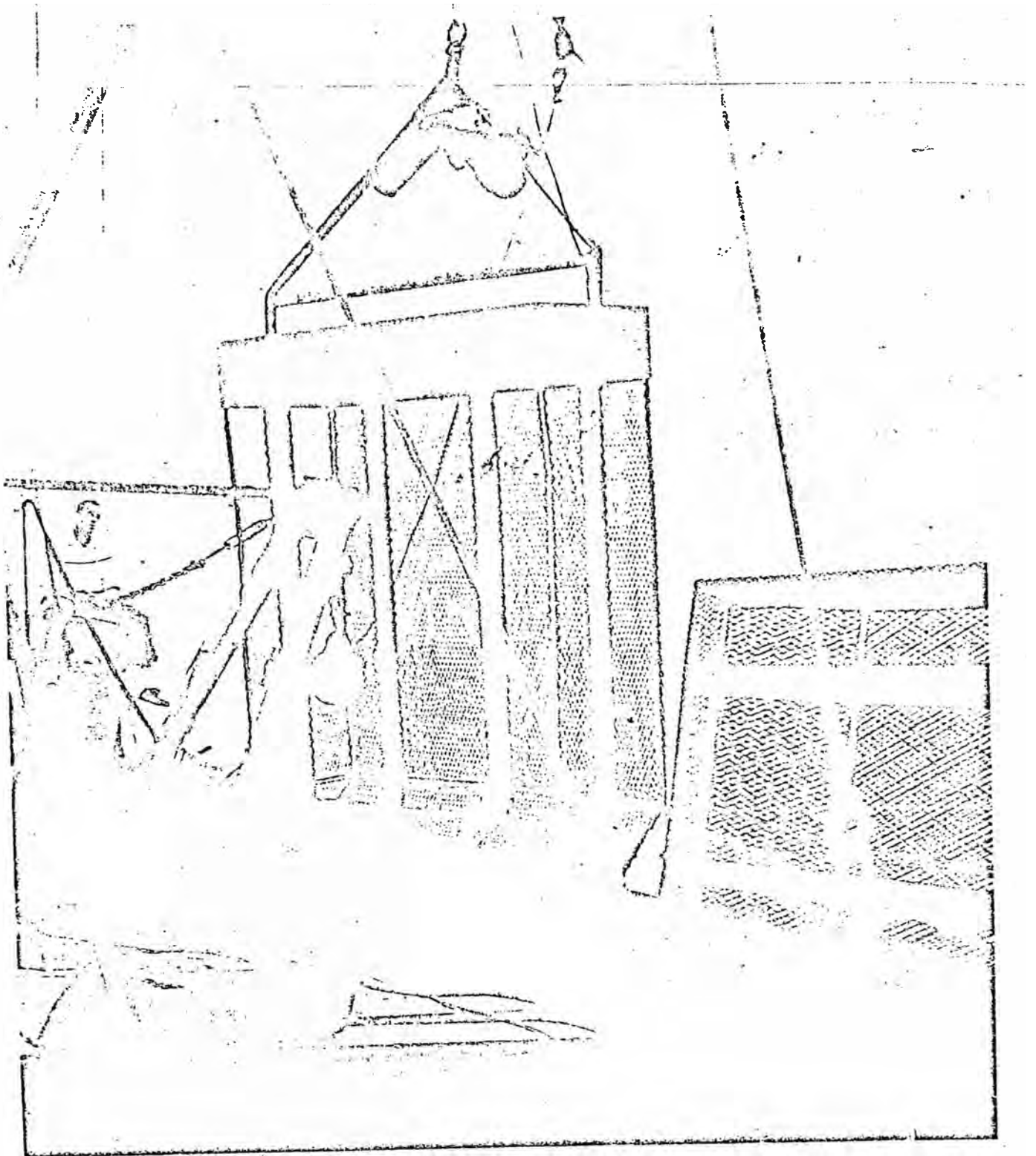


Fig. 14, *Draga de Arrastre para el muestreo de Nódulos de Manganeso.*

Fuente: Horn, pp. 212

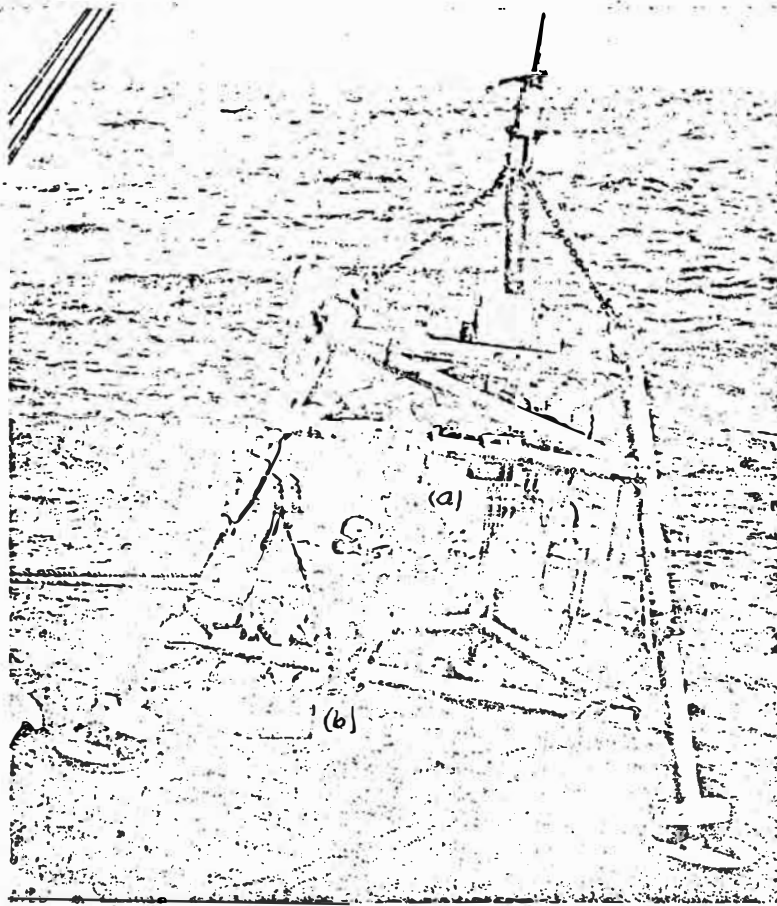


Fig. 15, Sistema de Televisión (a), Cámara filmadora (b) y el colector de muestras instalada en las trípodes.

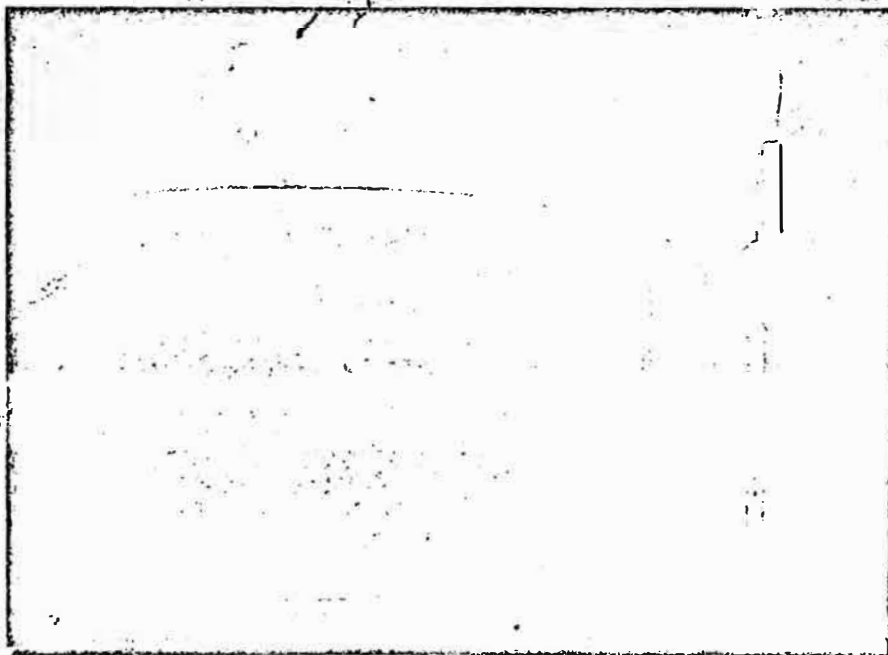


Fig. 16, Un video monitor mostrando un campo de nódulos.

#### 4.5.3 PROSPECCION GEOQUIMICA

El método geoquímico analiza los componentes de los suelos, rocas, aguas y plantas, y también de otros fenómenos químicos y bioquímicos conexos. En continente se han utilizado con éxito muchos métodos para localizar y definir anomalías geoquímicas directa o indirectamente relacionadas con masas minerales para delinear amplios sectores favorables a ciertos minerales, en el ambiente marino sólo se han aplicado algunos de ellos.

El levantamiento geoquímico de sedimento: marinos, que implica el muestreo y análisis sistemático de los sedimentos superficiales, se han utilizado en muchas zonas de la plataforma continental a fin de buscar yacimientos de aluvión superficiales. Las anomalías geoquímicas delineadas en los sedimentos superficiales indican con frecuencia la existencia de yacimientos de aluvión o de una masa rocosa mineralizada.

Se han inventado varios métodos hidrogeoquímicos a bordo de barcos para detectar la presencia de los componenetes gaseosos y líquidos disueltos de mayor movilidad en el agua de mar, tales como los hidrocarburos que rezuman de los yacimientos de petróleo del subsuelo y las agua salobres expulsadas de ciertas-

cúpulas de sal.

#### 4.5.4 PROSPECCION POR SENSORES REMOTOS.

Otra de las técnicas modernas y la más reciente que está al alcance del geólogo, para la fase de prospección y exploración por minerales tanto en el continente como en el mar, es la percepción remota.

Percepción remota, significa medición a distancia o identificación de cuerpos u objetos sin que los instrumentos destinados a tal fin se hallen en contacto directo con aquellos que están en reconocimiento. Estos instrumentos o equipos se denominan "Sensores Remotos".

Los sensores remotos pueden ser clasificados en activos y pasivos, y en formadores de imagen y no formadores de imágenes.

##### - Sensores remotos activos.

Son aquellos que utilizan su propia fuente de energía, además generan ciertas radiaciones y miden la reflexión de la misma. Como ejemplo tenemos: El radar de vista lateral y el sonar.

Sensores remotos pasivos

Son aquellos que no tienen fuente de energía propia o iluminación, más bien captan por reflexión cierto tipo de emanaciones de los cuerpos. Ejm. La cámara fotográfica, los birredores térmicos y el ojo humano.

- Sensores formadores de imagen.

Son aquellos que durante la captación registran los objetos o escenas a manera de fotografías, Ejm. -- las cámaras fotográficas, filmadoras, televisión, etc.

- Sensores no formadores de imagen.

Como su nombre indica estos no registran los objetos o escenas, Ejm. Radiómetro

Los principales campos de aplicación de las técnicas de percepción remota en la actualidad son:

Geología y Recursos minerales

Hidrología y Recursos del agua

- Meteorología

Agricultura y silvicultura

Oceanografía y Recursos marinos

Geografía, cartografía y recursos humanos

- Otras geociencias.



Los estudios geológicos de los recursos minerales - realizados desde el espacio con los sensores remotos, ya han demostrado ser satisfactorios en muchas partes del mundo y en particular en Canadá, donde a las técnicas electromagnéticas, magnéticas y de gravedad se ha aunado la fotografía aérea, y por este método han llevado a cabo muchos estudios geológicos, que les ha permitido descubrir cientos de yacimientos o depósitos de minerales.

En el campo de la oceanografía y recursos marinos, los sensores remotos también ofrecen grandes posibilidades al hombre para el mejor conocimiento y estudio de los océanos, los lagos y los ríos y sus recursos.

Las principales aplicaciones particularmente promisorias de la percepción remota en la oceanografía son:

Conocimiento de la distribución de las temperaturas en la superficie del océano para el mejoramiento de la pesca comercial.

- Elaboración de mapas que muestren los límites termales y los patrones de corrientes asociados con ellos.

- Bioluminiscencia.

- Productividad biológica
- Como una ayuda en el conocimiento del origen geológico de las cuencas oceánicas.
- Prospección por minerales o nódulos de manganeso en los fondos marinos.

En el Perú, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) vienen empleando la técnica de percepción remota desde el año 1973. La Oficina actualmente está realizando mediante esta técnica el levantamiento de mapas de zonas húmedas (aguajales o cochas) en la zona de Contamana y Evaluación Forestal (selección de especies) en la costa sierra y en la selva.

#### 4.6 PARAMETROS PARA LA EVALUACION DE LOS YACIMIENTOS MINERALES MARINOS.

Durante la etapa de exploración, la zona en estudio es evaluada en forma permanente, mediante los datos que se van obteniendo en el laboratorio y las cartas batimétricas. Además, el empleo de la televisión facilita el cuadro de información directa de la distribución de nódulos y la topografía del fondo, lo cual permite planificar cruceros posteriores o desechar el área de estudio.

Los parámetros a considerarse en la evaluación final de los yacimientos son las siguientes:

- a) La extensión del depósito, tomando en cuenta las condi  
ciones topográficas del fondo marino (Batimetría).
- b) Cantidad de mineral, así como también las variaciones  
de exposición y concentración, tamaño del grano y el ti  
po de nódulos.
- c) El valor del contenido metálico y/o el promedio de valo  
res y las fluctuaciones posibles.
- d) La profundidad de la columna de agua.
- e) Las condiciones del suelo del fondo y/o particularida-  
des acerca del tipo de sedimentos, sus propiedades fí  
sicas (geotecnia) y los posibles obstáculos que pueden  
afectar la explotación.
- f) Parámetros de la columna de agua (perfil vertical de  
temperatura, salinidad, presencia de corrientes superfi  
ciales o profundas).
- g) El medio ambiente marino local (clima).

#### MODELO DE EVALUACION

El modelo que se va a presentar, ha sido desarrollado por Deepsea Ventures, Inc. (uno de los consorcios que está avocada en la exploración de nódulos, con miras hacia la

explotación).

Antes de entrar a desarrollar el modelo, es necesario definir algunos términos que será de utilidad más adelante.

### Población (Population)

Es definido, como el porcentaje de área del suelo marino cubierto por nódulos visibles. El análisis de un depósito económico ha mostrado que una población aproximada de 30 a 35 % es típico para depósitos de interés económico.

### Concentración:

Se refiere al peso de nódulos por unidad de área, generalmente está dada en lbs/pie<sup>2</sup> (Kg/M<sup>3</sup>). Normalmente la concentración es calculada sobre la base de peso húmedo (El peso seco promedio es los 2/3 del peso húmedo). La concentración es una función de la población, tamaño, forma y peso específico de los nódulos.

El modelo económico que presenta Deepsea Ventures está basada en una producción mínima de 1.5 millones de toneladas cortas húmedas de nódulos anuales, por un período de 20 años. El Cut-off del mineral o el ensaye mínimo aceptable es bosquejado como sigue:

Manganeso 20 %, níquel 1 %, cobre 0.8 % y cobalto 0.2% - a la suma de Ni, Cu y Co mayor que 2 %.

Los principales factores que influyen sobre el tamaño de una mina son definidos como sigue:

1. Concentración promedio de mineral (c):

Es el peso promedio húmedo unitario de los nódulos presentes.

2. Area no minable (a):

Es el porcentaje del área excluida de la mina, por ser terreno<sup>no</sup> trabajable debido a las rugosidades o la presencia de obstáculos.

3. Eficiencia de dragado ( $e_d$ ) ;

Se puede definir como la habilidad de una draga para levantar el mineral que yace en el fondo. Los estudios y experiencias actuales con las dragas de arrastre y equipos hidráulicos indican que la eficiencia de dragado estará entre el 30 y 70 %.

4. Eficiencia de barrido ( $e_s$ ):

Es el porcentaje de área barrida (swept), por la cabeza

de la draga. La eficiencia de barrido es una función de las características de la mina, sistemas de navegación y la operación del barco. Se tiene previsto que la eficiencia estará entre 45 y 65 %.

#### 5. El Cut Off del mineral ( $A_b$ )

Es la ley del mineral que por debajo del cual no puede ser minado; en otras palabras la explotación no es económica por debajo del cut-off.

El área de la mina está dada por la siguiente expresión:

$$A_m = A_o + A_a + A_b$$

Donde:

$A_m$  = Área de la mina o el tamaño total del denuncia

$A_o$  = Área minable.

$A_a$  = Área no minable

$A_b$  = Área de baja ley.

Para calcular el tamaño de la mina con una vida de 20 años de producción, la Deepsea ha empleado la siguiente fórmula:

$$A_m = \frac{P \times L}{C \cdot e_d \times e_s [1 - (a+b)]} \times \frac{1}{K}$$

Donde:

$A_m$  = Tamaño de la mina - Km<sup>2</sup>

P = Taza de producción - 1.5 millones de toneladas por año.

L = Vida de la mina = 20 años

C = Concentración promedio de minerales - lbs húmedas/pie<sup>2</sup>.

$e_d$  = Eff. de drado =  $\frac{\text{Cantidad de nódulo dragado}}{\text{Cantidad de nódulos hallados}}$

$e_s$  = Eff de barrido =  $\frac{\text{Area barrida}}{\text{Area minable (A)}}$

b = Ratio del Cut off =  $\frac{A_b \text{ Area de mineral de baja ley}}{A_m \text{ Area total de la mina}}$

K = Constante para transformar pies<sup>2</sup> a Km<sup>2</sup> y el tonelaje húmedo a seco

$$= \frac{1}{\frac{2}{3} \times \frac{1}{400} \times 10764,961} = \frac{1}{3,588}$$

a = Area no minable = 0.10

Basado sobre los datos anteriores y las obtenidas - durante el reconocimiento, Deepsea requerirá un denuncia con un área comprendida entre 25,000 y 58,000 Km<sup>2</sup> para satisfacer el suministro de mineral durante 20 años. Estas cifras han sido derivadas del gráfico de la Fig.17, considerando una concentración de 1.0 lb/pie<sup>2</sup>, eficiencia de dragado 30 % como mínimo y 70 % como máximo, un área no minable de 25 %, eficiencia de barrido 45 % y el ratio del cut off 10 %.

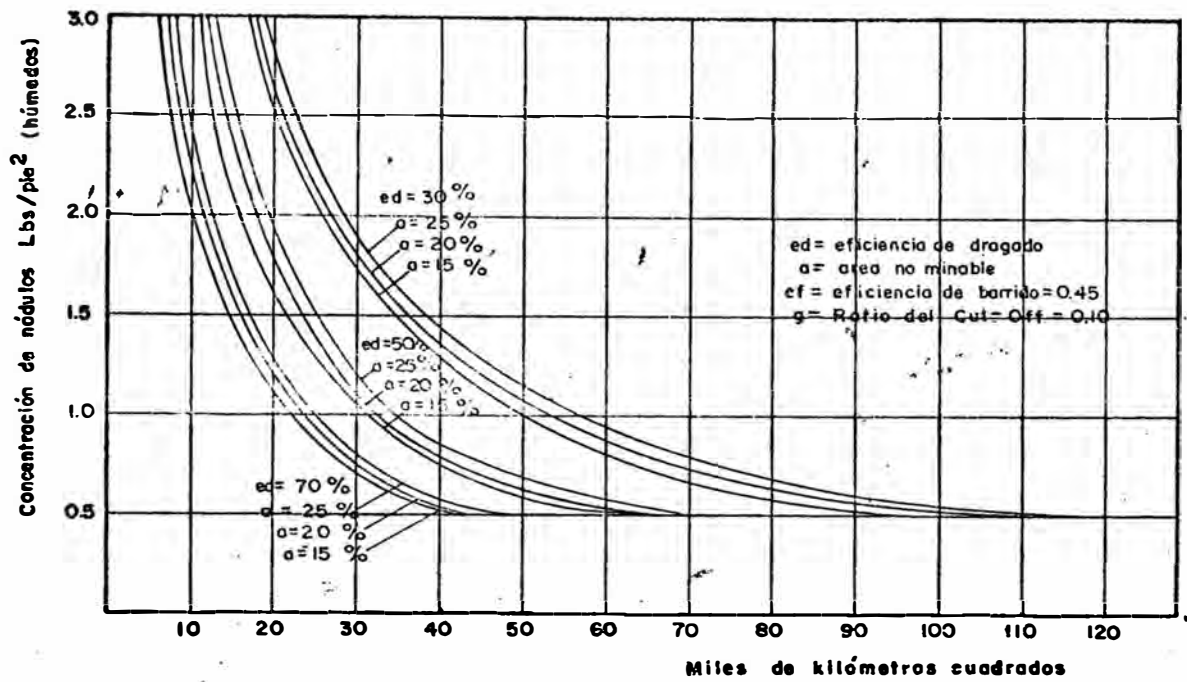
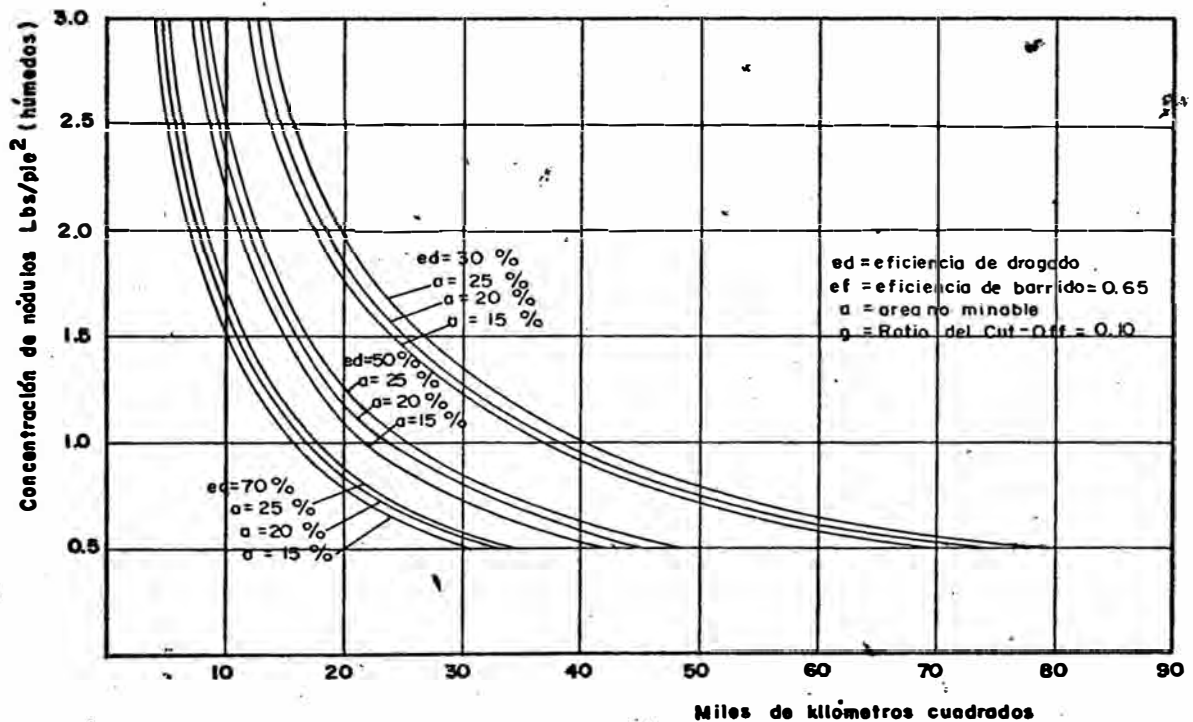


Fig. 17, -- Gráfico para determinar el tamaño de un mina, con una producción total de 20 Millones de toneladas de nódulos anuales.





## CAPITULO V

### SISTEMAS DE EXPLOTACION EN LA MINERIA OCEANICA

#### 5.1 GENERALIDADES

Para la explotación de los recursos minerales que nos brinda el mar; existen varios sistemas en concordancia al tipo de yacimiento.

La explotación de los placeres en playas y frente a la costa, se realiza mediante las diferentes modalidades del sistema de dragado. Para la extracción de los elementos disueltos en el agua se está empleando las técnicas de precipitación química y la de evaporación solar. La explotación de los yacimientos asociados a la roca de fondo, aún no se ha pensado hasta la fecha ; en todo caso, posiblemente se emplee la minería subterránea convencional. Finalmente, para la explotación de los yacimientos inco<sup>n</sup>solidados están ensayando los sistemas de bombeo y el mecánico

En este capítulo se desarrolla los dos últimos sistemas orientados principalmente hacia la explotación de los nódulos polimetálicos. Dentro del sistema de explotación de los fondos marinos, se distinguen cuatro fases bien marcadas.

- Recolección de nódulos en el fondo del mar
- Sistema de elevación de los nódulos
- Plataforma de trabajo
- Transbordo y transporte

## 5.2 RECOLECCION DE NODULOS EN EL FONDO MARINO

La recolección de nódulos es la primera fase dentro del ciclo de minado, consiste en recolectar nódulos en el fondo para luego izarlo a la superficie del mar. Para el izaje se emplean los sistemas mecánico y de bombeo. El último requiere de nódulos recolectados y para superar este problema tecnológico, los consorcios internacionales u otras instituciones que tienen gran interés en la explotación de nódulos, han diseñado una serie de equipos capaces de cumplir tal objetivo.

Los principales equipos de recolección que se está experimentando en la actualidad son:

### A. RECOLECTOR DEEPSEA VENTURES:

El equipo consiste en una armadura en la forma de una "U" cuadrada, (Fig. 18), el clasificador granulométrico está montada diagonalmente a la dirección del movimiento de la rastra, en un extremo del clasificador está fijada la tubería succionadora y el clasificador de nódulos está suspendido en tres puntos mediante resor-

tes dentro de la rastra. La amplitud de la operación de dragado es aproximadamente de 2.5 m. con una capacidad de minado de 30 a 40 tons/hr., según los diseñadores la amplitud puede ser aumentada hasta 4 m., probablemente por interposición de un enlace articulado.

Este equipo ha sido experimentado juntamente con el sistema de izaje neumático por DEEPSEA VENTURES, a una profundidad aproximada de 800 en la meseta Blake en 1974.

#### B. DRAGA - RED.

El equipo propuesto es conocido desde mucho antes, por su empleo en la pesca de merzales (merluza y otros peces) en los fondos marinos, pero ésta ha tenido ciertas modificaciones para su aplicación a la recolección de nódulos. El equipo se esquematiza en la Fig. 19, a la parte final de la red se ha aceptado una tubería de succión y los nódulos antes de ser izados son lavados de los sedimentos en el trayecto hacia la tubería. La operación tiene una velocidad inferior a 0.5 m/seg., independiente a las operaciones subsiguientes de izaje.

Los que han experimentado la maniobrabilidad del equipo han manifestado, que el proceso requiere la misma precisión de posicionamiento que en la pesca a la rastra con draga. En los trechos deben ser posicionados a una

distancia constante de 4 a 8 metros, y operar cuidadosamente para evitar explotaciones ruinosas o malograr regiones enteras de depósitos nodulares, debido al recubrimiento con sedimentos.

### C. ACTIVATED COLLECTING DEVICE

La DEMAG AG, Duisburg, ha construido un equipo recolector de nódulos con accionamiento eléctrico, este puede operar en sectores hasta 20 m. de ancho sin ser limitado por el suelo accidentado. La máquina consiste en una caseta montada sobre un carro a orugas; que contiene al equipo de control, alumbrado y la cámara de televisión.

La caseta en su parte frontal tiene una tubería de succión móvil voladizo, aproximadamente de 10 a 15 m. de longitud con una draga rotatoria acoplada a su cabeza,

El equipo (Fig. 20) propuesto en 1970, probablemente no satisficará a una operación comercial, sí el sistema es conectado directamente a una tubería de izaje; sin embargo, cabe resaltar que puede ser apropiado para operar en regiones que son inaccesibles para otros equipos recolectores.

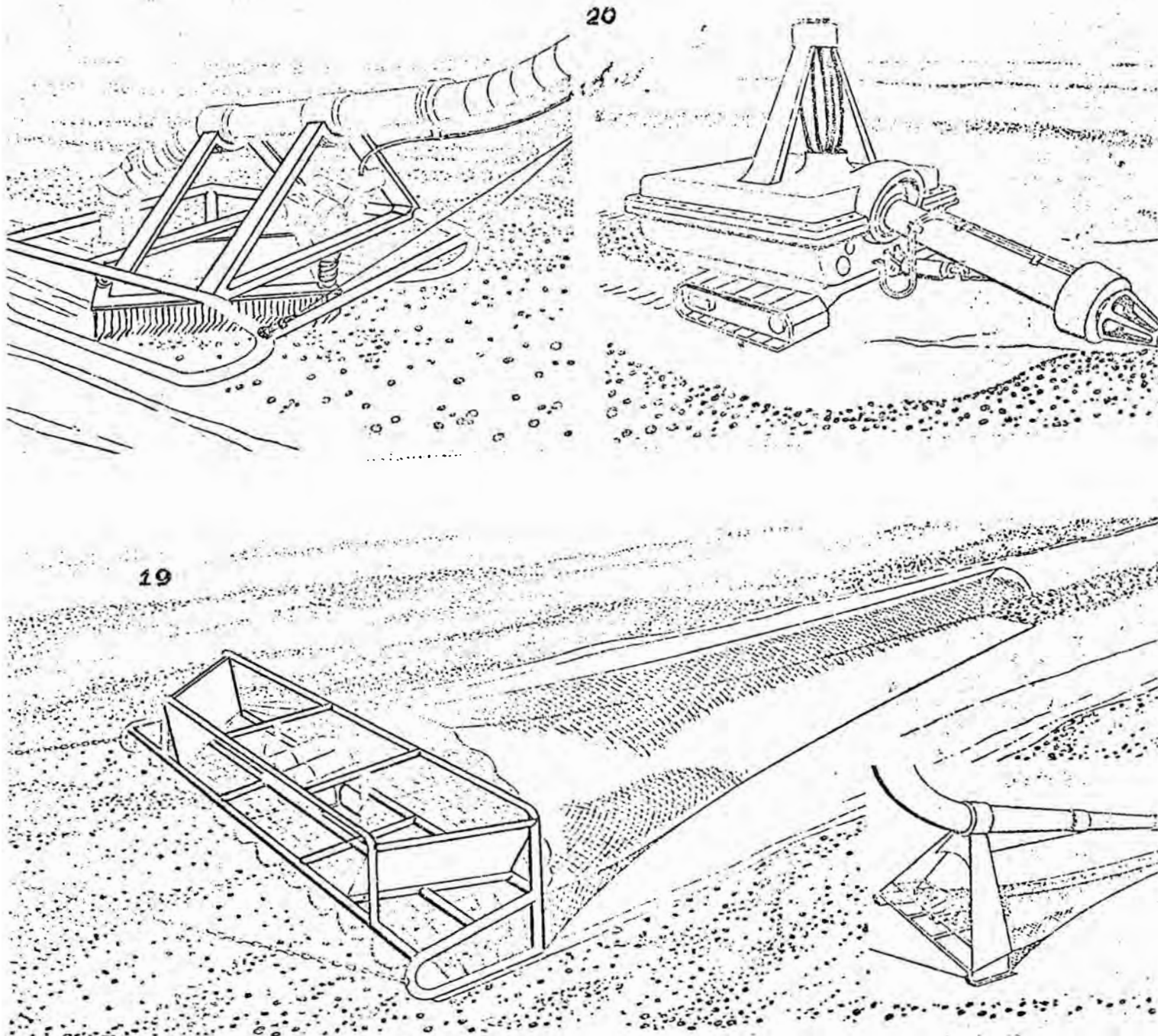
EQUIPOS PARA LA RECOLECCION DE NODULOS

Fig. 18 Recolector Deepsea Ventures

- A. Tamizador
- B. Tuberías de succión
- C. TV. con iluminación
- D. Cable de remolque .

Fig. 19 Draga Red.

Fig. 20 Demag Collecting Device.



### 5.3 SISTEMAS DE ELEVACION DE LOS NODULOS

La elevación o el transporte vertical de materiales es la segunda fase en el ciclo de minado y es la que actualmente enfrenta mayores problemas tecnológicos, debido a que necesita vencer una serie de factores naturales tales como: la columna de agua, velocidad de las corrientes, topografía del fondo y otros. Los equipos recolectores acoplados a los sistemas de izaje deben tener entre otras las siguientes características:

- Poseer un peso liviano, para no causar dificultades en el fondo.
- Gran capacidad de dragado de nódulos.

Hasta la fecha se han diseñado tres tipos de sistemas para la elevación del mineral desde el fondo a la superficie del mar. Dichos sistemas son: el mecánico o cangilones de línea continua, el hidráulico y el neumático.

#### 5.3.1 EL SISTEMA MECANICO O CLC

El sistema mecánico o CLC (cangilones de línea continua), consiste en un cable continuo de polipropileno, con una serie de cangilones atados a él a un intervalo constante. En su parte superior el cable pasa por motores de tracción mientras que la parte inferior draga en el fondo. Este sistema realiza las operaciones de recolección e izaje de nódulos,

y no requiere de equipos recolectores en el fondo como lo hacen los sistemas de bombeo.

El sistema CLC (cable Line Bucket, CLB) fué ideado por el japonés Masuda; por vez primera fué ensayado frente a Japón alcanzando las profundidades de 900 y 1,400 m (1968); los resultados fueron calificados como moderadamente satisfactorios por las compañías que participaron en el ensayo.

Dentro del sistema CLC, existen dos variantes: sistema con uno y dos barcos. En el desarrollo del sistema toman parte más de 20 compañías de diferentes países. Una descripción más detallada del sistema se hace en el siguiente capítulo.

### 5.3.2 EL SISTEMA HIDRAULICO.

Este sistema de izaje consiste en un flujo bifásico: nódulos y agua. La fuerza elevadora de materiales se consigue mediante bombas, las cuales pueden estar ubicadas debajo del casco del barco o a una cierta profundidad.

Los factores que controlan la localización de la bomba con respecto a la superficie del mar, será el ratio fluido sólido del material en la tubería y la velocidad del fluido a la cual está operando la

dragado el equipo recolector en el fondo.

Los principales componentes del sistema hidráulico son: La línea de tuberías, la bomba y el motor, el equipo recolector y un barco minero o cuerpo flotante, (Fig. 21). Todos los elementos están conectados al barco, la desventaja es que las oscilaciones verticales del barco producido por el movimiento de las olas son transmitidos a la draga, introduciendo esfuerzos en la tubería y como resultado de ello produciéndose fallas o roturas en las tuberías.

El sistema hidráulico parece ser preferido por INTERNATIONAL NICKEL Co \_ INCO (Consortio que está interesado en la explotación de los fondos marinos).

Cabe mencionar que INCO esta experimentando dos tipos de sistema hidráulico y ha indicado que intentará poner una bomba al nivel correspondiente a los 700 de profundidad. También ha manifestado que existe la posibilidad de emplear el sistema hidroneumático, es decir, la combinación del sistema hidráulico y neumático.

### 5.3.9 EL SISTEMA NEUMATICO

Este es el tercer sistema propuesto para el izaje



de nódulos, consiste en un flujo trifásico: aire, nódulo y agua. El aire comprimido es inyectado a la tubería a distintas profundidades o niveles del agua para mantener la capacidad de elevación de los nódulos.

Los principales elementos del sistema neumático son: El barco minero, la estación intermedia o cuarto de máquinas, red de tuberías y el equipo recolector, (Fig. 22).

DEEPSEA VENTURES, INC. está llevando a cabo el diseño y la construcción del sistema juntamente con el equipo recolector que anteriormente se ha descrito.

Los principales factores que se debe considerar en el diseño de los dos últimos sistemas de izaje, puede ser resumido como sigue:

- 1.- Profundidad de la columna de agua
- 2.- Tamaño máximo de nódulos a dragarse.
- 3.- Diámetro de la línea de tuberías
- 4.- Velocidad de flujo en la tubería
- 5.- Ratio del fluido - sólido en la tubería
- 6.- Porcentaje de nódulos en el flujo
- 7.- Gravedad específica de los sólidos en el fluido
- 8.- Características físicas y químicas de la columna de agua.

## 9.- Topografía del fondo

Como resultado de las investigaciones teóricas, <sup>y</sup> experimentales de los sistemas hidráulico y neumático - usando uno o dos tubos con o sin dragas (Boes, 1972, han señalado que tienen ciertas limitaciones, debido a los factores tales como:

- 1.- El tamaño de los nódulos
- 2.- La recolección de nódulos para el izaje
- 3.- La velocidad de hundimiento
- 4.- El diámetro de la tubería y la pérdida por fricción, .
- 5.- El posicionamiento de las bombas y las aberturas para la inyección de aire.
- 6.- Las bombas y el performance de las compresoras.

La experiencia ganada en la perforación de los fondos marinos en el campo petrolífero, servirá mucho para el planeamiento del sistema de transporte por tuberías. Las presiones de estiramiento e inclinación causadas en la longitud de las tuberías por - su propio peso, resistencia a las corrientes, a - la oscilación y flexión, pueden ser reducidas usando las técnicas de la sustentación hidráulica o de flotabilidad (Hapel, 1975), puesto que estos problemas ya han sido resueltos por la industria petrolera.

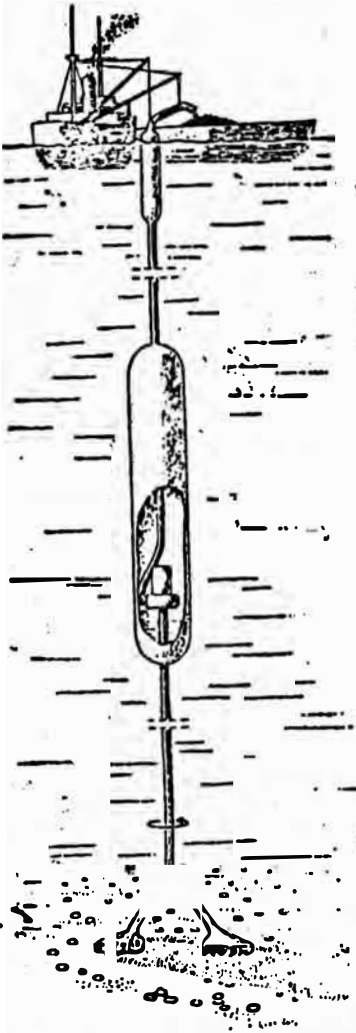


Fig. 21.- Sistema Hidráulico, mediante bomba centrífuga propuesto por Mero (Fuente: Mero, 1965).

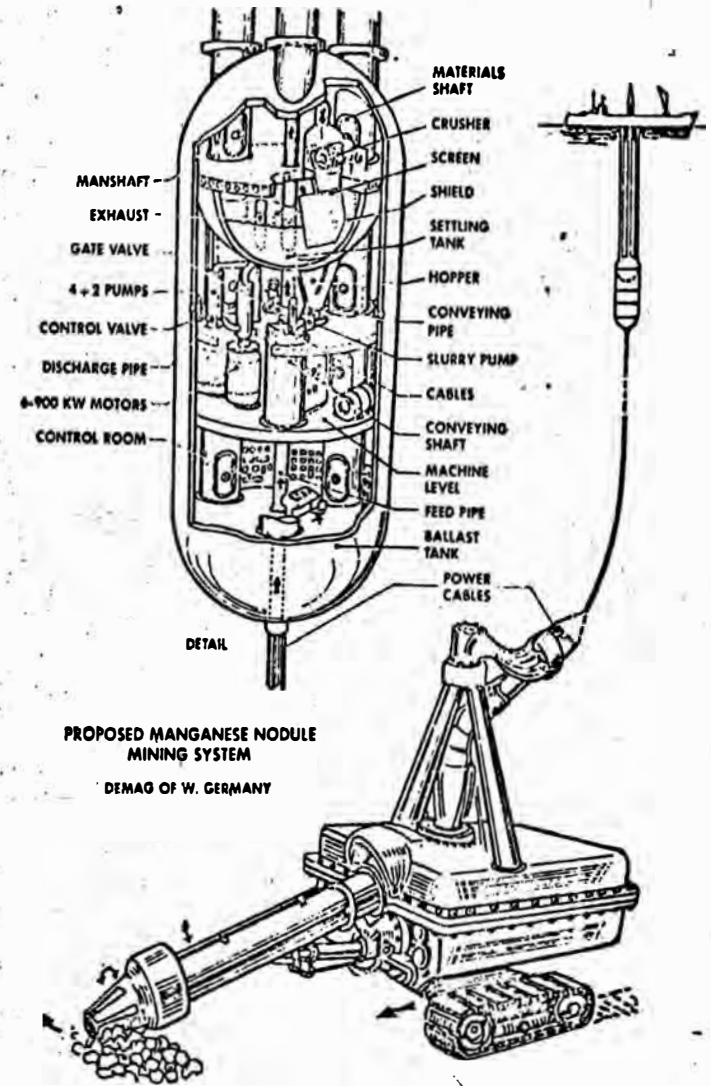


Fig. 22.- Sistema Neumático y la Estación Intermedia (Fuente: Mining Eng. Abril 1975).

#### 5.4 PLATAFORMAS DE TRABAJO

Los depósitos de nódulos de manganeso con contenido de valores económicos se encuentran generalmente alrededor de los 5,000 m. de profundidad y a grandes distancias de las costas.

Para el almacenaje de los nódulos izados se requieren de plataformas o estaciones mineras en el mismo barco o acoplado a él. La estación minera en la superficie del agua estará solidamente unida a los equipos recolectores y de izaje, del mismo modo al momento del transbordo de nódulos al barco u otro elemento que conducirá hacia el puerto.

Para hacer frente a los requerimientos que deben cumplir las estaciones; es decir, posicionamiento, estabilidad en las corrientes, propulsión, suministro de energía, capacidad de carga, almacenaje, transbordo de material, etc las alternativas propuestas son:

- a) Barco de dimensiones convencionales y con un conducto central.
- b) Semi-sumergible o una
- c) Base operacional, similar a la forma de un barco.

Independientemente del tipo elegido, la plataforma o estación tendrá que ser equipado con una torre o casti

ilo, similar a las operaciones de perforación en la industria petrolera, para sostener los grandes pesos de los equipos recolectores y de izaje.

#### A.- BARCOS

La ventaja del uso de un barco convencional como estación minera en comparación con un semi-sumergible es la utilización de los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la construcción naviera, la maniobrabilidad, el posesionamiento y el mantenimiento.

#### B.- CUERPOS FLOTANTES

Las facilidades que brinda un barco minero con su conducto central, grandes bodegas para el carguío y cubiertas amplias, pueden ser mejorado por el alargamiento o ampliación de la estación minera mediante cuerpos flotantes. La longitud de la popa puede servir como muelle para amarrar una plataforma transportadora o cuerpo flotante a cada lado (Fig. 23.).

Este "Sistema Unificado" además facilita la continua entrega de nódulos a los barcos transportadores mediante conveyors u otros elementos. Tales cuerpos pueden ser fácilmente diseñados acorde a la consistencia de los materiales o nódulos. Finalmente, la base operacional dispondrá de suficientes bodegas para el alma-

cenaje, para la pre-preparación mecánica del material y para el tratamiento metalúrgico parcial.

### C) SEMISUMERGIBLES

Es otra de las alternativas propuestas para el almacenaje o transporte de nódulos; los semi-sumergibles se mantienen firmes por su muy buena flotabilidad y además tienen una gran cubierta espaciosa generalmente en forma cuadrada (Fig. 24). Una desventaja decisiva es su baja capacidad de carguío, porque su flotabilidad remanente en los pilares será usada para elevarse rápidamente con la carga adicional. El semi - sumergible hasta la fecha no ha sido utilizado en el transporte de nódulos, debido a que no puede entrar a cualquier muelle por sus condiciones especiales para su flotabilidad.

## 5.5 TRANSBORDO Y TRANSPORTE

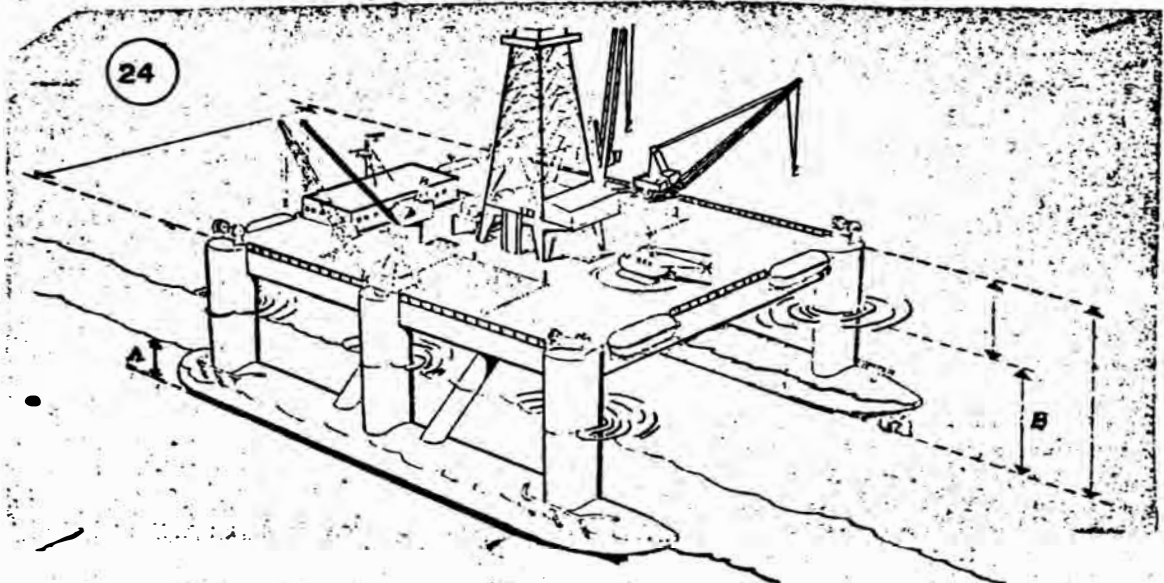
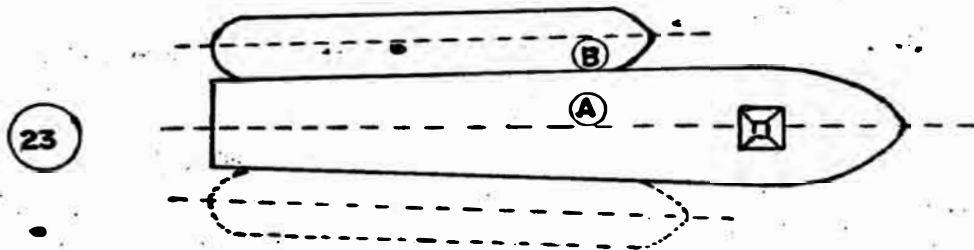
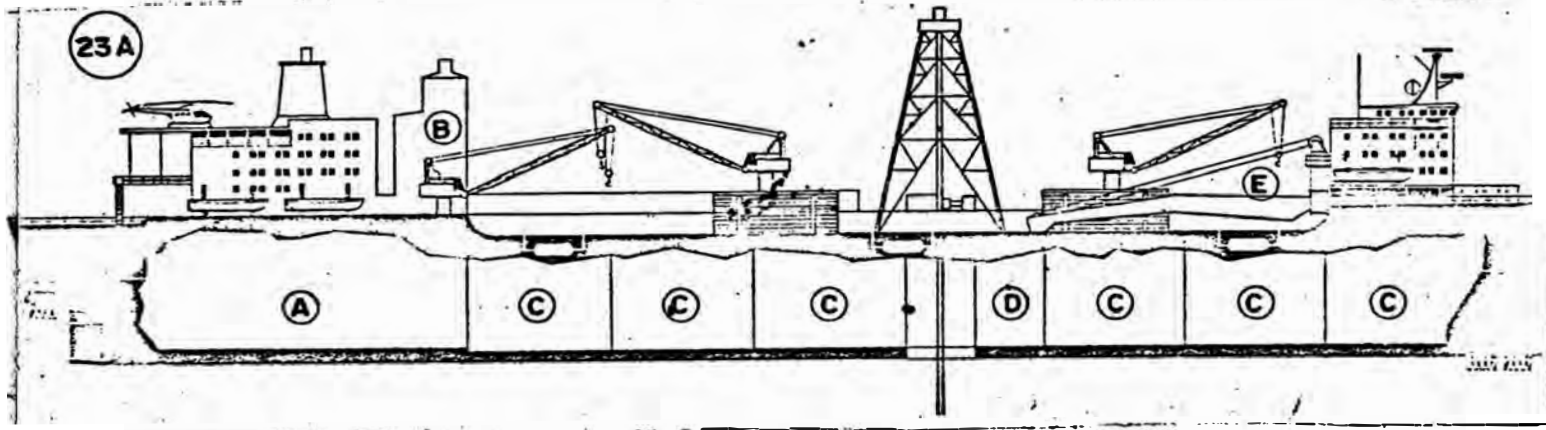
Este sistema es la última fase en el ciclo de minado de nódulos, el transbordo o la transferencia es la entrega de materiales a los barcos de transporte. Para el transbordo, se puede emplear diferentes mecanismos, tales como: Tuberías, cajas y fajas transportadoras, cangilones, elevadores y equipo de succión hidráulica o de presión.

Las primeras empresas dedicadas a la minería oceánica han

Fig. 23 A Barco Minero con Bodegas para el transporte de Nódulos Long. 250 m., ancho 38 m. capac. - aprox. 80,000 t.  
 A. Cuarto de máquinas  
 B. Planta de secado y preparación  
 C. Bodegas  
 D. Cuarto de Maq. para el izaje.  
 E. Fdja transportadora.

Fig. 23 Cuerpos Flotantes  
 A. Estación Minera  
 B. Plataforma para el transporte de nódulos (carrier)

Fig. 24 Semi-Sumergibles  
 A. Línea de agua durante el transporte.  
 B. Línea de agua durante la operación.



manifestado que emplearán el sistema Marconaflo, para transportar los nódulos hasta las plantas de procesamiento en tierra, debido a que por el momento no realizarán operaciones de procesamiento metalúrgico a bordo.

El sistema Marconaflo es aplicado para el almacenaje, transbordo y para el transporte de minerales sólidos trituradores o similar a lods en forma de Slurry (Robinson, 1971).

Para poner en práctica este sistema con nódulos, es necesario, ~~contar con una~~ plataforma de trabajo, donde se realizará la mezcla agua - nódulos, en una porción de 70 a 75% de sólidos. La mezcla es evacuada por medio de mangueras a la bodega de los barcos cargueros, antes de completar el carguío de una bodega, el agua de la mezcla es bombeada fuera del barco, para luego completar la capacidad de la bodega. La mezcla en el viaje se espesa, mediante la sedimentación por gravedad en proporción de 90 % de sólidos, en el puerto de desembarque, nuevamente se agrega agua a las bodegas para luego bombear la mezcla hacia la planta de procesamiento o tanques de almacenaje. El sistema Marconaflo que ha sido ensayada en varias oportunidades en la minería oceánica y siendo la solución más adecuada, para el embarque y desembarque tiene ciertas desventajas, tal como la retención de agua en el SLURRY, la cual es aproximadamente una carga adicional de 10 %. Sin embargo esta sería, compensada por la transferencia no complicada



de nódulos de la plataforma al barco y de igual modo en el desembarque. La mayoría de las empresas están planeando producir 1.5 millones de toneladas anuales de nódulos, aproximadamente 5,000 toneladas diarias, para transportar este volumen será necesario barcos de gran tonelaje. Por ello están proyectando construir barcos de 70,000 toneladas, con una velocidad de 15 nudos y de este modo piensan reducir los costos de transporte.

El número de barcos transportadores, estará en función de la distancia entre la mina y el puerto de desembarque, además el puerto debe satisfacer ciertas condiciones favorables, con respecto a la localización de la planta metalúrgica. Las investigaciones, concernientes a este problema, han demostrado que solo unos pocos puertos de la costa occidental de U.S.A. satisfacerán los requerimientos con consideraciones a su infraestructura, favorable (mano de obra, suministro de energía, regulación del medio ambiente etc.).

En el capítulo anterior se ha dicho que las zonas más extensas y ricas en depósitos ferromanganesos yacen el Pacífico Norte. Un estudio tentativo del tiempo, es decir, - el ciclo de viaje, carguío y desembarque, entre estas zonas y la costa de los E.E.U.U. es de 30 días luego será necesario \$ barcos de transporte para cubrir la producción planeada (300 días de trabajo al año)

## CAPITULO VI

### EL SISTEMA DE CANGILONES DE LINEA CONTINUA

#### 6.1 VARIEDADES DEL SISTEMA CLC

El sistema de cangilones de línea continua, hasta la fecha cuenta con dos variedades, ambos se encuentran en la etapa experimental es posible que en estos años, ya se tenga una solución integral del problema del izaje, para así iniciar la explotación de los fondos marinos.

##### 6.1.1 SISTEMA CON UN BARCO

El sistema CLC con un barco ha sido ideado y desarrollado por el japonés Yoshio Masuda. Bajo este sistema tenemos dos tipos:

- Sistema tipo Popa-Proa
- Sistema tipo Popa
  
- SISTEMA TIPO POPA-PROA

En este sistema el cable con sus cangilones es lanzado por la proa y recuperado en la popa mediante máquinas a tracción, el sistema se muestra en la ~~figura~~ Figura N° 25. Las dragas tienen una capacidad de

0.5 a 2 m<sup>2</sup>. La armadura de acero con sus filos cortantes, la forma de los cangilones y los cuatro puntos -- de contacto con el cable y el movimiento del barco originan una fuerza de presión para el dragado

La distancia entre el punto de izaje y el de descenso del cable, no puede ser variado en la operación de este sistema, porque es dependiente de la longitud del barco; es decir, las dos líneas que forma el cable en el fondo durante el recorrido esta en función de la longitud del cable y la velocidad del barco, además del movimiento lateral del barco, con el fin de mantener la separación de los cables.

El enredamiento del cable, puede ocurrir principalmente debido a las corrientes submarinas y a las variaciones del rumbo del barco a consecuencia de mal tiempo o mala operación.

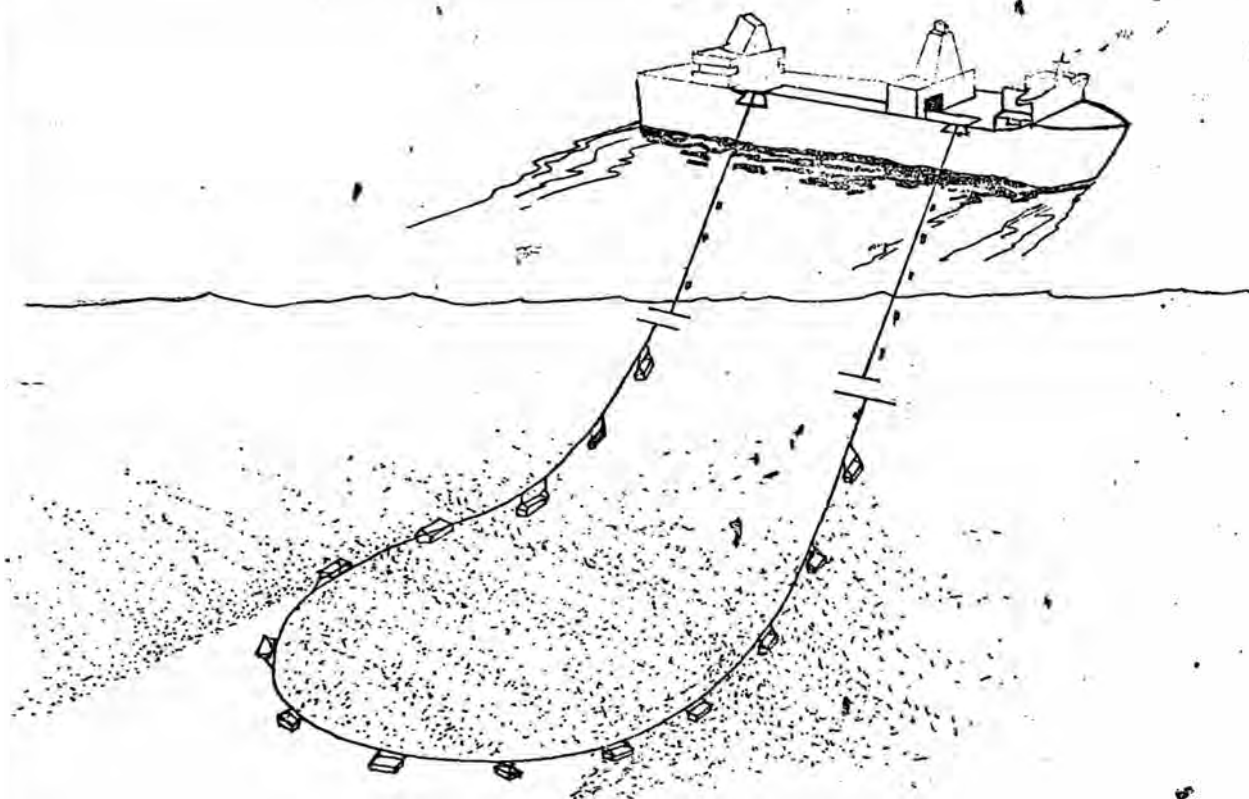
Este tipo de CLC, fue ensayado por primera vez en el año 1968 frente a Japón, a las profundidades de 900 y 1400 m. mediante el barco de la Universidad de Tokai. En 1970, con la cooperación de 17 compañías japonesas se ensayó en alrededores de Tahití, en el barco Chiyodamaru N° 2 de 1200 toneladas de capacidad, las profundidades de ensayo alcanzaron 3,675, 1200 y 1,800 m. respectivamente.

El cable tenía un diámetro de 40 mm. una longitud de 10,000 m. y 170 cangilones estuvieron atados a intervalos regulares. En 1972, el tercer ensayo del sistema fué conducido por el Dr. Mero, con el apoyo de 24 compañías (6 naciones). El área de ensayo fue cerca de Hawaii, alcanzando la profundidad de los 5,000 m., dicho ensayo se realizó con el barco KYOKUYOMARU N° 2 de 17,000 toneladas.

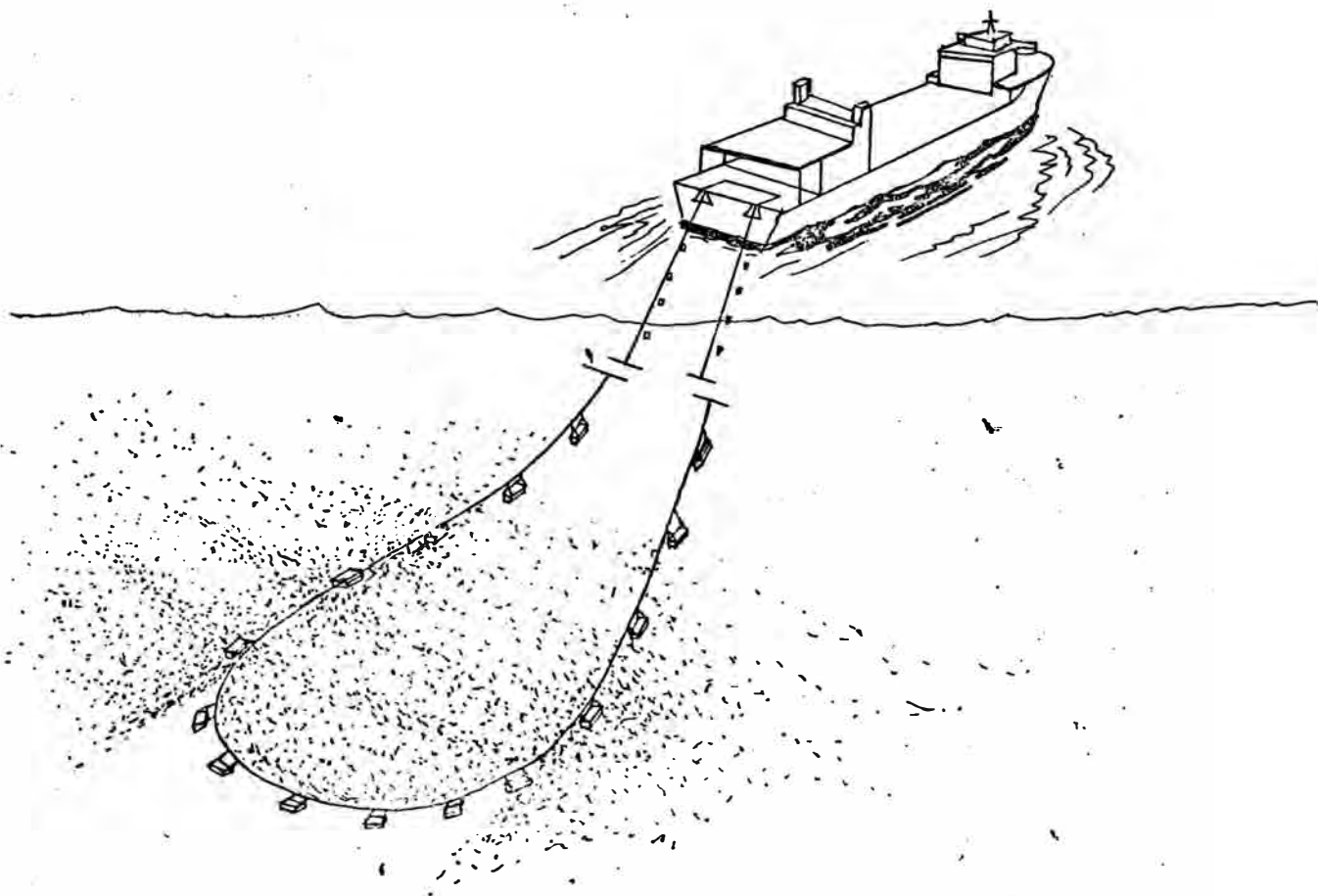
Durante el ensayo llegaron a la conclusión de que en este sistema no <sup>se</sup> podía ampliar la zona de dragado, por que la separación de los cables estaba limitado por la longitud del barco y por la baja velocidad del movimiento lateral. Luego era necesario barcos de mayor longitud o buscar variantes del sistema. Como solución a estas desventajas han propuesto el sistema con dos barcos y el de tipo popa.

#### - SISTEMA TIPO POPA

Esta segunda variante del sistema CLC con un barco, también fue propuesto por Masuda como solución al anterior, consiste en que el cable <sup>de</sup> dragado llega y baja por la popa del barco, el esquema se puede apreciar en la Figura 26. Las dos líneas de cable son separadas por la fuerza hidrodinámica del agua, como consecuencia del desplazamiento hacia



**Fig. N° 25.- SISTEMA CLC , TIPO POPA - PROA**



**Fig. N° 26.- SISTEMA CLC , TIPO POPA**

adelante del barco. Al sistema también se le llama HDS - CLB (HIDRODYNAMIC SPARATION-CONTINUOUS LINE BUCKET).

Mediante este sistema piensan ampliar el área de dragado, elevar la tasa de producción, tener mayor facilidad de operación y posicionamiento del barco, aprovechando el desplazamiento hacia adelante de todo el sistema.

#### 6.1.2 SISTEMA CON DOS BARCOS

En 1970, M. Gauthier de CNEOX (CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DE'S OCEANS), propuso emplear dos barcos con el fin de ampliar la separación de los cables y de este modo lograr mayor superficie de dragado, para así elevar la tasa de producción. En el sistema, uno de los barcos lanza el cable y el otro lo recupera, la distancia entre los barcos es de cientos de metros y hay poca posibilidad de que el cable pueda flotar o enredarse. No es necesario que los barcos mantengan rumbo paralelo, el barco del cual bajan los cangilones puede operar por ejemplo a una milla de distancia o detrás del barco que recupera los cangilones cargados. (Fig. 27).

La amplitud y la forma de operación de dragado dependerá de la velocidad de todo el sistema flotante

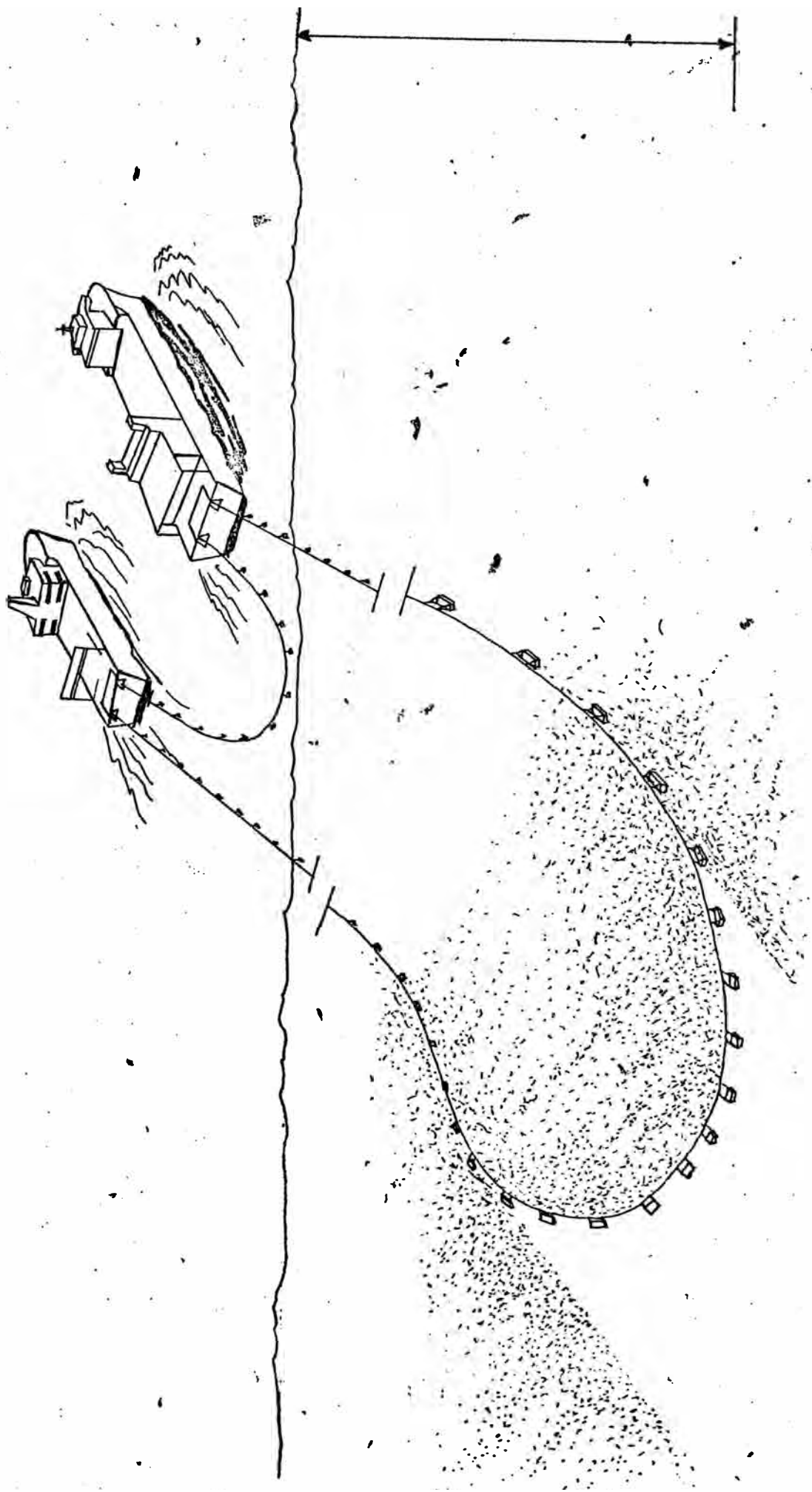


Fig. N° 27.- EL SISTEMA CLC DE DOS BARCOS

el posicionamiento de los barcos, el intervalo entre los cangilones y la velocidad de circulación del cable.

La máxima capacidad de los barcos será utilizada, sí el cable de dragado llega a vencer las rugosidades del suelo (grietas, montículos y a otros obstáculos). Es posible, que sí la velocidad óptima hallada durante los ensayos es incrementada, el cable de arrastre se puede levantar debido a la resistencia al remolque. El estudio del sistema CLC con dos barcos se está desarrollando bajo la dirección técnica de Gauthier y con el auspicio de 24 compañías internacionales, las cuales forman parte de "CLB INTERNATIONAL SYNDICATE". El ensayo del sistema estuvo programada para el año 1976, parece que aún no se ha realizado dicho evento.

## 6.2 TIPOS DE CANGILONES

Los cangilones como se puede apreciar en la Figura N° 28 están suspendidos o fijados al cable mediante dos brazos cada brazo tiene dos barras y una de ellas es más larga que la otra, por consiguiente el cangilón cuelga en forma inclinada. Por combinación de los dos brazos el ángulo de inclinación se mantiene en dirección opuesta a la de la corriente tanto en la etapa de descenso como en la de izaje.



Durante los diferentes ensayos del sistema CLC han sido experimentados varios tipos de cangilones entre ellos tenemos tipo: red, caja, plato y cangilón con dientes.

La capacidad de producción del sistema dependerá indudablemente de los siguientes factores:

- Tamaño de los cangilones
- El espaciamiento de los cangilones en el cable
- La velocidad de rotación de cable.
- La eficiencia de dragado de los cangilones
- La topografía del fondo y la consistencia del suelo.

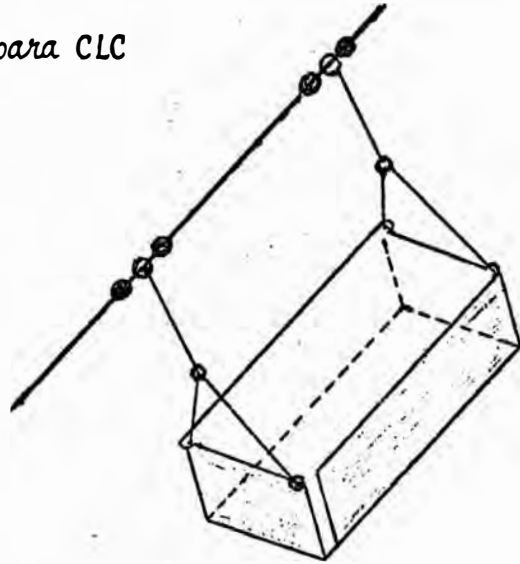
La eficiencia del dragado dependerá del diseño y la práctica operacional; es decir, de la sincronización de la velocidad del cable, la velocidad del barco y el arrastre de los cangilones en el fondo del mar.

### 6.3 ALGUNOS DATOS Y PARAMETROS TECNICO-ECONOMICOS PRELIMINARES DEL SISTEMA CLC .

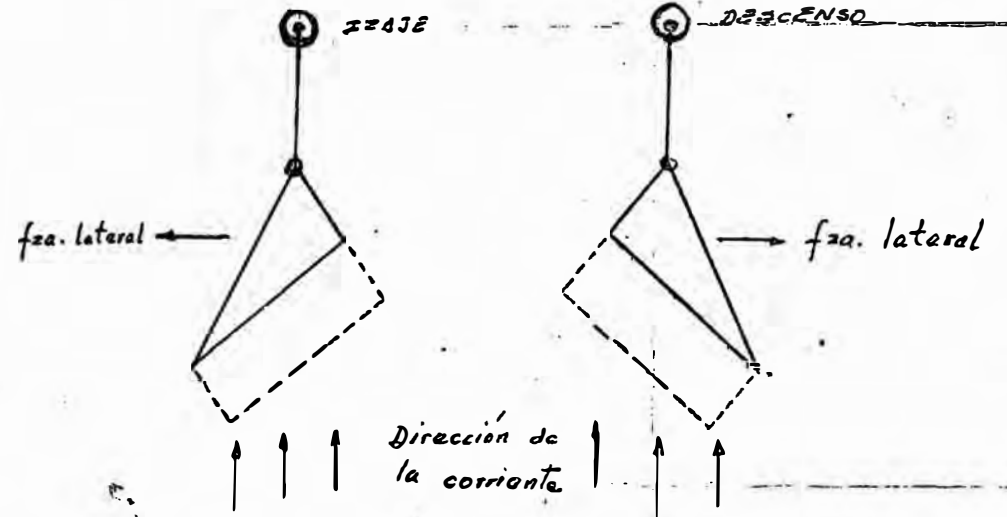
Mediante los diferentes ensayos del sistema han encontrado que la velocidad promedio del barco durante la operación del minado debe ser 0.6 millas/hr., la velocidad de tracción o rotación del cable entre 0.3 y 0.6 m/seg. Por otro lado, han ensayado con cables de polipropileno de

TIPO DE CANGILONES

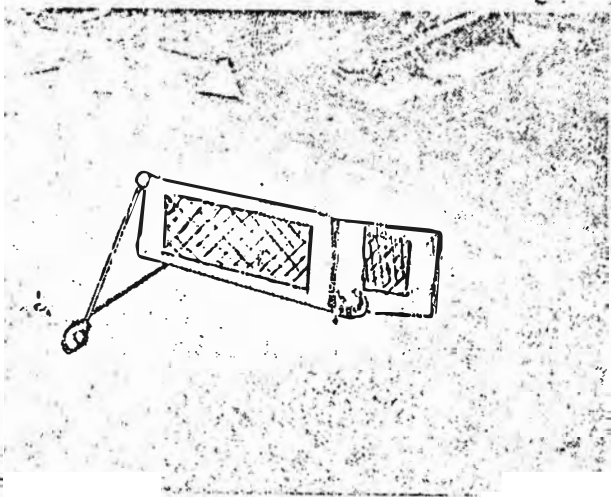
Fig. 28 Cangilón para CLC tipo Popa



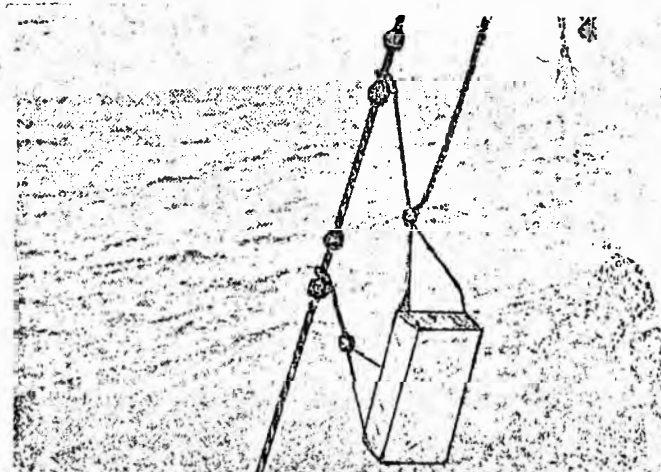
Posición de los cangilones durante el descenso e izaje



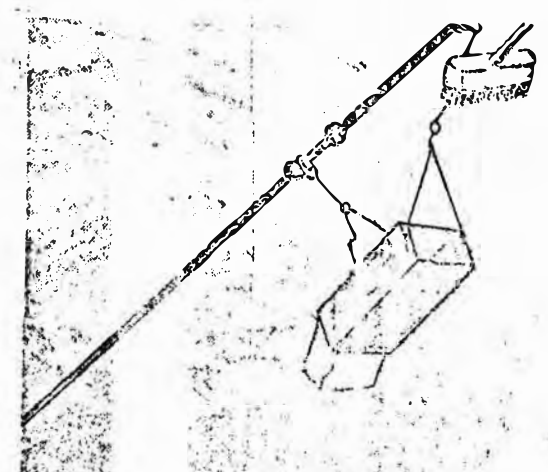
Cangilón tipo Red (Net)



Cangilon tipo Caja (Box)



Cangilón tipo Placas (Plate)



hasta 11,500m de longitud con diámetros entre 40 y 24 mm. y con una resistencia a la rotura de 500 toneladas. El tamaño de los cangilones que se han construido para los ensayos están entre los 0.5 y 2 m<sup>3</sup>, la cuales han estado fijados a intervalos de 25 a 50 m.

Como resultado de los ensayos del sistema realizados hasta la fecha, los expertos en minería oceánica han manifestado que el sistema con dos barcos y el de tipo popa tienen mayores ventajas, con respecto al sistema prototipo, y es posible que ambos sistemas se emplee en la explotación de los nódulos.

Los sistemas de bombeo están siendo diseñados para alcanzar una tasa de producción de 5,000 tons/diarias, parece que el sistema CLC no puede alcanzar esta tasa, aunque es posible diseñar para tal volumen de producción, pero piensan incrementar la producción empleando varios barcos mineros.

Por otro lado, existe el problema en cuanto al diseño de los barcos mineros; es decir, diseñar un barco para la operación de minado y el transporte o diseñar barcos independientes, para las dos funciones. Para el sistema CLC es factible el primero, mientras que para el sistema de bombeo el segundo.

M. Gauthier está estudiando la posibilidad de obtener una

tasa de producción de 4,000 tons/día mediante el sistema - CLC con dos barcos. En el sistema CLC tipo popa el barco cumplirá las funciones de minado y transporte con una capacidad de 50,000 toneladas, la operación de minado requerirá como mínimo de 34 días a una velocidad de 1,500 tons/día, el viaje entre Hawaii y Japón toma 30 días.

El ciclo de una operación de minado tomará aproximadamente 70 días, incluyendo 3 en el puerto y 3 días de reserva. - Con los datos anteriores es posible alcanzar 5 ciclos, por año y una producción total de 250,000 tns/barco. En consecuencia, una empresa que está planeando producir 1.5 millones de toneladas de nódulos, con concesiones en alrededores de Hawaii y sus instalaciones de planta de procesamiento - en Japón necesitará como mínimo 6 barcos mineros. Según - las estimaciones realizadas por los Japoneses el costo del sistema CLC será de 4.2 millones de dólares, los costos anuales alcanzarán 1.4 millones de dólares incluyendo todos los materiales y el costo de nódulos en el puerto Japonés se estima que será 28 \$/Ton. y se espera que el precio del contenido metálico alcanzará 105 \$/Ton. (fuente: THE 3<sup>o</sup> -- INTERNATIONAL OCEAN DEVELOPMENT CONFERENCE - VOLUMEN III. 318 - 1975).

## 6.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL SISTEMA

### ALCANCES.

Los alcances o ventajas preliminares que ofrece el sistema CLC con respecto a los sistemas de bombeo, en concordancia a los resultados obtenidos a través de varios ensayos se puede resumir en los siguientes:

- El cable es más flexible que las tuberías de bombeo, es más resistente a un fuerte oleaje, al movimiento propio del barco y a las diferentes direcciones de corrientes submarinas. A todo lo anterior podríamos llamar fácil maniobranilidad.
- Considerando que el peso del cable en el agua es prácticamente cero, el sistema CLC en conjunto es mucho más liviano que el sistema de bombeo.
- Mediante el uso de muchos cangilones se puede incrementar la tasa de producción, además los cangilones son inspeccionados cada vez que llegan a la superficie.
- En el sistema CLC ningún equipo de recolección opera en el fondo, requiere de plataformas de trabajo, solamente para el almacenaje de nódulos.

Todos los equipos de tracción y de manejo o accionamiento

están localizados a bordo del barco.

- Es posible que no haya polución de las aguas superficiales por los sedimentos y aguas del fondo, debido a que los nódulos son limpiados casi en el fondo.
- Los componentes del sistema CLC pueden ser montado casi en cualquier tipo de océanos sin mayores restricciones.

### LIMITACIONES

- Las zonas angostas o cerradas (montículos, grietas, etc) no pueden ser dragadas mediante el sistema CLC.
- Es posible que los nódulos de las grandes extensiones -- no sean cosechadas por completo debido a que, hasta la fecha no han fijado la amplitud del área dragada.
- Los otros factores limitantes pueden ser:  
La energía eléctrica, el tamaño de los cangilones y la resistencia del cable.

### 6.5 PAISES AUSPICIADORES DEL SISTEMA CLC

El grupo CLB, es el primer consorcio, que ha surgido para el desarrollo de la minería oceánica, quienes están llevando a cabo la construcción del sistema CLC, que dentro de poco tiempo iniciará la explotación comercial de nódulos.

El grupo fue organizado en 1971 por OCEAN RESOURCES, INC. y participan más de 20 compañías de 6 países, ellos son: - Alemania Federal, Japón, Canadá, los Estados Unidos, Francia y Australia.

Las principales compañías que auspician el desarrollo y la construcción del sistema CLC son las siguientes:

- PREUSSAG A.A.G. (Alemania)
- RHEINBRAUN A.G. (Alemania)
- OCEAN RESOURCES Inc. (California EE. UU.)
- SOC' ETE LE NICKEL (Francia)
- CNEXO (Francia)
- PHELPS DODGE Co. (New York - EE. U.)
- INTERNATIONAL NICKEL Co (Canadá).
- COMINCO Ltd. (Canadá)
- UNITED STATES STEEL (EE.UU.)
- BROKEN HILL PROPIETARY (Australia)
- GRUPO SUMITOMO - D.O.M.A. (DEEP SEA MINERALS ASSOCIATION (Japón).

El Grupo SUMITOMO - D.O.M.A. está constituido por 27 firmas japonesas que cuentan con el apoyo del ministerio del Comercio Internacional e Industrial del Japon.

## CAPITULO VII

### METALURGIA DE LOS NODULOS POLIMETALICOS

#### 7.1 GENERALIDADES

Los nódulos polimetálicos de los fondos marinos son depósitos singulares y complejas, por ello requieren técnicas de procesamiento metalúrgico adecuado a sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas. Así los nódulos del Atlántico contienen mayor cantidad de calcio, mientras que los del Pacífico, contienen más sílice (Cuadro N°6).

En consecuencia, la metalurgia de los nódulos de una determinada zona no tiene una aplicación directa en otra.

Aunque en los últimos años, los nódulos han recibido gran atención por parte de los científicos y los consorcios transnacionales, pequeños detalles han sido publicados acerca de su metalurgia extractiva. Muchos de los resultados de estudios realizados por empresas privadas son guardadas muy celosamente, solo se disponen de los patentes y las conclusiones.

Hasta la fecha, hay dos enfoques básicos, acerca del procesamiento metalúrgico de nódulos: El pirometalúrgico y el hidrometalúrgico.



El proceso pitometalúrgico ha sido patentado por la INTERNATIONAL NICKEL Co (Inco), mediante este proceso se recuperarán: Cobre, níquel y cobalto de los nódulos. Sin embargo, la escoria está enriquecida de manganeso, el cual puede ser recuperado, si es deseado. La Inco ha manifestado que la recuperación de los tres metales es superior al 90%.

Mediante el proceso hidrometalúrgico, además de los elementos que se recupera en el pirometalúrgico se obtiene el manganeso, particularmente, mediante el proceso de lixiviación con ácido clorhídrico patentado por DEEPSEA VENTURES Inc.

Tal como el sistema de explotación, que se ha desarrollado un solo método; en el presente capítulo también se desarrollará únicamente el proceso hidrometalúrgico y sus variantes que están siendo ensayadas las diferentes empresas e instituciones a nivel de planta piloto.

## 7.2 PROCESO DE LIXIVIACION AMONIACAL

El diagrama del proceso se muestra en la Fig. 30, la cuál tiene mucha similitud al proceso CARON usado en NICARO (Cuba), para el mineral de níquel laterítico (BOLDT, 1967). La KENNECOTT COPPER Co, ha patentado la modificación del proceso aplicable a los nódulos (AGARWAL, et al, 1974; Redman, 1973, Wilder y Andreola, 1973).

En este proceso, el nódulo primeramente es chancado y luego secado en un horno de cama fluida o en un horno rotatorio, con el fin de remover y liberar de 30 a 45 % de la humedad asociada. Posteriormente el producto seco es molido aproximadamente a malla 20 y reducido en un horno de cama fluida o de hogar múltiple, donde es tostado a una temperatura de  $1,100^{\circ}\text{F}$  empleando un gas reductor con una composición de 8 % de  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}$ .

Los contenidos metálicos son lixiviados a partir del mineral reducido utilizando carbonato de amonio amoniacal, el licor lixivante contiene de 50 a 100 gr/l de  $\text{NH}_3$  y de 30 a 60 gr./ de  $\text{CO}_2$ .

El aire es insuflado a los tanques de lixiviación para oxidar los metales reducidos y hacerlos solubles como amina compleja en el licor amoniacal.

Los residuos de la lixiviación entran a un circuito de decantación en contra corriente y en múltiples etapas, donde el metal solubilizado, es lavado de la ganga y luego son conducidos a un espesador. Las colas son enviadas a una torre de destilación con vapor para la recuperación de amoniacal.

El licor obtenido en la operación de lavado en DCC que contiene al níquel, cobre y cobalto solubilizados entran a un circuito de separación por intercambio iónico (MERIGOLD,

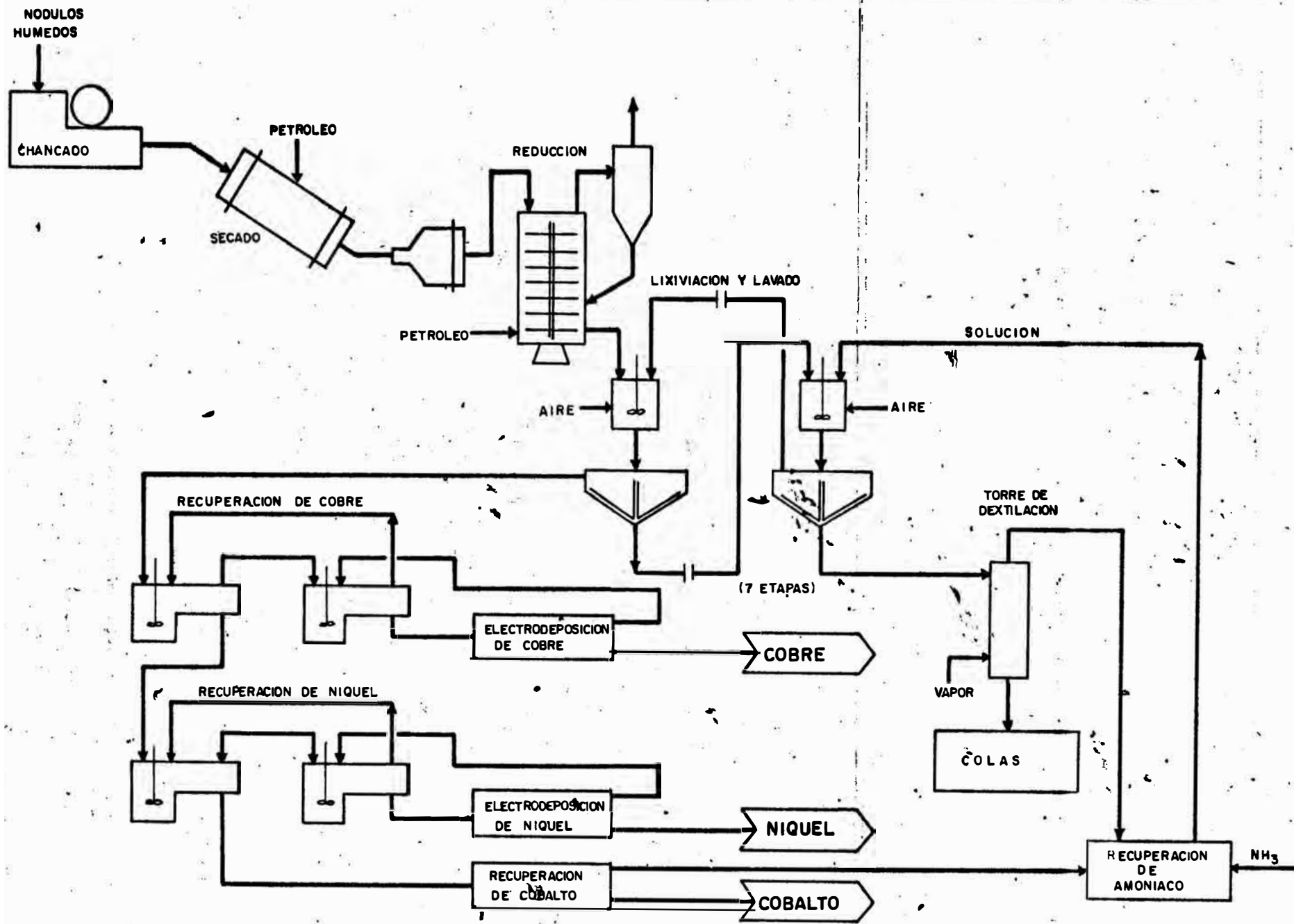


Fig. N° 30.- PROCESO DE LIXIVIACION ,AMONIACAL

1972). Cobre es el primer elemento extraído del licor utilizado LIX - 64 N de 10 % en volumen en kerosene.

El cobre cargado de materia orgánica es limpiado mediante una solución gastada de cobre - níquel obtenido del circuito de extracción del níquel, para eliminar amoniaco y níquel. Se realiza una segunda limpieza con  $H_2SO_4$  diluido para eliminar los contenidos bajos de amoniaco y níquel. El cobre de la carga orgánica es obtenida usando una solución preparada de 150 gr/l . de  $H_2SO_4$ . El electrolito resultante es usado en la electrodeposición convencional para recuperar, cobre en forma de cátodo.

La solución rica de la etapa de extracción de cobre se envía a la etapa de extracción de níquel. La fase orgánica conteniendo 40 % en volumen de LIX - 64 N y el níquel extraído es limpiada con una solución preparada con 10 gr/l de  $Na_2SO_4$  y aproximadamente 50 gr/l de níquel. Como en el caso de cobre, el níquel es electrodepositado. Finalmente el cobalto es recuperado por precipitación en la solución rica en LIX.

### 7.3 PROCESO DE LIXIVIACION CON ACIDO SULFURICO

Este proceso, es la adaptación del proceso MOA BAY usada para lateritas por FREEPORT SULFUR (BOLTT 1967; CARLSON Y SIMON, 1961).

Los nódulos después del chancado y la molienda son puestos en contacto con el ácido sulfúrico en múltiples etapas y en forma simultánea en las autoclaves de lixiviación, a la temperatura de 450°F y a una presión de saturación aproximadamente de 500 psig.

El residuo de la lixiviación, es lavado en un sistema de seis etapas por medio de una decantación en contra corriente. El licor resultante contiene menos de 5 gr/ de  $H_2SO_4$ , luego este es neutralizado a un pH 2 con amoníaco para permitir la separación de cobre es obtenido del LIX por medio de una solución ácida y luego es electrodepositada, la solución rica es neutralizada hasta un pH 6 con amoniaco para permitir la extracción múltiple de níquel y cobalto mediante el reactivo LIX.

El níquel y el cobalto son separados selectivamente, y cada uno de ellos es recuperado por electrodeposición a partir una solución sulfúrica.

Como un subproducto se obtiene el sulfato de amonio, el cual es recuperado de la solución rica de LIX por evaporación y cristalización. La producción es aproximadamente de 0.10 toneladas por una tonelada de nódulos (Fig. 31).

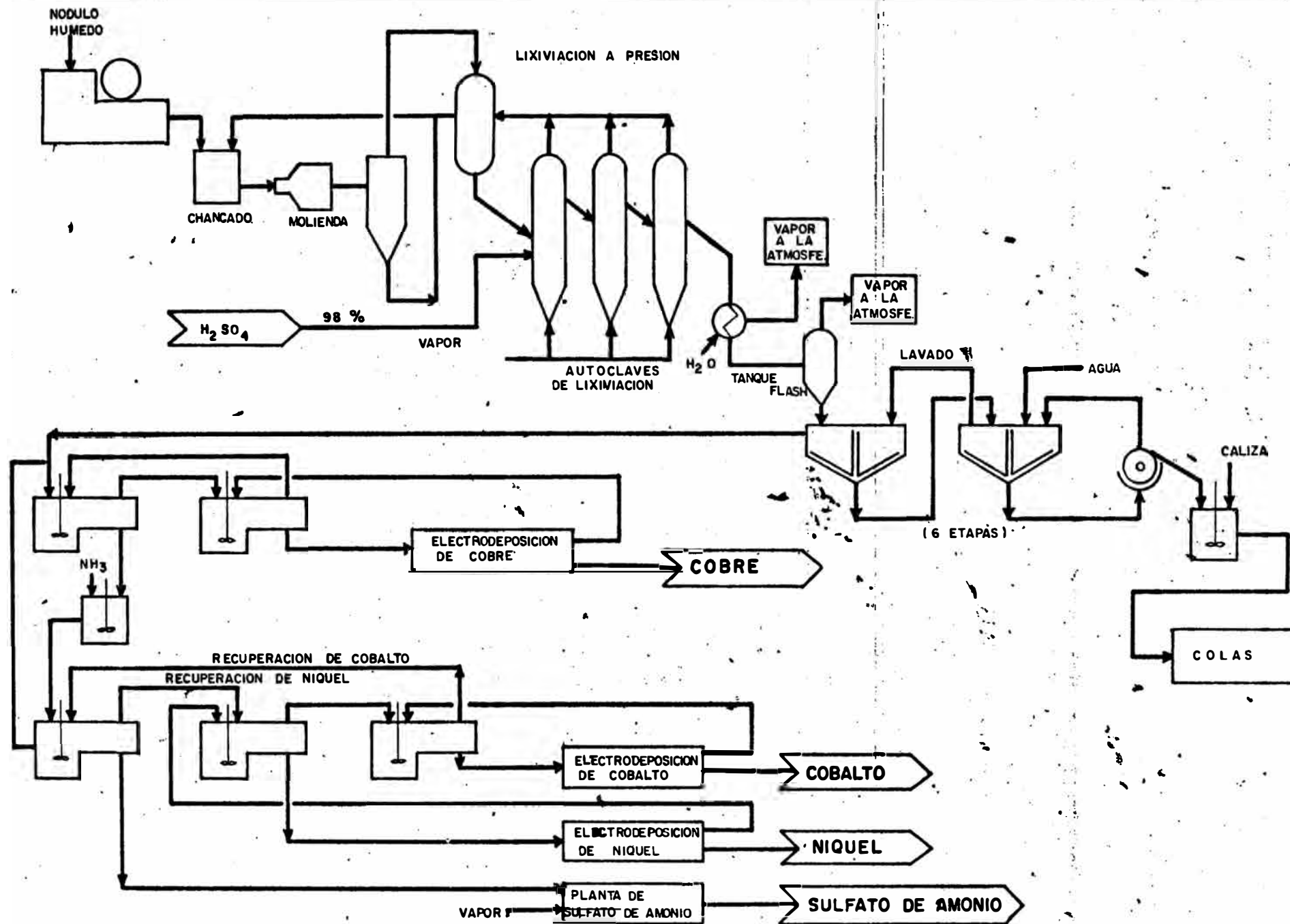


Fig. N° 31.- PROCESO DE LIXIVIACION CON ACIDO SULFURICO

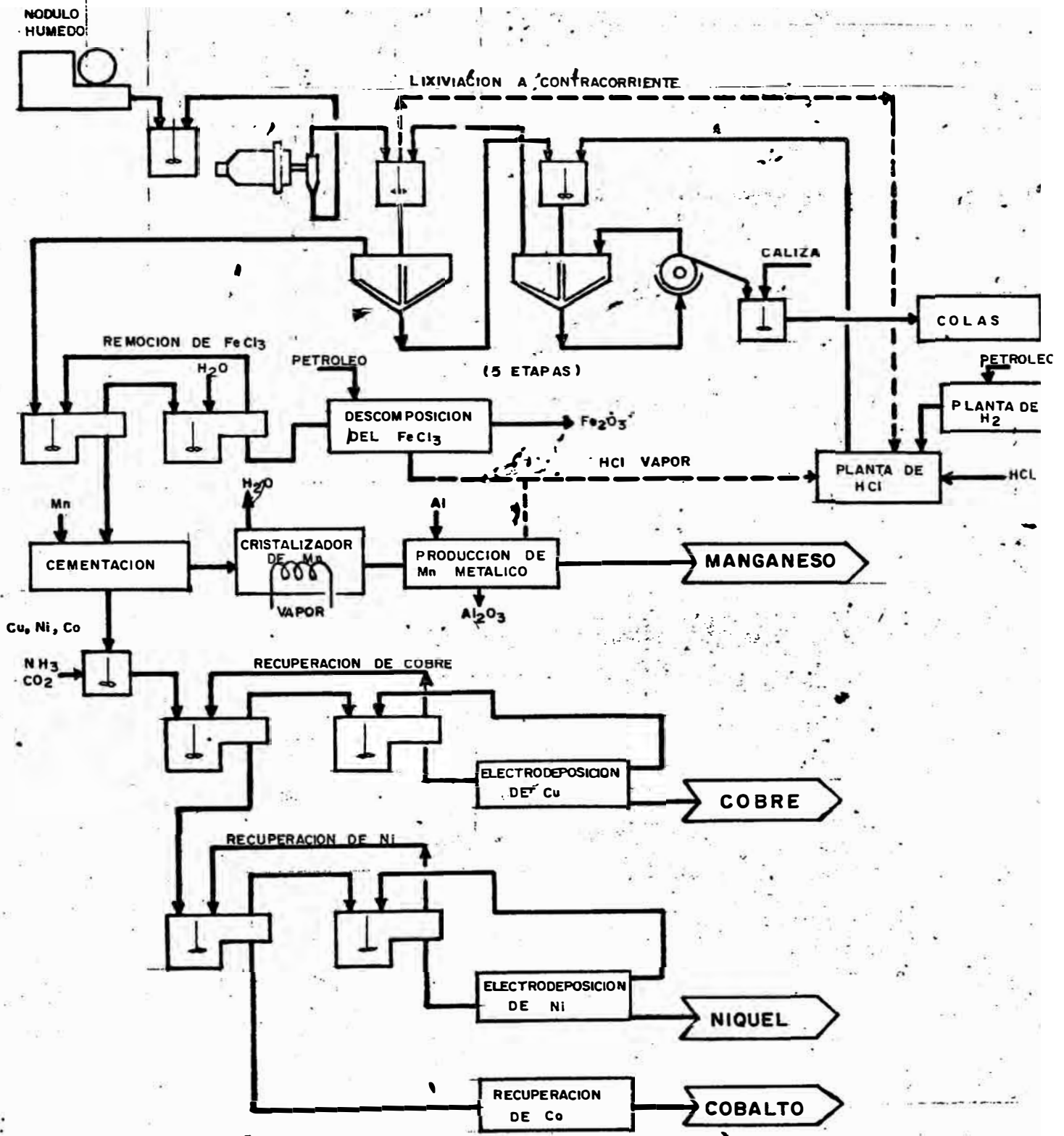
#### 7.4 PROCESO DE LIXIVIACION CON ACIDO CLORHIDRICO

Este proceso se basa en la combinación de los procesos anteriormente descritos. Tienen patentado Kane y Cardwell - (EE.UU., 1974) y Coltrinari (Alemania, 1972), ambas patentes han sido consignadas a DEEPSEA VENTURES, Inc. (Fig.32).

Los nódulos son reducidos y lixiviados en contra corriente en una solución acuosa de HCl a la presión atmosférica. El HCl convierte en cloruros solubles al níquel, cobre, cobalto y la mayor parte de fierro y manganeso, cerca de la mitad del consumo de HCl es requerido para la reducción del manganeso de su valencia 4 a 2; y este HCl es oxidado a cloro.

El cloruro férrico es recuperado selectivamente de la solución rica en metales, por medio de extracción de solventes empleando los reactivos tales como; fosfatos trialcalinos o aminas alifáticas. El cloruro férrico, es separado del orgánico con agua para obtener una solución del cloruro férrico, la cuál es concentrada y luego descompuesto a  $Fe_2O_3$  y HCl. El HCl resultante de la descomposición es recirculado para un nuevo proceso.

El manganeso recirculado es usado para cementar y coprecipitar al cobre, níquel y cobalto en la solución. La solución de cloruro de manganeso obtenido por la cementación, es concentrado para luego hacer precipitar cristales de -



**Fig. N° 32.- PROCESO DE LIXIVIACION CON ACIDO CLORHIDRICO**



Mn Cl<sub>2</sub>; los cuales, además son procesados posteriormente con el aluminio metálico para producir manganeso metálico, por desplazamiento. El precipitado mixto de cobre, níquel y cobalto es disuelto en una solución de carbonato de amoníaco. El cobre y el níquel contenidos en la solución son recuperados por el proceso intercambio iónico selectivo, seguido por una electrodeposición. Por último, el cobalto es recuperado de la solución residual por precipitación.

## 7.5 OTROS PROCESOS DE LIXIVIACION

Además de los procesos anteriormente descritos, para el tratamiento metalúrgico de nódulos existen otros, entre ellos tenemos a : lixiviación con SO<sub>2</sub>, tostación con SO<sub>2</sub> y lixiviación con agua y la bacteriana.

### TOSTACION CON SO<sub>2</sub> Y LIXIVIACION CON AGUA.

Esta técnica es una variación del proceso de lixiviación con ácido sulfúrico, está bosquejada en la patente de DEEPSEA VENTURES, Inc.; consiste en que el SO<sub>2</sub> y el oxígeno del aire son surtidos a los residuos nodulares en la etapa de tostación y luego son lixiviados con agua,

### LIXIVIACION BACTERIANA

H.L. Eherlich y sus asociados en RENSSELAER POLYTECHNIC

INSTITUTE viene investigando la lixiviación bacteriana de nódulos polimetálicos desde el año 1961, es posible que el manganeso sea recuperado por el proceso de colas similar a la lixiviación residual (RI TINSLEY, 1975).

## 7.6 LAS PRINCIPALES ECUACIONES DE LAS REACCIONES EN LOS PROCESOS DE LIXIVIACION.

En los procesos de lixiviación, la disolución del mineral es de especial importancia para la evaluación inicial de la aplicabilidad de un determinado proceso. En una manera muy simplificada las etapas individuales de disolución son descritos por las ecuaciones mostradas en el Cuadro N° 7.

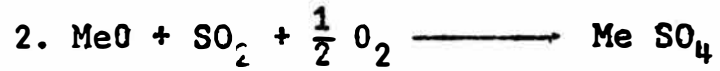
Las ecuaciones (1) (2) relacionan la disolución con dióxido de azufre ( $SO_2$ ); la cual procede en el caso de manganeso - reducir de su valencia tetravalente a bivalente. La Ec.(3) describe la disolución de los óxidos metálicos con el ácido sulfúrico, el producto de estas reacciones son sulfatos metálicos solubles.

Las dos ecuaciones siguientes transforman los óxidos metálicos a cloruros metálicos solubles por la acción de HCl. En estos procesos, el manganeso es reducido por el ácido clorhídrico y la cantidad equivalente de cloro elemental es obtenido como un subproducto.

Las Ecs. de (6) a (8) describen los procesos de reducción

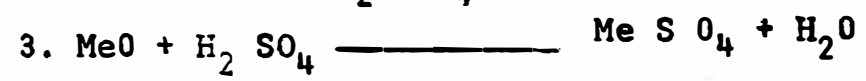
LAS PRINCIPALES ECUACIONES DE LAS REACCIONES EN LOS PROCESOS DE LIXIVIACION

LIXIVIACION CON SO<sub>2</sub>

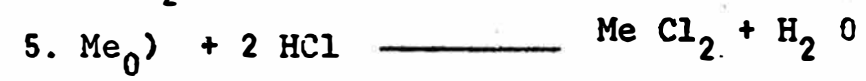
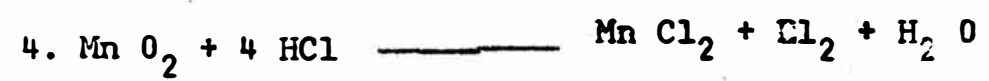


Me : Cu, Ni, Co

LIXIVIACION CON H<sub>2</sub> S O<sub>4</sub>



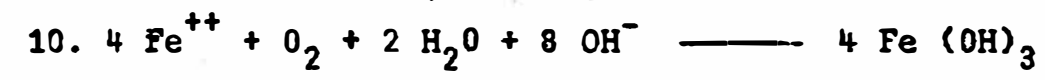
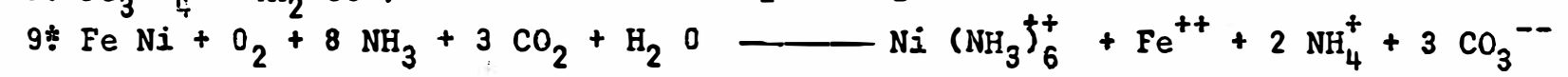
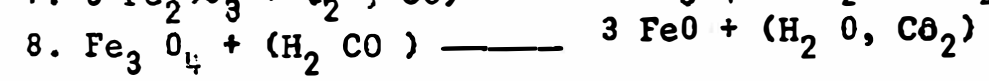
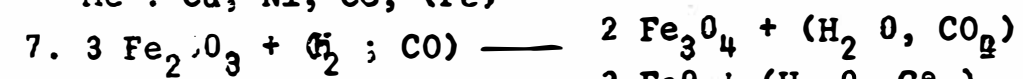
LIXIVIACION CON HCl



LIXIVIACION AMONICAL O NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>



Me : Cu, Ni, Co, (Fe)



\* APLICACIONES SIMILARES PARA Cu y Co  
Fuente: Metallgesellschaft A.G., Ed. 18 - 1975

térmica, mediante la cual los contenidos metálicos son convertidos a una forma que sean capaces de lixivarse con  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ . La Ec. (9) relaciona el proceso de disolución y finalmente la Ec. (10) la reprecipitación simultánea del fierro, la cual después de esta precipitación permanece como parte principal en la lixiviación residual.

El porcentaje de recuperación de los elementos han sido indagados por medio de ensayos en laboratorio, y está relacionado sólo a las etapas de disolución, exceptuando el proceso de fundición (Krüger y Schwarz, 1975).

El Cuadro N° 8, se refiere a los procesos de lixiviación con o sin tratamiento preliminar del mineral, el porcentaje de recuperación está definida por la porción disuelta. En el caso de fundición, la recuperación está referida a la cantidad de metal separada de la escoria.

CUADRO N° 8

RECUPERACION DE LOS METALES MEDIANTE LOS DIFERENTES PROCESOS METALURGICOS  
(a nivel de laboratorio).

| P R O C E S O S                             | % DE RECUPERACION |     |      |    |    |
|---|-------------------|-----|------|----|----|
|   | Mn                | Fe  | Cu   | Ni | Co |
| - Tostación y sulfatización                 | 99                | 5*  | 88   | 93 | 97 |
| - Lixiviación con $\text{SO}_2$             | 97                | 20* | 95** | 94 | 95 |
| - Lixiviación con $\text{H}_2\text{SO}_4$   | 5                 | 5   | 85   | 92 | 84 |
| - Lixiviación con HCl                       | 99                | 89  | 99   | 99 | 98 |
| - Térmico con HCl                           | 94                | 1   | 96   | 97 | 97 |
| - Lixiviación con $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ | 1*                | 1*  | 85   | 82 | 80 |
| - Fundición con Carbono                     | 10                | 90  | 98   | 98 | 98 |

\* Después de la precipitación de fierro  
\*\* Después de la segunda lixiviación.

## 7.7 COMPARACION DE LOS PROCESOS ESTUDIADOS

Al analizar los diagramas de los tres primeros procesos, se encuentra una considerable similitud, en la parte final de cada uno de ellos, es decir, en la separación y producción del cobre, níquel y cobalto, además en la distribución de las colas residuales. La mayor diferencia que se encuentra en los procesos; es el sistema de lixiviación incluyendo cualquier pre-tratamiento para mejorar la solubilidad, en el método de recirculación de reactivos y en la producción de manganeso en el proceso de HCl. Un análisis económico detallado de cualquier proceso hidrometalúrgico similar a estos muestran que más del 80 % de los costos de producción derivan de los tres siguientes factores (Agarwal y Beecher, 1976): consumo de energía y reactivos y los costos relacionados directamente a la inversión de capital. Por lo tanto, una comparación económica muy significativa puede estar basada sobre estos tres factores.

En el Cuadro N° 9, se presenta el resumen de costos de los tres procesos. En seguida hacemos un pequeño análisis de los procesos basándonos a las inversiones y los costos.

De todos los procesos de lixiviación anteriormente estudiados, sólo el proceso con el HCl tiene proyectado la producción de manganeso metálico, pero este tiene ciertas desventajas con respecto a los otros, uno de los cuales -

son los costos de inversión y de operación del proceso en la conversión de  $Mn Cl_2$  a  $HCl$  y  $Mn (OH)_2$  sin la producción de  $Mn$  metálico. Por otro lado, es posible que la producción de  $Mn$ , no justifique las grandes inversiones a menos que aumente el precio actual del metal. (54/1b).

Un incremento sustancial en el precio del manganeso podría solucionar este problema. Pero dado ello,  $Mn$  también puede ser recuperado de las colas de lixiviación de los otros dos procesos, técnicos han indicado que las colas contienen cerca del 30% de  $Mn$ . Otra de las salidas del proceso  $HCl$  ha sido indicado por Ulrich et al. (1,973), la cual consistiría en el empleo de alta presión y temperatura en la etapa de lixiviación, cerca a los  $400^\circ F$  pueden ser lixiviados 90 % de  $Ni$  y 95 % de  $Cu$  y 50 % de  $Co$ ; y sólo, serían solubilizados de 10-15% de  $Mn$  y de 1 - 2 % de  $Fe$ . Desde el punto de vista del riesgo en los negocios parece ser más factible sólo la recuperación de  $Ni$ ,  $Cu$  y  $Co$ . Si fuera así el proceso amoniacal es el más económico; debido a que tiene bajos costos en inversión y en reactivos. Los requerimientos de energía son mayores que para el proceso de  $H_2 SO_4$ ; la cual puede ser compensado por el alto costo de los reactivos empleados en este último proceso.

El mayor consumo de energía en el proceso amoniacal, es en la etapa de secado, y reducción a alta temperatura ( $1100^\circ F$ )

## RESUMEN DE LOS COSTOS COMPARATIVOS DE LOS TRES PROCESOS HIDROMETALURGICOS

|  | ENERGIA<br>(BTU*/Ton) | REACTIVOS<br>(\$/Ton). | INVERSIONES<br>(\$ Ton anuales) |
|--|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| <b>AMONIACAL</b>   |                       |                        |                                 |
| - Sistema de Lixiviación   | 4                     | 1                      | 25 - 33                         |
| - Recirculación de reactivos                                       | <u>2 - 3</u>          | ----                   | <u>6 - 3</u>                    |
| TOTAL  | 6 - 7                 | 1                      | 31 - 46                         |
| <b>ACIDO SULFURICO</b>   |                       |                        |                                 |
| - Sistema de Lixiviación   | 1 - 2                 | 12 - 15                | 48 - 80                         |
| - Recirculación de reactivos                                       | ----                  | +                      | +                               |
| TOTAL  | 1 - 2                 | 12 - 15                | 48 - 80                         |
| <b>ACIDO CLORHIDRICO</b>   |                       |                        |                                 |
| - Sistema de Lixiviación   | -----                 | 1                      | 15 - 25                         |
| - Recirculación de reactivos                                       | 4 - 6                 | ----                   | 14 - 20                         |
| - Producción de manganeso  | <u>3 - 5</u>          | <u>36 - 60</u>         | <u>167 - 260</u>                |
| TOTAL (Con.Prod. de Mn)  | 7 - 11                | 37 - 61                | 196 - 305                       |
| <b>ALTERNATIVA:</b>  |                       |                        |                                 |
| - Conversión de Mn Cl <sub>2</sub> a<br>HCl y Mn (OH) <sub>2</sub> | <u>3 - 5</u>          | <u>10 - 12</u>         | <u>6 - 10</u>                   |
| TOTAL (sin prod. de Mn)  | 3 - 11                | 11 - 13                | 15 - 55                         |

\* Millones de BTU

+ Asumiendo que los ingresos por ventas es igual a los costos

Fuente: Jom - Abril 1976; Publicación de la Sociedad Metalúrgica de AIME.

## CAPITULO VIII

### VOLUMENES DE PRODUCCION Y CONSUMO Y LOS ASPECTOS ECONOMICOS EN LA MINERIA OCEANICA

#### 8.1 VOLUMEN DE PRODUCCION CONTINENTAL ACTUAL DE MANGANESO, NIQUEL, COBRE Y COBALTO.

La minería de nódulos producirá cuatro metales: Manganeso (se ha advertido en el capítulo anterior que sólo una empresa ha manifestado su intención de producir este metal); níquel, cobre y cobalto. Otros metales tales como: Zinc, molibdeno, plomo, vanadio, plata, etc. tal vez lleguen a obtenerse de la elaboración de nódulos pero en volúmenes poco significativos.

En los cuadros N° 10 al 13, se presenta a los principales países productores de los cuatro metales correspondiente a los últimos 16 años. En ellos se observa que solo ciertos países tienen el privilegio de producir tales metales y en su mayoría en vías de desarrollo.

Luego se considera un pequeño análisis del volumen de producción de los 4 metales correspondiente a 1975, con respecto a los años anteriores.

#### MANGANESO

La producción mundial de mineral de Mn en 1975 ha sido de 22.320,000 T.M.; con un contenido metálico promedio de 45%.



El mayor productor de Mn es la URSS, en 1975 ha producido el 39 % (8.8 millones TM.) del total mundial, Sudáfrica el 24 %, Brasil y Gabón el 21 %, los otros productores son India y Australia.

### NIQUEL

La producción está concentrada en unos pocos países: Canadá, Nueva Caledonia y la URSS, 1975 han producido el 75 % de la producción mundial. Otros países productores son: Cuba, Australia, EE.UU., Indonesia, República Dominicana y Filipinas.

### COBRE

Los principales países productores de cobre son: EE.UU., URSS, Canadá, Chile, Zambia, Zaire y Perú. El total de -- la producción minera mundial alcanzó a 7'311,600 TM., un 7 % menos que en 1974. EE.UU. produjo el 16 %, y los países miembros del CIPEC (Chile, Zambia, Zaire y Perú) el 28 % del total mundial respectivamente.

Otros países, además de los nombrados son productores de - cobre los que después de abastecer sus necesidades inter - nas exportan sus excedentes.

## COBALTO

Toda la producción de cobalto se obtiene como subproducto, por lo que la cantidad disponible depende de la extracción de otros minerales primarios (cobre, níquel y otros).

La producción mundial de cobalto en 1975 alcanzó 23,800 TM. de los cuales Zaire produjo el 58 % del total.

Otros países productores son: Zambia, Canadá, Marruecos URSS, Finlandia, Australia y Alemania Occidental. La estructura del mercado de cobalto es marcadamente dominado por Zaire.

### 8.2 VOLUMEN DEL CONSUMO ACTUAL Y LA FUTURA DEMANDA DE: Mn, Ni, Cu y Co.

como se aprecia en el Cuadro N°14, la demanda por los metales: Níquel, cobre, cobalto y manganeso aumentará considerablemente a largo plazo. Debido al intenso incremento demográfico tanto en los países industrializados como en los del tercer mundo y el deseo de éstos por la industrialización; además podemos agregar las nuevas aplicaciones tecnológicas que pueden surgir en las próximas décadas.

Es posible que la minería continental, con el correr del

tiempo no estará en condiciones de satisfacer el aumento de la demanda mundial por las materias primas, particularmente algunos minerales. La escasez de tales minerales debe ser previsto en ciertos campos, en concordancia al incremento de la demanda actual; en caso contrario este puede causar el agotamiento de uno y otros depósitos al final del presente siglo. Sin embargo, las posibilidades técnicas para una extracción económica de los yacimientos de baja ley, son muy limitadas. Debido a ello, en los últimos años se le está dando un mayor énfasis a la investigación de los métodos de explotación y el tratamiento metalúrgico en la minería oceánica.

En los Cuadros Nº 15 y 16, se presenta el consumo mundial de níquel y cobre por países.

El país mayor consumidor de níquel es los Estados Unidos, tienen un consumo promedio del 25 % de la producción mundial y el 38 % del volumen de consumo. El segundo país -- consumidor es el Japón con el 15 % de la producción mundial, los países que tienen menor consumo son: Alemania Federal, Inglaterra, Francia, etc. En cuanto al cobre, el país mayor productor y consumidor es los Estados Unidos, en 1974 tuvo un consumo de 20 % del mundial. Otros países consumidores de cobre son: Mercado común Europeo, Japón, URSS., Alemania Federal, Inglaterra, Francia y otros.

CUADRO Nº 10

PRODUCCION MUNDIAL DE MINERAL DE MANGANESO ( 1000 T. M )

| AÑO  | U. S. S. R. | SUDAFRICA | BRASIL | GABON  | INDIA  | AUSTRALIA | OTROS  | TOTAL MUNDIAL |
|------|-------------|-----------|--------|--------|--------|-----------|--------|---------------|
| 1965 | 7643.7      | 1555.0    | 1385.0 | -----  | 1492.0 | 102.0     | 5423.5 | 17601.2       |
| 1966 | 7118.1      | 1630.0    | 1228.5 | -----  | 1664.5 | 273.1     | 5888.2 | 17885.2       |
| 1967 | 7110.0      | 1802.3    | 1192.7 | -----  | 1586.3 | 564.3     | 4617.9 | 16873.5       |
| 1968 | 6512.4      | 1956.1    | 1666.8 | 1244.7 | 1589.5 | 737.5     | 3058.1 | 16765.2       |
| 1969 | 6500.0      | 2186.6    | 1995.0 | 1382.0 | 1474.0 | 882.1     | 2887.3 | 17307.0       |
| 1970 | 6787.0      | 2658.2    | 1864.2 | 1441.5 | 1638.6 | 745.2     | 2941.8 | 18075.6       |
| 1971 | 7260.3      | 3210.8    | 2581.2 | 1851.6 | 1826.1 | 1042.0    | 3088.2 | 20860.2       |
| 1972 | 7757.1      | 3245.6    | 2041.2 | 1921.3 | 1629.0 | 1158.6    | 2937.7 | 20690.5       |
| 1973 | 7936.2      | 4142.5    | 2140.0 | 1903   | 1522.8 | 1510.2    | 2705.8 | 21861.3       |
| 1974 | 8100.0      | 4500.0    | 2160.0 | 1890.0 | 1350.0 | 1755.0    | 2745.0 | 22500.0       |
| 1975 | 8800.0      | 5345.9    | 2400.0 | 2400.0 | 1670.0 | 1500.0    | 204.1  | 22320.0       |

Fuente: American Metal Market, Metal Statics, 1974- 1975

CUADRO Nº 11

PRODUCCION MUNDIAL DE NIQUEL (1000 T.M.)

| AN O | CANADA | NUEVA CALEDONIA | U.S.S.R. | CUBA | EE.UU. | AUSTRALIA | INDONESIA | CTROS. | TOTAL MUNDIAL |
|------|--------|-----------------|----------|------|--------|-----------|-----------|--------|---------------|
| 1960 | 194.6  | 53.5            | 58.0     | 14.5 | 11.4   | -----     | ---       | 9.1    | 341.7         |
| 1961 | 211.4  | 53.3            | 75.0     | 16.5 | 10.1   | -----     | ---       | 10.3   | 376.9         |
| 1962 | 210.7  | 33.8            | 80.0     | 16.6 | 10.2   | -----     | ---       | 12.4   | 363.7         |
| 1963 | 169.9  | 44.5            | 80.0     | 21.6 | 10.4   | -----     | 1.0       | 38.3   | 365.7         |
| 1964 | 207.3  | 58.2            | 80.0     | 24.1 | 11.1   | -----     | 1.1       | 13.9   | 395.7         |
| 1965 | 235.1  | 61.2            | 80.0     | 29.1 | 12.3   | -----     | 2.3       | 15.8   | 435.8         |
| 1966 | 202.9  | 67.8            | 85.0     | 27.9 | 12.0   | -----     | 2.6       | 16.3   | 414.5         |
| 1967 | 225.6  | 82.2            | 95.0     | 34.9 | 13.3   | 2.1       | 3.8       | 19.7   | 426.6         |
| 1968 | 239.8  | 116.1           | 103.0    | 37.3 | 12.0   | 4.9       | 5.5       | 23.0   | 543.6         |
| 1969 | 193.8  | 116.8           | 105.0    | 37.0 | 13.3   | 11.2      | 4.9       | 29.7   | 512.6         |
| 1970 | 277.5  | 138.5           | 110.0    | 40.0 | 13.7   | 29.8      | 10.8      | 46.3   | 666.8         |
| 1971 | 267.0  | 150.9           | 110.0    | 34.0 | 14.2   | 35.5      | 14.7      | 51.4   | 677.7         |
| 1972 | 234.9  | 108.1           | 110.0    | 32.0 | 14.2   | 35.5      | 14.1      | 69.2   | 618.1         |
| 1973 | 241.2  | 115.9           | 115.0    | 32.0 | 14.0   | 40.1      | 14.0      | 93.0   | 665.2         |
| 1974 | 271.8  | 136.8           | 120.0    | 36.5 | 12.7   | 41.5      | 16.0      | 101.3  | 736.5         |
| 1975 | 220.0  |                 | 152.0 TM |      | 11.7   | 50.0      | -----     | -----  | 752.0         |

145

CUADRO N° 12

PRODUCCION MUNDIAL DE COBRE (MINERAL)

(1000 T. M.)

| AÑO  | EE.UU  | U. S. S. R. | CANADA | CHILE | ZAMBIA | ZAIRE | PERU  | OTROS  | TOTAL MUNDIAL |
|------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|---------------|
| 1960 | 979.9  | 500.0       | 398.5  | 532.1 | 576.4  | 302.3 | 184.0 | 769.7  | 4241.9        |
| 1961 | 1057.0 | 550.0       | 398.3  | 547.4 | 574.7  | 295.2 | 197.5 | 773.5  | 4393.6        |
| 1962 | 1114.4 | 600.0       | 414.9  | 585.9 | 562.3  | 297.0 | 165.4 | 815.5  | 4555.4        |
| 1963 | 1100.6 | 600.0       | 410.6  | 601.1 | 588.1  | 271.3 | 180.1 | 827.5  | 4824.3        |
| 1964 | 1131.1 | 700.0       | 441.7  | 621.7 | 632.3  | 276.6 | 176.4 | 867.6  | 4947.4        |
| 1965 | 1226.3 | 750.0       | 460.7  | 585.3 | 695.7  | 288.6 | 180.3 | 879.6  | 5065.9        |
| 1966 | 1296.5 | 800.0       | 459.1  | 636.7 | 633.4  | 316.9 | 200.0 | 996.4  | 5316.0        |
| 1967 | 865.5  | 825.0       | 556.4  | 660.2 | 663.0  | 320.5 | 192.7 | 997.3  | 5085.6        |
| 1968 | 1092.8 | 850.0       | 574.5  | 656.9 | 684.9  | 326.0 | 212.5 | 1080.6 | 5479.         |
| 1969 | 1401.2 | 875.0       | 520.0  | 688.2 | 719.5  | 364.1 | 198.8 | 1186.1 | 5952.8        |
| 1970 | 1560.0 | 925.0       | 610.3  | 685.6 | 684.1  | 388.8 | 220.2 | 1000.0 | 6374.1        |
| 1971 | 1380.9 | 990.0       | 654.5  | 708.3 | 651.4  | 407.2 | 207.3 | 1455.5 | 6455.1        |
| 1972 | 1510.2 | 1050.0      | 719.7  | 716.8 | 717.1  | 435.1 | 225.0 | 1675.3 | 7099.3        |
| 1973 | 1536.6 | 1100.0      | 815.1  | 735.4 | 706.6  | 490.2 | 220.0 | 1884.3 | 7518.8        |
| 1974 | 1445.7 | 1200.0      | 826.2  | 902.1 | 698.0  | 544.2 | 213.2 | 2056.3 | 7885.6        |
| 1975 | 1220.0 | -----       | 762.0  | 793.0 | 669.0  | 490.0 | 156.0 | -----  | 7311.6        |

Fuente: Metallgesellschaft Ak. "Metal Statistics", Frankfurt, diversos años.

CUADRO Nº 13

PRODUCCION MUNDIAL DE COBALTO

(T.M.)

| AÑO  | ZAIRE | CANADA | ZAMBIA | MARRUECOS | USSR. | TOTAL MUNDIAL* |
|------|-------|--------|--------|-----------|-------|----------------|
| 1960 | 8257  | 1006.5 | 1737   | 1280      | 13    | 14,130         |
| 1961 | 8260  | 1456   | 1530   | 1280      | 13    | 14,310         |
| 1962 | 9553  | 1566   | 833    | 1425      | 16    | 15,390         |
| 1963 | 7245  | 1364   | 700    | 1360      | 17    | 14,400         |
| 1964 | 7677  | 1435   | 642    | 1665      | 17    | 15,750         |
| 1965 | 8310  | 1642   | 1695   | 1833      | 74    | 16,965         |
| 1966 | 11628 | 1543   | 1605   | 1934      | 96    | 19,890         |
| 1967 | 9640  | 1622   | 1444   | 1912      | 1350  | 19,813         |
| 1968 | 10315 | 1814   | 1334   | 1495      | 1440  | 18,885         |
| 1969 | 10512 | 1465   | 1797   | 1398      | 1485  | 19,502         |
| 1970 | 13847 | 2053   | 2380   | 600       | 1530  | 23,665         |
| 1971 | 14402 | 1945   | 2097   | 970       | 1575  | 24,570         |
| 1972 | 13007 | 1508   | 2070   | 1590      | 1620  | 23,332         |
| 1973 | 14962 | 1775   | 1980   | 1410      | 1665  | 25,430         |
| 1974 | 15300 | 1800   | 2070   | 1440      | 1710  | 26,640         |
| 1975 | 13700 | 1400   | 1860   | 1890      | 1800  | 23,800         |

\* Incluye: Finlandia, Australia, Alemania Occidental y otros

Fuente: American M. Market, "Metal Statics", 1974, 1975.

CUADRO N° 14

VOLUMEN DEL CONSUMO MUNDIAL DESDE 1950 a 1975 Y SU FUTURA DEMANDA\* DE LOS METALES

CONTENIDO EN LOS NODULOS (TM)

| AÑO  | NIQUEL<br>(1000) | %<br>p. a. | COBRE<br>(1000) | %<br>P. a. | COBALTO<br>(1000) | %<br>p. a. | MANJANESO<br>(1000) | %<br>p. a. |
|------|------------------|------------|-----------------|------------|-------------------|------------|---------------------|------------|
| 1950 | 158              |            | 3009            |            | 8                 |            | 2300                |            |
| 1960 | 293              |            | 4756            | ∅          | 12                | ∅          | 5300                | ∅          |
| 1965 | 431              |            | 5173            |            | 15                |            | 7800                |            |
| 1970 | 577              | 6.7        | 7282            | 4.1        | 20                | 5.3        | 9200                | 5.9        |
| 1975 | 752              |            | 8236            |            | 24                |            | 11600               |            |
| 1980 | 975              |            | 11470           |            | 40                |            | 15400               |            |
| 1985 | 1310             | ∅          | 14900           | ∅          | 54                | ∅          | 20300               | ∅          |
| 1990 | 1750             | 6.0        | 16980           | 4.0        | 72                | 5.5        | 26700               | 5.5        |
| 1995 | 2350             |            | 20660           |            | 96                |            | 34900               |            |
| 2000 | 3150             |            | 26130           |            | 130               |            | 45400               |            |

% p.a = Promedio anual de la tasa de incremento

\* Excluyendo a los países socialistas de Europa Oriental y China

Fuente: Metallgesellschaft AG, Manganese Nódulos Metals From the Sea, Frankfurt,  
Ed. 18 - 1975.



CUADRO N° 15  
CONSUMO MUNDIAL DE NIQUEL (1000 TM.)

| AÑO  | EÉ.UU. | COMUNIDAD EUROPEA. | JAPON | ALEMANIA FEDERAL | INGLATERRA | FRANCIA | SUECIA | OTROS | TOTAL MUNDIAL |
|------|--------|--------------------|-------|------------------|------------|---------|--------|-------|---------------|
| 1960 | 98.1   | 51.9               | 19.6  | 23.0             | 27.8       | 19.4    | 8.7    | 46.2  | 292.7         |
| 1961 | 107.5  | 46.9               | 20.6  | 22.0             | 26.5       | 15.4    | 8.9    | 73.0  | 320.3         |
| 1962 | 107.7  | 41.2               | 15.6  | 19.2             | 25.1       | 13.2    | 8.1    | 88.0  | 318.1         |
| 1963 | 112.9  | 45.7               | 22.6  | 20.3             | 27.6       | 15.8    | 8.4    | 81.9  | 335.2         |
| 1964 | 133.3  | 56.6               | 32.4  | 25.6             | 38.1       | 20.5    | 11.6   | 83.6  | 401.7         |
| 1965 | 156.1  | 62.9               | 28.6  | 30.7             | 36.9       | 21.0    | 13.1   | 81.7  | 431.0         |
| 1966 | 170.4  | 73.1               | 36.3  | 33.6             | 34.4       | 24.5    | 13.5   | 81.7  | 467.5         |
| 1967 | 157.7  | 75.9               | 50.0  | 31.0             | 30.5       | 28.7    | 15.5   | 83.6  | 472.9         |
| 1968 | 144.5  | 85.9               | 59.3  | 35.4             | 33.1       | 30.7    | 16.5   | 84.8  | 490.2         |
| 1969 | 136.6  | 87.1               | 74.7  | 36.8             | 32.5       | 31.8    | 16.1   | 87.3  | 503.0         |
| 1970 | 148.1  | 101.3              | 99.6  | 40.9             | 37.5       | 36.1    | 23.1   | 89.2  | 576.8         |
| 1971 | 133.2  | 87.4               | 88.9  | 34.3             | 31.0       | 32.2    | 19.0   | 100.7 | 526.7         |
| 1972 | 156.9  | 99.1               | 83.3  | 43.0             | 30.0       | 31.3    | 22.6   | 105.1 | 571.3         |
| 1973 | 183.6  | 144.2              | 111.2 | 54.8             | 31.5       | 29.6    | 26.8   | 74.7  | 656.4         |
| 1974 | 194.5  | 154.3              | 113.0 | 61.2             | 26.5       | 40.5    | 31.9   | 79.6  | 701.5         |

Fuente: Metallgesellschaft Ak. "Metal Statistics" Frankfurt, diversos años.

CUADRO N° 16  
CONSUMO MUNDIAL DE COBRE (Mineral, concentrado  
 cobre ampolloso) (1000 TM.)

| AÑO  | EEUU.  | COMUNIDAD EUROPEA | JAPON  | U.S.S.R. | ALEMANIA FEDERAL | INGLATERRA | FRANCIA | OTROS | TOTAL MUNDIAL |
|------|--------|-------------------|--------|----------|------------------|------------|---------|-------|---------------|
| 1960 | 959.9  | 877.8             | 243.2  | 542.0    | 389.2            | 464.8      | 211.7   | 237.4 | 3926.0        |
| 1961 | 1071.6 | 974.4             | 298.7  | 572.0    | 443.9            | 445.7      | 232.8   | 232.2 | 4271.3        |
| 1962 | 1138.3 | 877.0             | 242.7  | 635.0    | 382.1            | 440.5      | 221.3   | 375.6 | 4342.5        |
| 1963 | 1328.6 | 933.6             | 309.0  | 616.0    | 379.5            | 454.7      | 232.5   | 470.9 | 4724.6        |
| 1964 | 1386.9 | 1039.9            | 392.0  | 620.0    | 440.1            | 523.5      | 273.2   | 444.9 | 5126.5        |
| 1965 | 1456.4 | 982.0             | 362.1  | 658.0    | 403.8            | 532.5      | 261.5   | 516.6 | 5172.9        |
| 1966 | 1729.3 | 884.1             | 396.6  | 687.0    | 314.8            | 458.1      | 271.3   | 591.5 | 5332.9        |
| 1967 | 1440.4 | 938.2             | 548.8  | 725.0    | 376.4            | 394.7      | 245.9   | 495.6 | 5165.0        |
| 1968 | 1337.1 | 1061.1            | 624.0  | 750.0    | 428.0            | 402.7      | 272.8   | 546.6 | 5422.3        |
| 1969 | 1516.0 | 1171.4            | 699.4  | 800.0    | 480.4            | 397.9      | 313.1   | 573.4 | 5951.6        |
| 1970 | 1421.0 | 1237.0            | 718.4  | 820.0    | 498.4            | 396.9      | 313.7   | 616.1 | 6021.9        |
| 1971 | 1494.3 | 1219.5            | 702.7  | 880.0    | 464.7            | 373.2      | 330.7   | 766.6 | 6231.7        |
| 1972 | 1679.1 | 1337.8            | 850.8  | 910.0    | 524.1            | 403.6      | 376.0   | 758.5 | 6839.0        |
| 1973 | 1773.7 | 1919.5            | 1033.6 | 950.0    | 630.2            | 437.1      | 395.6   | 333.1 | 7472.8        |
| 1974 | 1519.3 | 1816.5            | 716.2  | 1025.0   | 527.1            | 405.9      | 404.9   | 549.4 | 6964.3        |
| 1975 | ---    | ---               | ---    | ---      | ---              | ---        | ---     | ---   | 7412.4        |

Fuente: Metallgesellschaft Ak. "Metal Statistics" Frankfurt, diversos años.

### 8.3 PARTICIPACION DE LA MINERIA OCEANICA EN LA FUTURA DEMANDA

#### DE: Mn, Ni, Cu, y Co

La tasa de producción de los metales a partir de los nódulos estará en función de su ley y del proceso metalúrgico a emplearse.

Como se ha podido observar en el Cuadro N° 8 del Capítulo anterior, la industria extractiva tiende a obtener como mínimo 95 % de rendimiento y con un contenido metálico superior al 98 %. En el Cuadro N° 17, se presenta la probable recuperación de metales referidos a un millón de toneladas de nódulos secos, asumiendo una recuperación metalúrgica de 95 %, excepto para las trazas de metal que para ellos suponen una tasa de 80 %.

CUADRO N° 17

#### PROBABLE VOLUMEN DE PRODUCCION DE METALES A PARTIR DE NODULOS

| <u>PRODUCCION<br/>MINA</u>        | <u>METAL</u> | <u>LEY<br/>%</u> | <u>VOLUMEN<br/>(TM)</u> |
|-----------------------------------|--------------|------------------|-------------------------|
| 1 Millón de<br>Toneladas<br>Secas | Manganeso*   | 24.00            | 220,000                 |
|                                   | Níquel       | 1.60             | 15,000                  |
|                                   | Cobre        | 1.40             | 13,000                  |
|                                   | Cobalto      | 0.21             | 2,000                   |
|                                   | Otros **     | 0.30             | <u>2,500-</u>           |
| <b>TOTAL</b>                      |              |                  | <b>262,500</b>          |

\* Si las empresas deciden producir

\*\* Incluye: Molibdeno, Vanadio, Zinc, Plata

Fuente: Robert Sisselman, E/MJ. Abril 1975.

El procesamiento de un millón de toneladas secas por año corresponde aproximadamente a una producción del 1.5 millones de toneladas de nódulos húmedos. En consecuencia para cubrir este volumen será necesario extraer, transportar y procesar un promedio de 5,000 tons/diarias.

En cuanto a la magnitud de las operaciones, se estima que los sistemas de extracción de nódulos serán de dos tamaños : de 1.5 y 3 millones de toneladas anuales.

Aunque no se ha precisado la fecha exacta del inicio de la explotación de nódulos se estima como una producción probable de 15 millones de toneladas de nódulos secos para el año 1985,

En el Cuadro N° 18, se presenta el volumen de la producción y la demanda estimada, las necesidades estimadas de importación de los países industrializados y la participación de la minería oceánica en la demanda de metales para el año 1985. El volumen de producción se ha proyectado en base a los valores considerados en el cuadro anterior.

#### 8.4 REPERCUSSIONES ECONOMICAS DE LA MINERIA OCEANICA

Tal como se ha mencionado anteriormente aún no se conoce la fecha exacta del inicio de la explotación de los nódulos. No cabe duda, que a la finalización de la próxima conferencia de las N.U. sobre el derecho del mar a reali-

zarse entre Marzo y Mayo de 1977 ya se puede conocer la fecha.

La repercusión que causará en los mercados mundiales, los metales producidos a partir de los nódulos dependerá del número de operaciones y de empresas mineras que entrarán en actividad en el futuro. De acuerdo al estudio realizado por las N. U. (A/Conf. 62/25), se calcula que para 1985 estarán en actividad más de seis empresas con diferentes calendarios de iniciación y con distintas capacidades de producción.

No hay elementos de juicio suficientes para afirmar que la estimación de 15 millones de toneladas que producirá la minería oceánica sea alta o baja. Sin embargo, los análisis de las repercusiones lo haremos en función a esta limitación, para lo cual nos basamos al Cuadro N° 18, dichos análisis se han considerado para cada uno de los metales que producirá la industria de nódulos.

En las Fig. 34 al 37, se muestra la variación de precios de los cuatro metales en los últimos 16 años (Cuadro N° 19).

#### 8.5 REPERCUSIONES SOBRE EL MERCADO DEL MANGANESO

Referente a este metal se ha señalado que no todas las empresas mineras están interesadas en obtenerla a partir de

nódulos.

La demanda de Mn es bastante rígida, dado que sólo la industria del acero lo utiliza en mayor volumen y no se proveén nuevas aplicaciones, en consecuencia toda oferta adicional tenderá a disminuir los precios (mineral de Mn, contenido 48 % Mn \$1.38 - 1.42 la T. L. y a 54¢/lb. el manganeso metálico E/MJ, Setbre. 1976).

Suponiendo que la demanda de manganeso se siga expandiendo a una tasa media anual de 5.9 % para 1,985 la demanda mundial será aproximadamente de 20.3 millones de toneladas, la minería oceánica sólo cubrirá el 5 % de esta demanda y el 13 % de las necesidades de importación de los países industrializados, (Cuadro N°18).

Los países en desarrollo que serán más afectados son: Sudáfrica, Brasil, Gabón e India, el primero exporta por unos 70 millones de dólares anuales y los otros por unos 30 millones cada uno.

Según los expertos Gabón será el país más afectado por la elaboración de manganeso, procedente de los nódulos, debido a que representa un promedio del 20 % del valor total de sus exportaciones, los otros países también serán afectados pero en menor escala.

CUADRO N° 18

DEMANDA MUNDIAL ESTIMADA, LAS NECESIDADES NETAS DE IMPORTACION ESTIMADAS DE PAISES INDUSTRIALIZADO Y LA PARTICIPACION DE LA MINERIA OCEANICA EN LA DEMANDA DE: Mn, Ni, Cu y Co en 1985.

| PRODUCCION DE NODULOS          | METALES PRODUCIDOS POR LA M. OCEANICA | DEMANDA MUNDIAL ESTIMADA<br><br>(1,000TM) | IMPORTACIONES DE LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS*<br><br>(1,000)TM) | PARTICIPACION DE LA M. OCEANICA EN LA FUTURA DEMANDA DE METALES |  |  |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|--|--|
|                                |                                       |   |   | VOLUMEN DE PRODUCCION (1000 TM).                                | % DE ABASTE CIMIENTO A LA DEMANDA MUNDIAL. | % DE ABASTE CIMIENTO A LAS IMPORTACIONES INDUSTRIALIZADOS. |
| 15 MILLONES DE TONELADAS SECAS | MANGANESO                             | 20,300                                    | 7,300   | 920   | 5.0  | 15.0   |
|                                | NIQUEL                                | 1,310                                     | 770   | 220   | 15.0                                       | 26.0   |
|                                | COBRE                                 | 14,900                                    | 3,600**   | 200   | 1.3  | 5.5  |
|                                | COBALTO                               | 60**                                      | N.D.  | 30  | 30.0                                       | N.D.   |

\* Asumiendo que los requerimientos de importaciones netas para 1985 serían proporcionalmente igual a 1972.

\*\* Excluyendo a los países socialistas.

Fuentes: 'World Metal Statistics', N.U. (A/Conf. 62/25) y E/MJ Abril 1975

Fig. N° 34

# PRODUCCION MUNDIAL DE MINERAL DE MANGANESO Y LA VARIACION DE PRECIOS

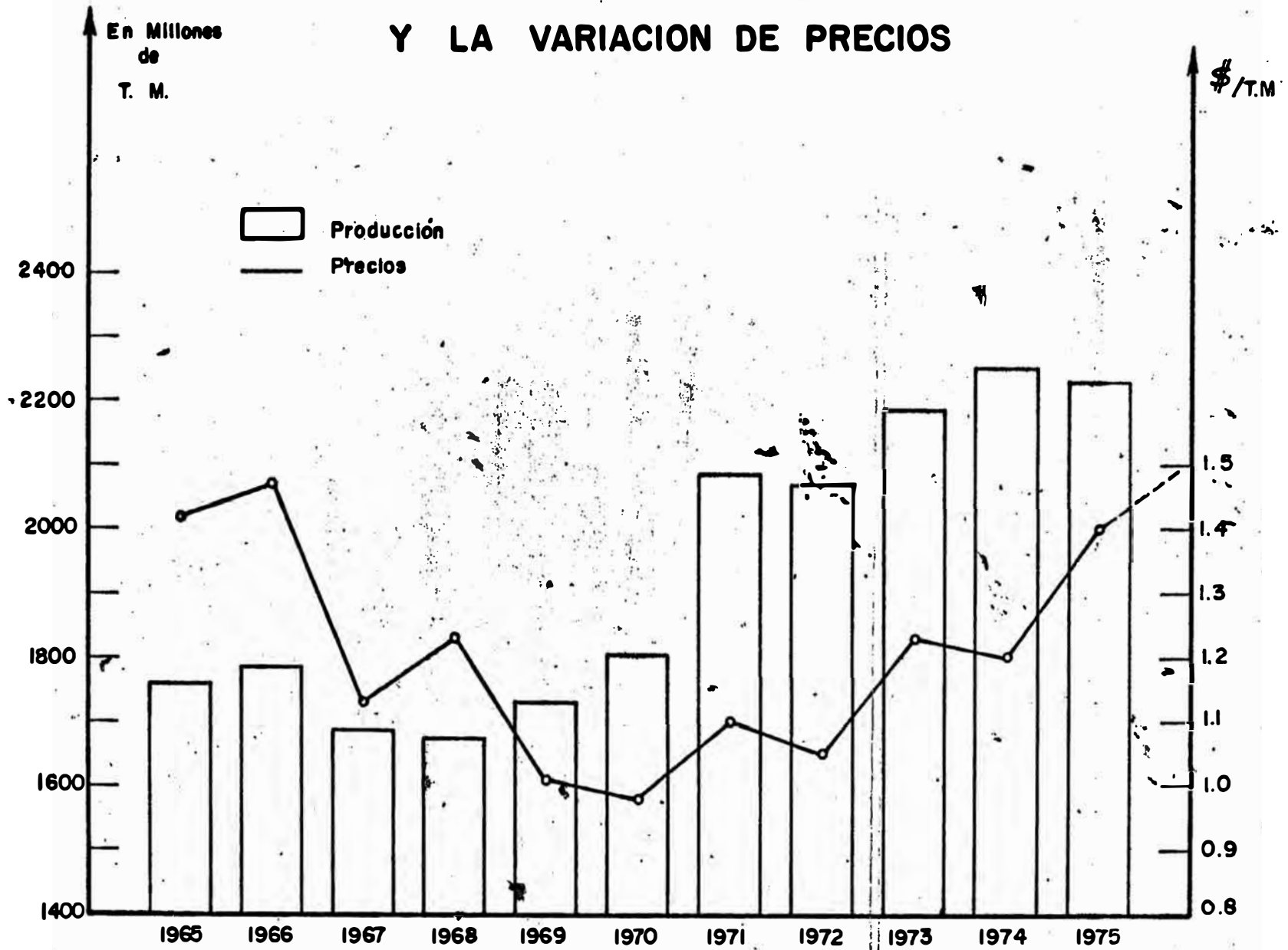
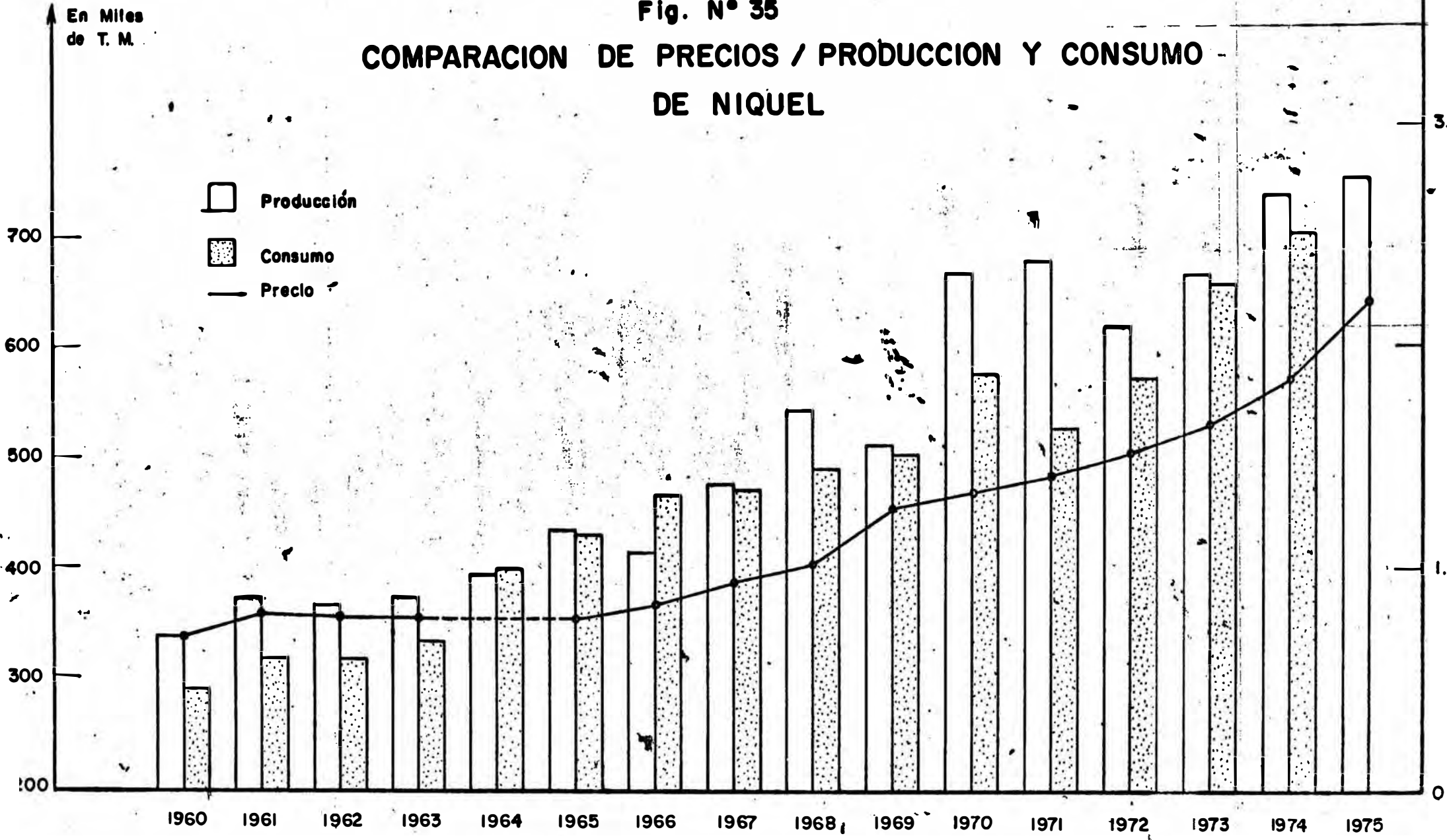




Fig. N° 35

# COMPARACION DE PRECIOS / PRODUCCION Y CONSUMO DE NIQUEL



En Millones  
de T. M.

Fig. N° 36

### COMPARACION DE PRECIO / PRODUCCION MINA Y EL CONSUMO DE MINERAL DE COBRE

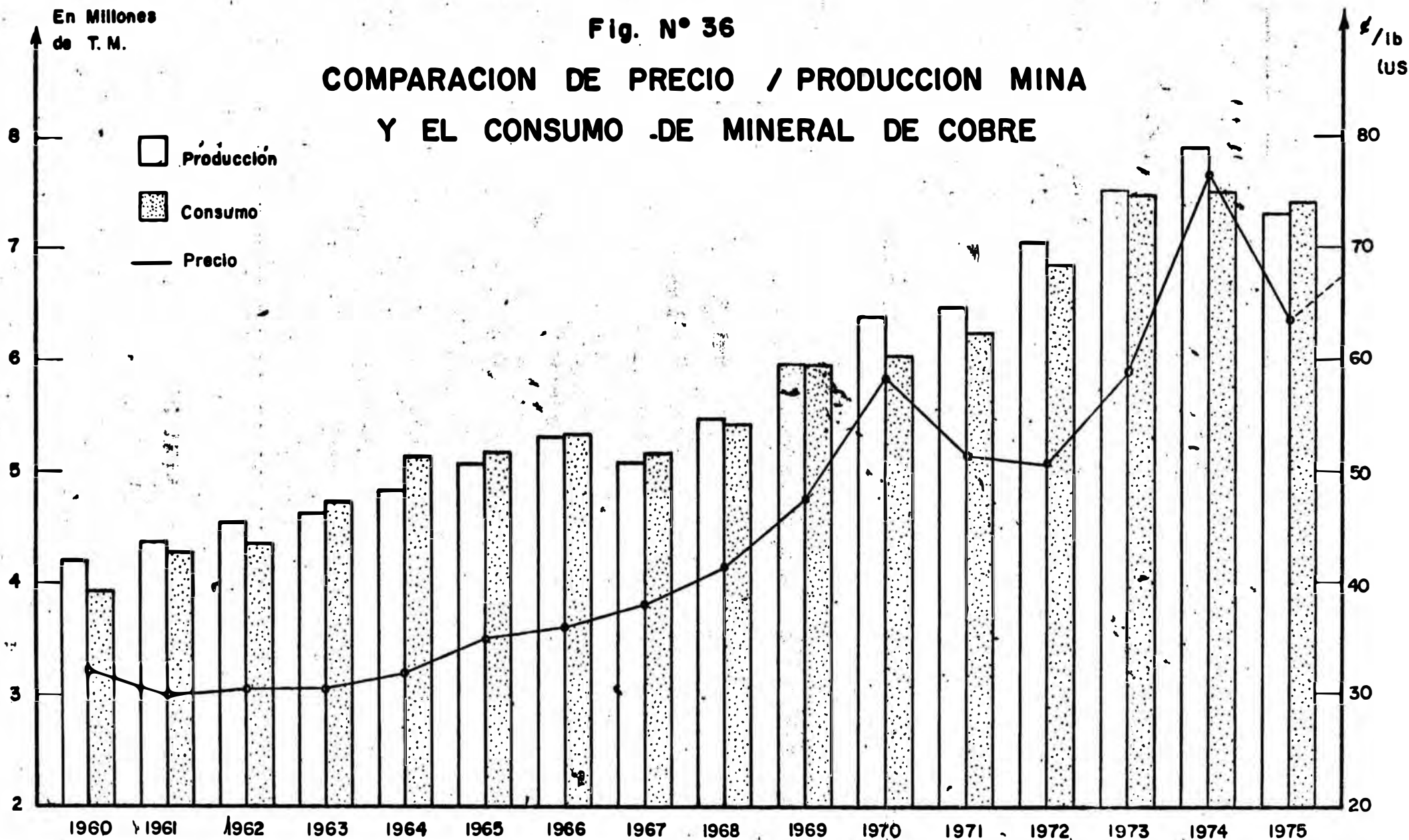
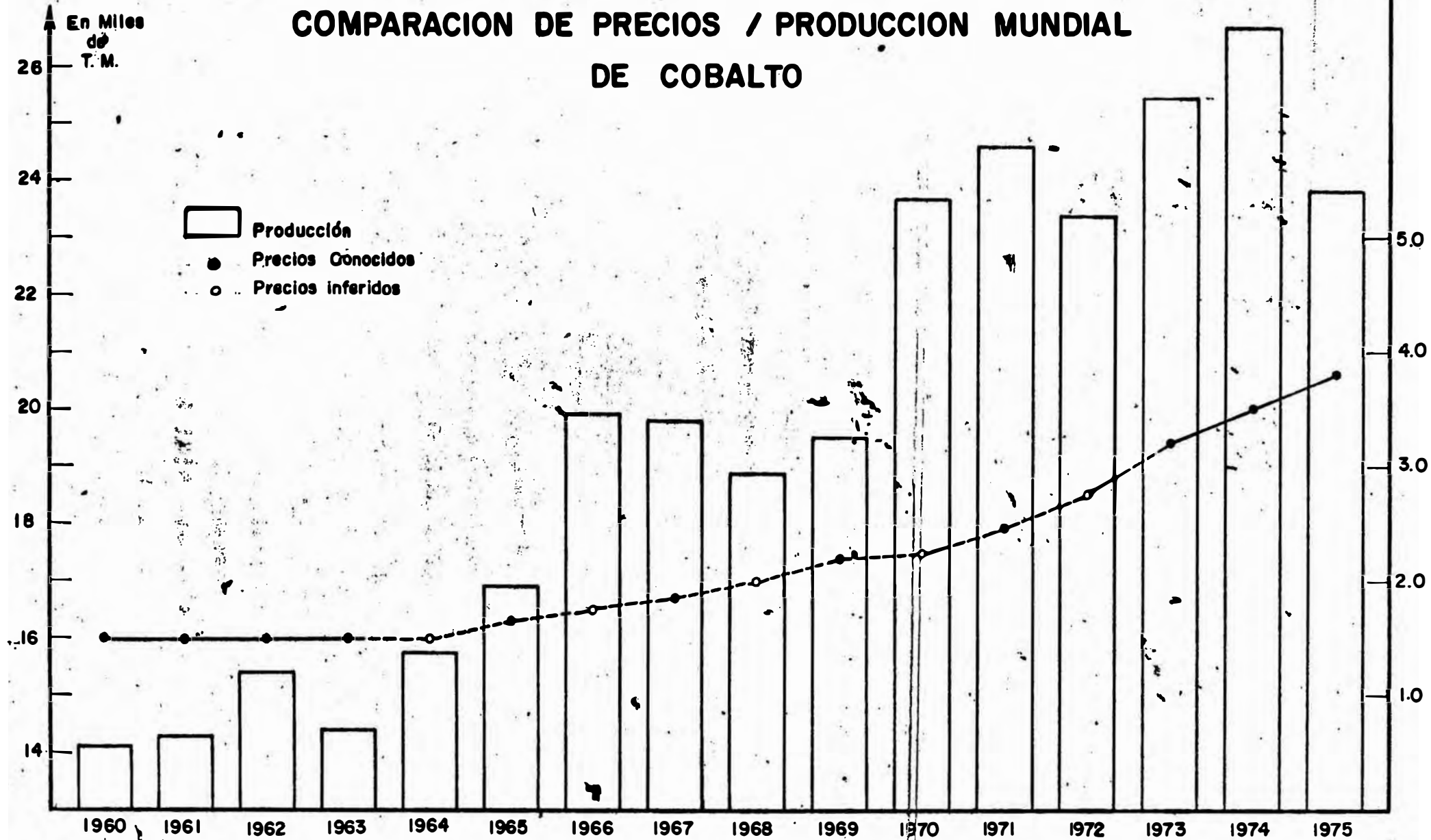


Fig. N° 37

# COMPARACION DE PRECIOS / PRODUCCION MUNDIAL DE COBALTO



CUADRO N° 19

PRECIOS ACTUALES DE LOS CUATRO METALES QUE PRODUCIRA LA  
MINERIA OCEANICA

| AÑO  | MANGANESO<br>(US \$/LTU)(1) | COBALTO<br>(US \$/lb)(2) | NIQUEL<br>(US \$/lb) (2) | COBRE<br>(US ¢/lb)(3) |
|------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1960 |                             | 1.50                     | 0.74                     | 32.053                |
| 1961 |                             | 1.50                     | 0.81                     | 29.921.               |
| 1962 |                             | 1.50                     | 0.79                     | 30.600                |
| 1963 |                             | 1.50                     | 0.79                     | 30.600                |
| 1964 |                             | N.D.                     | N.D.                     | 31.960                |
| 1965 | 1.42                        | 1.65                     | 0.7775                   | 35.017                |
| 1966 | 1.47                        | N.D.                     | 0.8525                   | 36.170                |
| 1967 | 1.13                        | 1.85                     | 0.94                     | 38.226                |
| 1968 | 1.23                        | N.D.                     | 1.03                     | 41.847                |
| 1969 | 1.01                        | 2.20                     | 1.28                     | 47.534                |
| 1970 | 0.98                        | N.D.                     | 1.33                     | 57.700                |
| 1971 | 1.10                        | 2.45                     | 1.42                     | 51.433                |
| 1972 | 1.05                        | N.D.                     | 1.53                     | 50.617                |
| 1973 | 1.23                        | 3.20                     | 1.65                     | 58.852                |
| 1974 | 1.20                        | 3.50                     | 1.85                     | 76.649                |
| 1975 | 1.40                        | 3.80                     | 2.20                     | 63.535                |
| 1976 | 1.50                        | 4.50                     | 2.24                     | 66.300                |

(1) American Metal Market, Metal Statistics, 1975

(2) Metal Bulletin Handbook, 1970 - 1975

(3) E/MJ Marzo de 1976.

#### 8.4.2 REPERCUSIONES SOBRE EL MERCADO DEL NIQUEL

Para evaluar la probable repercusión de la extracción del níquel de los nódulos sobre el mercado, consideraremos los siguientes puntos: (UNCTAD TD/B. /C. 1/ 1972).

- Que el níquel será el soporte principal de la industria de extracción de nódulos.

Que la demanda aumentará a una tasa acumulativa de 6.7 % hasta 1985.

- Que la oferta está concentrada en unos pocos países y la posición dominante de Canadá como el país, primer productor de níquel en el mundo.
- Que casi todo el níquel producido en los países en desarrollo se exporta a países desarrollados debido a ello los primeros tienen una participación con el comercio mundial de este metal.

Existe un mercado muy favorable para este metal con precios en alza, lo que ha inducido a los productores en tierra a aumentar sus capacidades de producción o el inicio de nuevos proyectos.

Sobre la base de estos datos y suposiciones se calcu

la que la producción de nódulos podría cubrir alrededor del 16 % de la demanda mundial de níquel para 1985 y sobre las necesidades de importación de los países industriales el 26 %.

Como consecuencia de lo anterior, sobre el mercado del níquel provocará que:

El efecto de un aumento a la oferta significará una disminución del precio del níquel, pero tal descenso tenderá a incrementar el consumo del metal.

- La producción de fuentes terrestres deberá satisfacer los incrementos de la demanda mundial hasta 1980, pero en adelante "Casi todos los aumentos adicionales de la demanda se satisfecerían mediante la industria de nódulos (U.N.A./Conf 62/25 p. 43).

#### 8.4.3 REPERCUSIONES SOBRE EL MERCADO DEL COBRE.

Al realizar el análisis del mercado de níquel se mencionó que este será el soporte de la minería oceánica, si se llegara a tomar como metas la hipótesis, es decir cubrir mediante esta nueva fuente las necesidades de demanda creciente del níquel, tal como puede apreciarse en la Fig. 35, es probable que los intereses de los países exportadores no resultarán ser muy afectados.

En la actualidad (1975) la demanda de cobre es 10 -- veces mayor que la de níquel, en cambio la minería - oceánica producirá el 15 % mayor de níquel con relación al cobre.

La producción del cobre proveniente de nódulos no debe ser comparado con la producción mundial en un determinado año sino con las necesidades netas de importación de los países industriales (1).

En el Cuadro N°18, se observa que en 1985, la minería de nódulos producirá 200,000 TM. de cobre. Este tonelaje solo representará el 1.3 % de la producción mundial estimada para ese año, pero si esta cifra lo comparamos con el de las necesidades netas de importación de los países industriales, el porcentaje se eleva a 5.5 %. En consecuencia se sostiene que entre los cuatro metales principales, el cobre será el menos afectado por la minería de nódulos.

Si persisten los precios bajos en el mercado y se mantienen los grandes excedentes existentes, es probable que se reduzcan aún más la producción de cobre en continente, lo cual incentivará la producción de nódulos. De acuerdo a producciones de 1974 y considerando que casi toda la producción la exportan los países miembros del CIPEC, se observa:

(1) Se excluyen a los países socialistas por carácter de información y no gravitan en el comercio de metales.

que una baja en un centavo de dólar por libra en el precio del cobre, significa una pérdida anual de US \$ 20 millones para Chile, US \$ 15 millones para Zambia, US \$ 11 millones para Zaire y Casi US \$ 5 millones para el Perú.

Se ha dicho reiteradamente que, el cobre será menos afectado por la minería de nódulos, tampoco se debe descartar la posibilidad de que, la situación de los países exportadores de cobre podría agravarse - por decisiones políticas de las transnacionales, de abandonar algunos proyectos y planes de desarrollo - de nuevos yacimientos continentales en dichos países.

Por otro lado tenemos una conclusión muy alentadora de H. Drechster y expresa; " La consideración más importante para la industria del cobre, es que aunque estuviesen produciendo 50 los fondos marinos, los nódulos podría satisfacer tan sólo el 10 % de la demanda estimada para 1,990. La minería de nódulos de los fondos marinos va a tener muy poco impacto en el mercado del cobre en los años futuros" ("El impacto potencial de la minería de nódulos de los fondos marinos en la industria cuprífera mundial VIII Congreso Mundial de Minería - Lima - Perú 1974).



#### 8.4.4 REPERCUSIONES SOBRE EL MERCADO DEL COBALTO

Se ha señalado con anterioridad que el cobalto se -- produce como subproducto de la minería del cobre y -- del níquel. También se ha dicho que Zaire como pri-- mer productor del metal domina la estructura del mercado, en promedio produce aproximadamente dos ter-- cios del total de la producción mundial y su oferta ajusta a las condiciones de la demanda mediante una explotación selectiva de minerales de cobre ricos en cobalto.

Se ha mencionado tres hipótesis en relación a la pro-- ducción de cobalto proveniente de nódulos.

Que las operaciones se iniciarán en las zonas donde se han localizado nódulos con leyes superiores al -- 2 % Co. Depósitos con esta ley se encuentran al oes-- te de Hawaii y en aguas jurisdiccionales de Poline-- sia Francesa.

De explotarse estos depósitos sólo será necesario 3 operaciones para extraer 3 millones de toneladas de nódulos, la cuál suministraría aproximadamente

60,000 toneladas de Co. lo que representa el 100 % de la demanda mundial estimada para 1985.

Que se explotan nódulos con una ley media del 0.21 % Co., lo que daría una producción aproximada de 2,000 toneladas por cada millón de tonelada de nódulos secos. (Cuadro N° 17).

Según las estimaciones hechas en 1985, se producirá 30,000 toneladas de cobalto equivalente al 50 % de la demanda mundial estimada.

Cualquiera sea la hipótesis que se elija, el alto volumen probable de producción de cobalto a partir de nódulos repercutirá en los precios de este metal en forma muy marcada; más aún, se puede afirmar que el mercado de cobalto será el más afectado por la explotación de los fondos marinos.

En la Figura N° 37, se puede apreciar, que los precios en los últimos 12 años han tenido una tendencia creciente pero dicha tendencia es posible que cambie de pendiente debido a la explotación de los fondos marinos y a los nuevos sustitutos que puede sufrir el cobalto.

Con la explotación de nódulos, Zaire será el país más seriamente afectado le seguirán Canadá, Zambia y Marruecos.

#### 8.4.5 CONCLUSIONES

Aunque existen muchas incógnitas, tales como: el número de operaciones que entrarán en actividad, el tonelaje que se extraerá por año, la reacción de los mercados, etc., es evidente que todo hace preveer que la explotación de los fondos marinos, afectará a los países especialmente a los actuales exportadores de los metales que aportaría la industria de nódulos. Los estudios difieren y también las conclusiones que se extraen sobre el futuro; sin embargo, se pueden adelantar algunas conclusiones:

- a) Los precios del cobalto se verán afectados en forma casi inmediata, al comienzo de la explotación de nódulos.
- b) Sí la recuperación del Manganese resultara una actividad económica, los países exportadores de Mn se verán afectados dentro del primer decenio de iniciación de la minería de los fondos marinos.
- c) El aumento constante pronosticado, de los precios del níquel probablemente se invertirá entre 1980 y 1985.
- d) Los precios del cobre posiblemente serán afectados

en un futuro inmediato, si la minería de nódulos se expandiera, a un ritmo considerablemente mayor que el previsto en la actualidad.

Para analizar y tener una idea clara de las repercusiones que tendrá la industria de los nódulos entre 1985 y 1990 se ha tomado las estimaciones hechas por Estados Unidos , sobre sus importaciones netas y la relación porcentual con el consumo de los cuatro metales, el esquema se presenta en el Figura N° 38.

En 1973, las importaciones de Níquel de EE.UU. cubrieron el 82 % de su consumo, con la minería de Nódulos en 1986 las importaciones se habrán reducido al 34 % con relación al consumo estimado para ese año. A partir de 1990 todas las necesidades futuras de níquel serán cubiertas con la industria de nódulos.

Con relación al cobre, en 1973 las importaciones cubrieron el 4.6 % de su consumo, en 1985 sólo necesitará importar el 0.3 % del consumo estimado y desde 1990 dejará de importar este metal.

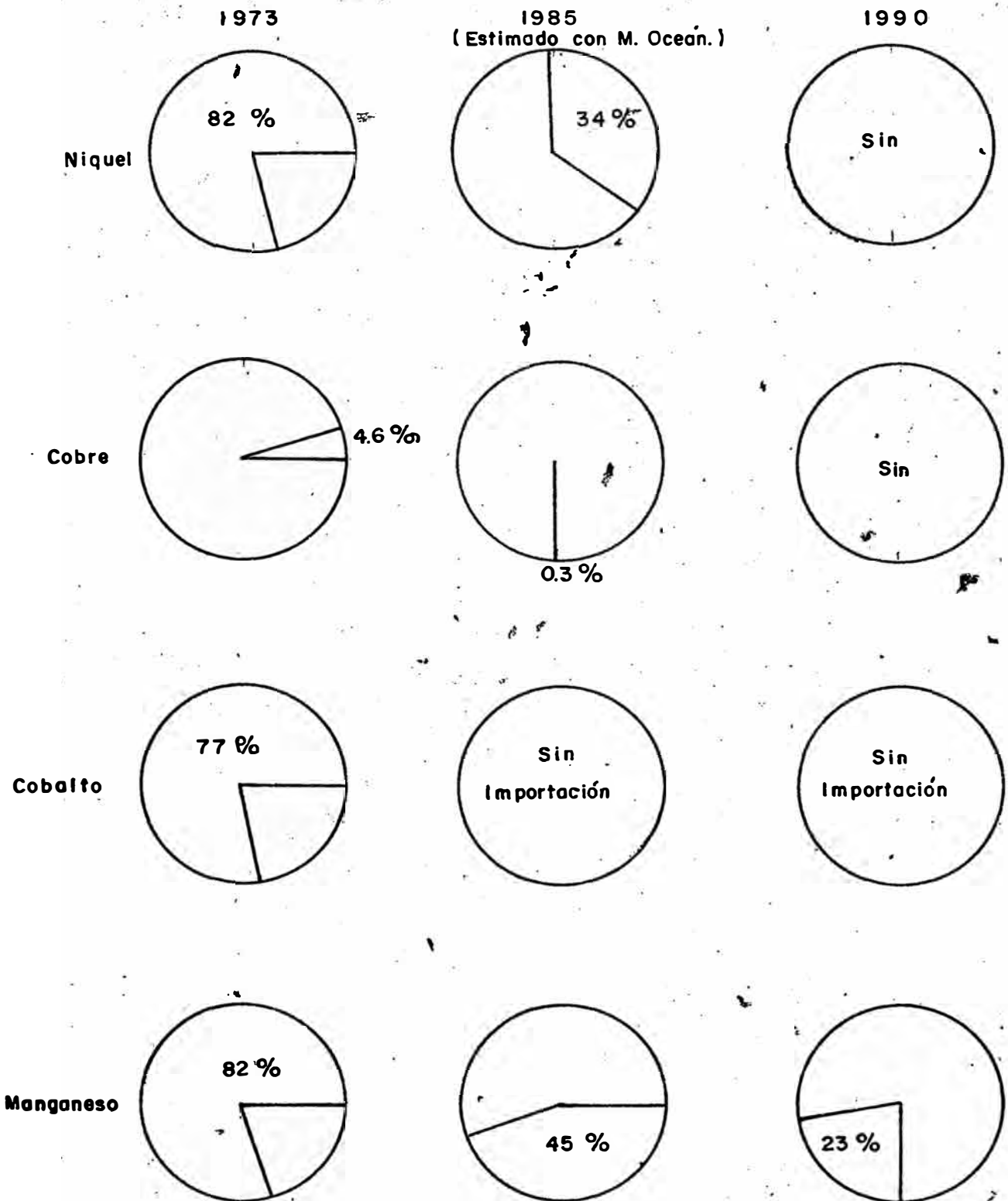
Las importaciones de cobalto en 1973, representaron el 77 % de sus necesidades de consumo y desde 1985 en adelante cubrirá su demanda con el metal, proveeniente de nódulos.

Por último, en 1973 las importaciones netas de manganeso representaron el 82 % de su consumo. Se estima que en 1985 esta dependencia se habrá reducido al 45 % y en 1990 al 23 %.

En el Cuadro N° 20, se visualiza en forma clara, la gran dependencia que sufre actualmente EE.UU. con respecto a los metales: Mn, Ni y Co. Se observa que su dependencia más crítica es con respecto al cobalto, seguida por el níquel. Este problema es lo que le da mayor empuje hacia la pronta iniciación de la explotación de los fondos marinos.

Fig. N° 38

IMPORTACIONES NETAS DE E.E.U.U. EN  
RELACION PORCENTUAL CON EL CONSUMO



Fuente: Subcommittee on Minerals and Fuels, Recent Development,  
Senado de Estados Unidos.

CUADRO Nº 20

ESTADISTICA DE PRODUCCION, CONSUMO E IMPORTACION DE: Mn, Ni, Cu, y Co de LOS ESTADOS UNIDOS

| METALES               |                | 1970   | 1971   | 1972   | 1973   | 1974   | 1975   |
|-----------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MANGANESO<br>(1000TM) | Producción (A) | -----  | -----  | ---    | ----   | ----   | -----  |
|                       | Consumo (B)    | 2127.5 | 1939.9 | 2103.7 | 1926.0 | 1480.4 | 1485.0 |
|                       | Importación(C) | 1561.5 | 1722.8 | 1458.2 | 1358.8 | 1069.3 | 1440.0 |
|                       | % (C/B)        | 73     | 88.8   | 69     | 70     | 72     | 96     |
| NIQUEL<br>(1000 TM)   | Producción (A) | 13.9   | 14.2   | 14.3   | 14.0   | 12.7   |        |
|                       | Consumo (B)    | 149.1  | 133.2  | 156.9  | 182.1  | 194.5  | ----   |
|                       | Importación(C) | 161.2  | 165.2  | 197.7  | 247.3  | 273.0  | -----  |
|                       | % (B/C)        | 92.5   | 80.6   | 79.    | 73.6   | 71     |        |
| COBALTO<br>( . TM)    | Producción     | -----  | 14.64  | 14.28  | 18.72  | 21.07  |        |
|                       | Consumo        | 60.75  | 56.82  | 64.23  | 85.18  | 61.20  | 35.85  |
|                       | Importación    | 57.90  | 50.66  | 64.99  | 89.13  | 74.10  | -----  |
|                       | % (C/B)        | 10.5   | 11.2   | 98.8   | 95.5   | 82     |        |
| COBRE<br>(1000 TM).   | Producción     | 1560.6 | 1421.0 | 1596.7 | 1652.7 | 1901.7 | 1603.8 |
|                       | Consumo        | 1854.3 | 1829.9 | 2028.6 | 2175.4 | 1737.2 | 1361.7 |
|                       | Importación    | 352.2  | 319.0  | 369.0  | 370.8  | 533.8  | -----  |
|                       | %              | 19     | 17     | 18     | 17     | 30     | -----  |

Fuente: American Metal Market, Metal Statistics, 1974, 1975

## 8.5 ANALISIS PRELIMINAR DEL COBRE PERUANO FRENTE A LA EXPLO- TACION DE LOS FONDOS MARINOS.

El Perú, de los cuatro metales que producirá la industria de nódulos, sólo produce el cobre, basándonos en la conclusión de que este metal, será el menos afectado, por la explotación de los fondos marinos. Tentativamente no seríamos perjudicados, en la exportación de nuestro cobre.

Por hacer el análisis consideraremos, la producción actual y su proyección, el volumen de exportación y finalmente los mercados y su participación porcentual con respecto al total de muestras exportaciones de cobre.

### PRODUCCION ACTUAL.

En el volumen de producción actual de cobre se ha considerado los últimos 10 años (1965 - 75) y la hipótesis hasta el año 2,000, para este último se han incluido los diferentes proyectos que próximamente entrarán en producción.

Para la clasificación de las unidades de producción en categorías se ha tomado lo realizado por Briceño (1).

(1) L. Briceño 1974 "Proyectos Mineros en el Perú hasta el año 2,000" VIII Cong. Mundial de Minería, Lima - Perú.



| CATEGORIA | ESCALA DE PRODUCCION ANUAL EN T.M.F. |
|-----------|--------------------------------------|
| 1         | Más de 10,000                        |
| 2         | 5,000 < x < 10,000                   |
| 3         | 1,000 < x < 5,000                    |
| 4         | 100 < x < 1,000                      |
| 5         | Menos de 100                         |

Los nuevos Proyectos o unidades que se han considerado para la hipótesis de producción son las siguientes:

| PROYECTO     | PRODUCCION ANUAL T.M.F | AÑO DE ENTRADA EN PRODUCCION |
|--------------|------------------------|------------------------------|
| Cerro Verde  | 33,000                 | 1977                         |
| Santa Rosa   | 155,000                | 1978                         |
| Tintaya      | 70,000                 | 1978                         |
| Quellaveco   | 100,000                | 1979                         |
| Bambas       | 35,000                 | 1980                         |
| Toromocho    | 83,600                 | 1980                         |
| Antamina     | 24,000                 | 1980                         |
| Michiquillay | 80,000                 | 1980                         |
| Berenguela   | 20,000                 | 1981                         |
| El Aguila    | 15,000                 | 1982                         |
| Quechua      | 30,000                 | 1982                         |
| Cañariá      | 80,000                 | 1984                         |
| Pashpap      | 60,000                 | 1984                         |

Fuente: Briceño, "Proyectos Min. en el Perú hasta el año 2000" VIII Cong. Mundial de Minería Lima Perú = 1974.

En el presente análisis se considera el caso extremo de-- que los proyectos señalados, entrarán en producción en -- los años mencionados, aunque en la práctica muchos de -- ellos no cumplirán tal calendario debido que a la fecha-- están paralizado el desarrollo de muchos de ellos.

En el Cuadro N°21, se presenta las cifras correspondien -- tes al volumen de producción y la hipótesis. En ellos -- se observa que en 1975, la producción bajó en un 15 % con respecto a 1974, en cuanto a la proyección se ha tomado -- en cuenta la producción media proyectada por Briceño, -- pensando con su optimismo que en el futuro se estará pro -- produciendo tales volúmenes.

#### VOLUMENES DE EXPORTACION

El volumen de producción, exportación y los valores corres -- pondientes se muestra en el Cuadro N°22, analizando las -- cifras vemos que el volumen de nuestra exportación ha ba -- jado en 24 % con respecto a 1974 y en 26% con respecto a -- -1973.

El valor de dichas exportaciones en 1975, alcanzó 155.2 millones de dólares, pero dicha cifra es inferior en 56 % en referencia el año 1974 (347.7 millones de dólares).

Finalmente se puede observar que más del 90 % de nuestra producción cuprífera la exportamos a diferentes mercados, ello implica que la producción está sujeto a la demanda

de dichos mercados.

### MERCADOS

Los principales compradores del cobre peruano son: EE.UU. Japón, Mercado Común Europeo, ALALC y otros. Los países que nos compran más del 65 % del total de las exportaciones son los Estados Unidos y Japón. El volumen de las exportaciones a los mercados y su participación porcentual se visualiza, en el Cuadro N° 23 de ello se deduce que está aumentando las exportaciones a los países incluidos en el rubro otros.

A continuación hacemos el análisis del futuro de nuestro cobre.

1. El Perú actualmente cubre en promedio el 20 % de las importaciones de cobre de los Estados Unidos.
2. El volumen de producción de cobre en el Perú aumentará considerablemente en los próximos años, con la puesta en marcha los diferentes proyectos, En 1985, posiblemente tendremos una producción de 1.2 millones de TM., este correspondería al 83 % y 88 % de las producciones de 1974 y 1975.
3. La demanda mundial de cobre en 1985 será de 14.9 millones de TM., la industria de nódulos solo cubrirá el 1.3 % de

dicha demanda .

4. Si los Estados Unidos y Japón siguieran comprando en el mismo porcentaje actual, en 1985 le venderíamos 788,970 TM. de Cu.
5. En la Fig. N°38, hemos visto que en 1,985, los Estados Unidos reducirá considerablemente sus importaciones de cobre, níquel, cobalto y manganeso, Japón hará algo similar. Como consecuencia de los planteamientos anteriores se puede deducir los siguientes puntos:
  1. Según los análisis del volumen de producción y de demanda a nivel mundial, el cobre será el menos afectado. Pero, a nivel de países productores serán afectados en gran porcentaje por la industria de nodulos. Ejemplo típico será el Perú, que exporta el 90 % de su producción.
  2. En 1990, cuando los Estados Unidos deje de importar cobre, el Perú dejará de percibir 127 millones de dólares al precio actual (69 ¢/lb) Stbre. 1976).
  3. En el Cuadro N° 23, hemos visto que en los últimos años nuestra exportación está aumentando hacia los países incluidos en el rubro otros. Si consideramos un incremento promedio anual de 3 %, hasta 1985 habrá crecido en 30 % y la exportación a los EE.uu. y Japón habrá descendido en la misma propor-

porción. Luego para ese año tendríamos un excedente de 30 - 40 % de nuestra producción basada a las cifras actuales, la cuál sería el porcentaje en que nos afectaría la explotación de los fondos marinos.

4. Como solución al anterior, en las conferencias sobre el derecho del mar han planteado que los beneficios provenientes de la industria de los nódulos, serán distribuidos, a todos los Estados miembros de las Naciones Unidas, prestando consideración especial a los países más afectados y los intereses y necesidades de los países en desarrollo.
5. Para conocer las cifras más exactas en que el Perú será afectado, es necesario realizar estudios detallados y considerando las proyecciones de producción y consumo interno con cifras compatibles con la realidad.

## CONCLUSIONES

1. La minería de cobre en el Perú será afectada en gran porcentaje (cifras tentativas de 30-40 %) por la explotación de los fondos marinos, a partir de la década de 1980.
2. Como posibles soluciones a ello se plantea las siguientes alternativas:

CUADRO N° 21

LA PRODUCCION ACTUAL Y LA HIPOTESIS DE PRODUCCION DE COBRE EN EL PERU HASTA EL  
AÑO 2000.(1000 TM)

| CATEGORIA | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1980  | 1985   | 1990   | 1995   | 2000   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1         | 131.0 | 126.7 | 134.2 | 115.3 | 121.7 | 110.5 | 868.1 | 1102.6 | 1136.3 | 1171.1 | 1205   |
| 2         | 18.8  | 17.6  | 18.4  | 21.3  | 21.2  | 15.4  | 22.0  | 22.6   | 23.3   | 24.0   | 24.6   |
| 3         | 52.1  | 49.6  | 51.0  | 55.4  | 58.4  | 42.9  | 66.2  | 69.5   | 72.8   | 76.2   | 79.5   |
| 4         | 11.5  | 7.4   | 7.9   | 8.5   | 11.7  | 15.8  | 12.9  | 13.8   | 14.7   | 15.7   | 16.6   |
| 5         | 6.8   | 6.0   | 3.5   | 2.2   | 4.7   | 3.0   | 5.0   | 5.3    | 5.5    | 5.8    | 6.3    |
| TOTAL     | 220.2 | 207.3 | 215.0 | 202.7 | 217.7 | 185.6 | 974.2 | 1213.8 | 1253.2 | 1232.8 | 1332.1 |

Fuente: L. Briceño. "Los Proyectos en el Perú Hasta el año 2000 VII Cong.  
Mundial de Minería 1974 Lima- Perú

CUADRO N° 22

VOLUMEN DE PRODUCCION Y EXPORTACION DE COBRE Y SU VALOR (1965-75)

| AÑO  | Volumen de<br>Producción<br>(1000 TMF.) | Volumen de<br>Exportación<br>(1000 TMF.) | Valor<br>(Millones<br>dólares) | %<br>(B/A) |
|------|---|--|--------------------------------|------------|
|      | (A)                                     | (B)                                      |                                |            |
| 1965 | 180.4                                   | 178.6                                    | 123.1                          | 99         |
| 1966 | 200.0                                   | 172.3                                    | 187.1                          | 86         |
| 1967 | 192.7                                   | 191.1                                    | 194.5                          | 99         |
| 1968 | 212.5                                   | 199.8                                    | 232.9                          | 94         |
| 1969 | 198.8                                   | 210.4                                    | 277.4                          | 105        |
| 1970 | 220.2                                   | 209.1                                    | 276.6                          | 95         |
| 1971 | 207.3                                   | 194.1                                    | 195.8                          | 94         |
| 1972 | 215.0                                   | 204.2                                    | 197.0                          | 95         |
| 1973 | 202.7                                   | 190.4                                    | 300.2                          | 94         |
| 1974 | 217.7                                   | 185.4                                    | 347.1                          | 85         |
| 1975 | 185.5                                   | 142.5                                    | 155.2                          | 76         |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Anuario Minero  
(diversos años).

CUADRO N°23

VOLUMEN DE EXPORTACIONES DE COBRE A LOS MERCADOS Y SU PARTICIPACION PORCENTUAL

(1000 T.M.F.)

| PAIS       | 1965 |   | 1966  |      | 1967  |       | 1968  |       | 1969  |       | 1970  |       | 1971  |       | 1972  |       | 1973  |       | 1974  |      |       |       |
|------------|------|---|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|            | V    | % | V     | %    | V     | %     | V     | %     | V     | %     | V     | %     | V     | %     | V     | %     | V     | %     | V     | %    |       |       |
| EE.UU.     | N.D. |   | 126.3 | 73.3 | 112.1 | 58.7  | 116.0 | 58.1  | 108.9 | 51.8  | 106.8 | 51.1  | 84.3  | 43.4  | 86.2  | 42.2  | 89.0  | 46.7  | 97.1  | 52.4 |       |       |
| JAPON      | N.D. |   | 8.8   | 5.1  | 23.8  | 12.5  | 24.2  | 12.1  | 32.6  | 15.5  | 35.1  | 15.8  | 33.0  | 17.0  | 31.8  | 15.6  | 36.5  | 19.2  | 19.6  | 10.6 |       |       |
| M.C.E      | N.D. |   | 32.7  | 19.0 | 50.8  | 26.6  | 48.4  | 24.2  | 57.5  | 27.3  | 56.6  | 27.0  | 55.3  | 28.5  | 43.5  | 21.3  | 34.0  | 17.0  | 26.7  | 15.5 |       |       |
| A.L.A.L.C. | ---  |   | ---   | ---  | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | 8.0   | 4.1   | 4.7   | 2.3   | 3.4   | 1.9   | 8.7   | 4.7  |       |       |
| OTROS (1)  | N.D. |   | 4.5   | 2.6  | 4.4   | 2.2   | 11.2  | 5.6   | 11.4  | 5.4   | 10.7  | 5.1   | 13.5  | 7.0   | 33.0  | 18.6  | 27.5  | 14.4  | 31.3  | 16.8 |       |       |
| TOTAL      |      |   | 178.6 |      | 172.8 | 100.0 | 191.1 | 100.0 | 199.8 | 100.0 | 210.4 | 100.0 | 209.1 | 100.0 | 204.2 | 100.0 | 204.2 | 100.0 | 190.4 |      | 185.4 | 100.0 |

N.. Datos No disponibles

(1) Hasta 1970 incluía al ALALC

Fuente: El MEM "Anuario Minero (diversos años).

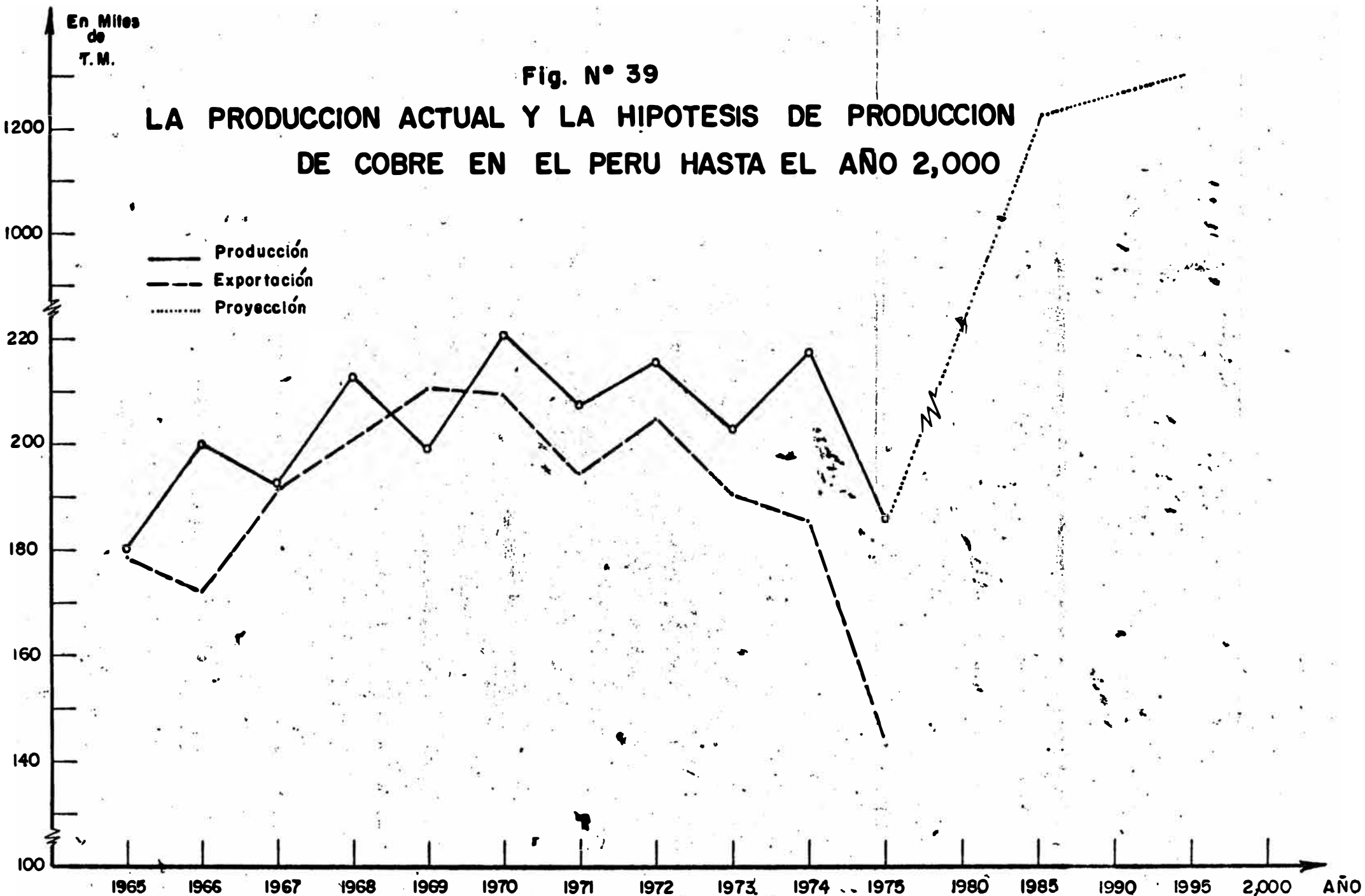


En Miles  
de  
T.M.

Fig. N° 39

# LA PRODUCCION ACTUAL Y LA HIPOTESIS DE PRODUCCION DE COBRE EN EL PERU HASTA EL AÑO 2,000

- Producción
- - - Exportación
- ..... Proyección



Reorientar la política minera del Perú en el sentido que, en los próximos años se debe dar mayor impulso a los proyectos mineros de Pb. Ag. Zn Au y otros minerales diferentes al cobre.

- Buscar nuevos mercados para el cobre peruano, es decir en los países que no entrarán pronto a la explotación de nódulos.

Aumentar nuestro consumo interno de cobre mediante la implantación de industrias de metal mecánica. De este modo tratar de exportar materiales terminados de uso directo.

- Las futuras inversiones extranjeras en proyectos cupríferos, deben ser amortizados en cobre y no en dólares.

#### 8.6 LOS POSIBLES COSTOS EN LA INDUSTRIA DE NODULOS

Los costos en la industria de nódulos se enfocará bajo dos aspectos: costo de capital y de operación, las cifras consideradas son preliminares y estimaciones de una serie de personas expertas en la materia. Las estimaciones promedio de los consorcios multinacion aún son guardados en secreto por estrategia empresarial.

A la fecha, es casi difícil establecer los parámetros, pa-

para una evaluación económica de un proyecto minero marino.

Por lo tanto, las estimaciones de los costos han sido aproximadas sobre la base de ciertas suposiciones; los costos de los materiales y las cifras de consumo de energía - han sido estimadas y comparadas con proyectos terrestres apropiados.

#### 8.6.1 COSTOS DE CAPITAL O INVERSIONES

La estimación de inversiones de capital para un proyecto, requiere un alto grado de conocimiento de los factores técnico-económicos, pero el proyecto de minado de nódulos de los fondos marinos, aún requiere la solución más adecuada de grandes problemas en los siguientes campos: Minería e izaje, procesamiento, exploración, transporte y logística. A pesar de ello, un número de expertos, han publicado las inversiones estimadas que varían de 25 a 238 millones de dólares. Las cifras parciales por etapas se presenta, en el Cuadro N° 24. Las cantidades son de diferentes años lógicamente dichas cifras han variado a la fecha, debido a la crisis mundial inflacionaria. El cuadro se presenta, con el objeto de dar una idea acerca de las inversiones que ocasionará la futura industria de nódulos.

En la Fig. 39, también podemos observar, las cantidades requeridas para la inversión en la industria de nódulos. Según Boin y Muller (1975); en el monto considerado, no está incluida las inversiones para los barcos. Ellos para el transporte de nódulos desde la estación minera a los puertos serán alquilados.

#### COSTOS DE OPERACION

El rango de los costos estimados se muestra en el Cuadro N°25, como es de suponer, es difícil juzgar la confiabilidad de dichos costos estimados publicados por los expertos, debido a que en la actualidad no hay ningún proyecto en operación, del cual se pueda obtener datos o cifras reales.

El costo de operación de minado de nódulos dependerá principalmente de la escala de producción; y el tamaño óptimo de proyectos individuales está en función de la capacidad de los mercados para absorber los productos y la disponibilidad de recursos, especialmente capital y equipo. Según Mero (1972), un proyecto empleado el método de minado CLC y la lixiviación diferencial será rentable si tiene una tasa de producción de un millón T.C.S. de nódulos por año. Sin embargo, la opinión general manifiesta que la capacidad mínima del primer proyecto para ser rentable, debe tener una producción de 3 millones de toneladas de nódulos por año, en el caso de que producirá :        Ní

LOS POSIBLES COSTOS DE CAPITAL PARA LA EXPLOTACION DE NODULOS; CON UNA OPERACION DE UN MILLON DE TCS/ANIALES

(MILLONES DE DOLARES)

| AUTORES                                | SORENSEN<br>Y<br>MEAD | DORSTEWITZ | MERO<br>(CLC) | MERO<br>(HIDRAULICO) | DRECHSLER     |                               | CLAUSS | COMISION<br>USA (1). | DEESEA<br>VENTURES<br>(NEUMATICO) | MONTCRIEFF<br>SMALE-ADM3 |
|--|-----------------------|------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------------------|--------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| AÑO                                    | 1968                  | 1971       | 1972          | 1972                 | 1972          | 1972                          | 1972   | 1969                 | 1973                              | 1974                     |
| MetaLES QUE<br>SERAN RECU-<br>PERADOS. | Ni, Co<br>Mn, Cu      | N.D.       | Cu, Ni        | Cu, Ni<br>Co, Mn     | Cu,<br>Ni, Co | MnO, Ni<br>CoS, Cu<br>Cemento | -      | Cu, Ni<br>Co, Mn     | Cu, Ni<br>Co, Mn                  | Cu, Ni<br>Co             |
| EXPLORACION                            | -                     | 3.0        | 0.4           | 1.3                  | 6.0           | 6.0                           | -      | 4.0                  |                                   | 39.0                     |
| SISTEMA DE<br>EXPL. TACION             | 105.3                 | 29.6       | 2.0           | 30.0                 | 70.0          | 70.0                          | 33.6   | 9.1                  |                                   | N.D.                     |
| BARCO TRANS<br>PORTE                   | 10.5                  | 42.0       | --            | --                   | 15.0          | 15.0                          |        | 14.9                 |                                   | --                       |
| PROCESO HIDRO<br>METALURGICO           | 35.0                  | 45.5       | 10.0          | 75.0                 | 70.0          | 100.00                        |        | 43.0                 |                                   | N.D.                     |
| CAPITAL DE OPE<br>RACION E IMPREVISTOS |                       |            | 7.6           | 28.7                 |               |                               |        | 15.7                 |                                   | 34.1                     |
| (1) TOTAL                              | 150.8                 | 120.1      | 20.0          | 135.0                | 161.0         | 191.0                         | 20.4   | 91.8                 | 115-175                           | 291.5                    |
| (2) TOTAL AJUSTADO                     | 229.0                 | 155.0      | 25.0          | 168.0                | 201.0         | 238.0                         |        | 133.0                | 138-211                           | 235.0                    |

(1) Comission on Marine Sciences, Engineering and Resources (1969)

(2) Ajustado por Marshall y Swift "Equipment Cost Index (1984)

N.D. Datos no disponibles

FUENTE: Richard Tinsley "Mining Engineerin" Abril 1975.

quel, cobre y cobalto. Si además de los anteriores, produjera manganeso, una tasa de producción de un millon de toneladas por año, será suficiente para que dicho proyecto sea reutable.

Monterieff (1) en 1974, hizo un análisis detalado de la economía de la minería oceánica, sus estimaciones están basadas en que la industria producirá: níquel cobre, cobalto y algunos otros metales a pequeña escala; el manganeso será desechado en las colas. Asu me una recuperación promedio de 90 % para níquel y cobre y 55 % para cobalto. Las cifras estimadas se (Cuadro N° 26) refieren a una producción de 3 millones de toneladas secas de nódulos anuales.

CUADRO N° 26

COSTOS PARA UNA OPERACION DE TRES MILLONES DE TONELADAS SECAS DE NODULOS ANUALES  
(Millones de dolares)

| ACTIVIDADES   | BAJO | MEDIO | ALTO |
|---|------|-------|------|
| Exploración, investigación y desarrollo   | 60   | 80    | 150  |
| Costos de Capital:  |      |       |      |
| Planta, Equipos, Terreno, Represa para Relaves, Oficinas, Ingeniería diseño y montaje | 250  | 300   | 400  |
| Comisiones  | 10   | 30    | 50   |
| Capital de trabajo  | 30   | 40    | 50   |
| TOTAL DE INVERSIONES  | 350  | 450   | 650  |
| Costo Anual de Operación  | 90   | 105   | 130  |
| Tasa Promedio de Depreciación 10% anual   | 25   | 30    | 40   |
| COSTO TOTAL DE PRODUCCION   | 115  | 135   | 170  |

Fuente; Minerals Sci. Engng. Vol 7, Nº3 Julio 1975.

(1) The Economics of First Generation Manganese Nodules 1974.

En el desarrollo del presente trabajo se ha considerado, tres sistemas para la explotación de nódulos y en el capítulo correspondiente se hizo algunas comparaciones entre ellas desde el punto de vista técnico. Aquí se hará algunos comentarios en base a los parametros económicos disponibles en los Cuadros Nº 24 y 25.

Las inversiones iniciales que requieren los sistemas CLC, hidráulico y el neumático son 25, 168, y 138-211 millones de dólares (USA); y los costos de operaciones anuales 18.3, 39.3 y 55-75 millones de dólares respectivamente.

En el caso de que fuéramos inversionistas y basándonos simplemente a las cifras preliminares indudablemente nos inclinaríamos por el sistema CLC, pero ello no solucionaría la puesta en marcha de un determinado proyecto debido a que no todos los sistemas de explotación se adecúan a la forma o tipo de yacimientos. En conclusión, el sistema a elegirse está en función de los parámetros técnicos y económicos.

De los tres sistemas considerados, el CLC sería el más recomendable dado a sus ventajas consideradas -

en el Capítulo VI y finalmente debido a que requiere una baja inversión inicial y los costos de operaciones anuales, también bajas con respecto a los otros dos. Pero, siempre y cuando el sistema se pueda adecuar a la forma del yacimiento.

### 8.7 POSIBLES UTILIDADES EN LA INDUSTRIA DE NODULOS

En la evaluación económica de un proyecto, uno de los principales factores es el exámen crítico del aspecto económico. Es decir, ¿Qué renta se puede lograr de la venta de los productos?. Esto significa que la economía de un proyecto a escala comercial está determinada por sus ventas, y éste por la calidad y cantidad de los productos finales comerciales. Pero, como estos generalmente son cifras anticipadas, nos indican las futuras transacciones.

Para la tasación realística de los riesgos, se requiere de un conocimiento fundamentado del pasado y el futuro de mercado para los productos que serán elaborados.

Refiriéndonos a la industria de nódulos, podríamos hacer las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los productos finales comerciales?
- ¿Cuál es la tasa de producción que se espera alcanzar?.
- ¿Que calidades características tendrán estos productos?.
- ¿Qué precios alcanzarán los productos en los mercados?.



La primera pregunta puede ser contestada teóricamente con suficiente exactitud después de la primera serie de ensayos a nivel de planta piloto, aunque en nuestro caso ya conocemos los productos: Níquel, cobre cobalto y manganeso.

La segunda pregunta, también está contestada, porque ya se ha dicho, que los consorcios, están planeando producir 1 y 3 millones de TCS de nódulos anuales.

La respuesta a las dos últimas preguntas requiere definitivamente el resultado de pruebas continuas a nivel comercial, tales como sondeo de mercado, estudio del historial de precios, las futuras demandas los posibles sustitutos, etc.

Después de haber considerado algunos factores que influyen en la evaluación económica de un proyecto; en lo que sigue, presento Cuadros de estados financieros en base a los informes de N.U.A/Conf. 62/25, con el objeto de mostrar las posibles utilidades que generará la futura industria de nódulos.

Los ingresos brutos han sido estimados para dos capacidades de producción: De 1 y 3 millones de toneladas de nódulos. Para la primera, se estima un ingreso de 170 millones de dólares y para la segunda 268 millones de dólares sin producción de manganeso, (Cuadro N°27).

CUADRO N° 27

INGRESOS ESTIMADOS POR VENTAS (DOS OPERACIONES DE DIS  
TINTA MAGNITUB).

| Metales   | 1'000,000 Tons/anuales        |  | 3'000,000 Tons anuales         |  |
|-----------|-------------------------------|--|--------------------------------|--|
|           | Producción de metal (1000 TM) | Valor de la Producción (Millones - Dólares). | Producción de metal (1000 TM). | Valor de la Producción (Millones Dólares). |
| Manganeso | 230.0                         | 80.5   | -----                          | -----                                      |
| Niquel    | 15.0                          | 49.5   | 45.0                           | 184.5                                      |
| Cobre     | 13.0                          | 22.9   | 39.0                           | 68.6                                       |
| Cobalto   | 2.0                           | 8.8  | 6.0                            | 26.4                                       |
| Otros*    | <u>2.5</u>                    | <u>8.2</u>                                   | <u>7.5</u>                     | <u>24.7</u>                                |
| Total     | 262.5                         | \$169.9                                      | 127.5                          | \$ 268.2                                   |

\* Incluye: Mo, V, Zn, Ag y otros.

NOTA: Los precios estimados a lo largo plazo son: Mn-350\$/Ton  
Ni-1.50 \$/lb., Cu-0.88 €/lb y Co-2.0 \$/lb.

Fuente: N.U.A/Conf. 62/25.

En el Cuadro N° 28, se resume los cálculos de ingresos brutos, los gastos de explotación, la inversión total y los posibles pagos a la Autoridad Internacional de las Naciones Unidas. Es probable que en la práctica no se registre el valor bajo ni alto del rendimiento de la inversión total, porque en los cálculos, ellos consideran las suposiciones más pesimistas en cada caso (ingreso bruto bajo, costo total de explotación alto e inversión total alta).

Las cifras sobre el rendimiento estimado de la inversión total, las N.U. ha tomado de los cálculos de los costos - proporcionados por los representantes de la Kennecott -- Copper Inc. y la de Deepsea Ventures Inc., dichas cifras ponen de relieve que los resultados de la industria de nódulos serán atractivos para los transnacionales interesados en esta actividad.

En una operación de un millón de toneladas, el rendimiento más pesimista sobre la inversión sería del 43 %, pudiendo alcanzar hasta el valor más alto del 109 %, con un valor estimado promedio de 69 %. En el caso de 3 millones de toneladas alcanzarían 54,94 y 73 % respectivamente.

Las utilidades netas probables, que pueden obtener las empresas dedicadas a la minería oceánica con una operación de un millón de toneladas son 66, 72, 39 millones de dólares en los valores alto, medio y bajo.

En el caso de 3 millones de toneladas son 118, 96, y 76 millones respectivamente.

CUADRO N° 28

RESULTADO DE LOS ESTADOS FINANCIEROS DE LA INDUSTRIA DE NODULOS Y LOS POSIBLES EFECTOS DE PAGO A LA AUTORIDAD INTERNACIONAL DE LAS N.U. (MILLONES DE DOLARES U. S. A.)

|  | 1:000000Ton/an. 3000000Ton/anales |       |      |      |       |      |
|--|-----------------------------------|-------|------|------|-------|------|
|  | ALTO                              | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO |
| a) Ingreso bruto por ventas                                      | 188                               | 170   | 154  | 296  | 268   | 242  |
| b) Costo total estimado  | 76                                | 66    | 56   | 90   | 75    | 60   |
| c) Utilidad bruta  | 132                               | 104   | 78   | 236  | 193   | 152  |
| d) Inversión Total   | 180                               | 150   | 120  | 280  | 265   | 250  |
| e) Rendimiento de la inversión total                             | 109%                              | 69%   | 43%  | 94%  | 73%   | 54%  |
| f) Los posibles pagos a la autoridad N.U.                        |                                   |       |      |      |       |      |
| - 30 % de participación sobre los ingresos brutos (Royalty)      | 56                                | 51    | 46   | 89   | 80    | 72   |
| - 50 % de participación de la utilidad neta (ganancia repartida) | 66                                | 52    | 39   | 118  | 96    | 76   |
| g) Utilidad neta después del pago de:                            |                                   |       |      |      |       |      |
| - 30 % Participación sobre ingresos                              | 75                                | 53    | 33   | 146  | 113   | 79   |
| - 50 % Participación de utilidad                                 | 66                                | 52    | 39   | 118  | 96    | 76   |
| h) Rendimiento de inversión después - del pago de:               |                                   |       |      |      |       |      |
| - 30 % participación sobre ingresos                              | 63%                               | 35%   | 18%  | 58%  | 43%   | 28%  |
| - 50 % participación utilidad                                    | 65%                               | 35%   | 22%  | 47%  | 36%   | 27%  |

Fuente: N.U. A./Conf. 62/25

A N E X O

Conferencias de las Naciones Unidas sobre

"EL DERECHO DEL MAR"

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DERECHO DEL MAR.

INTRODUCCION.

Los mares constituyen un medio de comunicación, una fuente de alimentos, un vasto tesoro de recursos inexplorados y un mundo de abundante vida marina.

En nuestros días la Humanidad busca en el mar sustancias como nunca los había hecho antes, en un momento en que el incremento de población y los niveles de vida más elevados han intensificado las demandas por alimentos, combustibles, sustancias minerales y otros recursos.

Como consecuencia de lo expresado anteriormente han surgido una serie de interrogantes y/o problemas más que todo debido a la diferencia abismal en el campo tecnológico entre países desarrollados y en desarrollo para la explotación de recursos que nos ofrece el mar.

La ley internacional sobre el mar y sus usos ha estado regido por mucho tiempo, por el "Principio de la Libertad del Mar", sostenido por el jurista holandés Huig de Groot (Hugo Grotius, 1583-1645), en su obra "De Mare Libero", publicada en 1609, y dejó ver con claridad que el mar debería ser abierto a todas las naciones para su libre uso, siendo restringido de otros usos no pacíficos.

Las Naciones Unidas con el fin de dar soluciones a las controversias surgidas a raíz del avance tecnológico marino, ha convocado hasta la fecha 3 conferencias sobre el derecho del Mar relacionados con el Mar Territorial y zonas contiguas, la alta mar, la captura y la conservación de los recursos vivos, y la plataforma continental.

#### A-1 LA PRIMERA CONFERENCIA SOBRE EL DERECHO DEL MAR

La primera conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, se realizó en Ginebra el año 1958. A continuación de la conferencia se llevaron a cabo las convenciones sobre el Derecho del Mar en la misma ciudad, ellas forman un elemento principal en el actual derecho del mar y son en sí mismas, el producto de siglos de desarrollo gradual. Los convenios han sido ratificados por menos de la mitad de las naciones del mundo, y otros países no los han aceptado. Muchos creen que necesita revisión. Los críticos de las convenciones han hecho notar; por ejemplo, que las convenciones reflejan los intereses de las potencias marítimas mayores, cuyas voces predominaron en la Conferencia de 1958, y no tuvieron en cuenta en forma adecuada las necesidades de los países en desarrollo.

Las convenciones se desarrollaron sobre los siguientes temas:

1. La convención sobre el Mar Territorial y la Zona contigua.
2. La convención sobre Alta Mar.
- 3.- La convención sobre la pesca y la conservación de los recursos vivos en Alta Mar.
4. La convención sobre la Plataforma Continental
5. Protocolo de Firma facultativa en relación con la solución obligatoria de controversias.

#### A-2 LA SEGUNDA CONFERENCIA SOBRE EL DERECHO DEL MAR.

La segunda conferencia, fue convocada en 1960 para considerar cuestiones adicionales relativa a la anchura del mar territorial y a los límites de la pesquerías, cuestiones que quedaron pendientes de solución en la primera Conferencia. La conferencia no logró aprobar ninguna propuesta importante en relación con los dos problemas.

Las conferencias anteriores de las N.U., y las diferentes convenciones aprobadas, dejaron la cuestión de la anchura territorial y muchos otros problemas sin solución.

Muchos usos del mar, tales como la pesca y el transporte, tienen historiales largos, en tanto que otros, tales como la descarga de desechos, han adquirido importancia solo recientemente. Todavía otros más, tales como el desarrollo en el área de la minería a gran profundidad constituyen nuevas actividades que han nacido a consecuencia de mayores conocimientos científicos y de progresos tecnológicos modernos.

Con la esperanza de resolver cuando menos alguna de las cuestiones no resueltas sobre el derecho del mar, la Asamblea General ha convocado la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas. Cada país tiene su propio interés en relación con los mares, y la conferencia tratará de superar las brechas existentes entre esos intereses. Las potencias marítimas, las naciones con grandes flotas de transporte marítimo, los países que dependen de la pesca en las cercanías de sus costas y otras flotas pesqueras que operan a largas distancias, los Estados costeros y los caren-tes de litorales, así como las naciones formadas por is-las y archipiélagos, aquellos con una amplia plataforma continental y las que carecen de ella, los países desa-rrollados y en desarrollo, todos tienen sus propias prio-ridades, en relación con el derecho del mar.

### A-3 LA TERCERA CONFERENCIA SOBRE EL DERECHO DEL MAR

La preocupación actual de las Naciones en relación con los fondos marinos, fue inspirada por el representante de Malta en el período de sesiones de la Asamblea General co-rrespondiente a 1967. Arvid Pardo propuso que se tomara acción internacional para reglamentar los usos del fondo marino, y garantizar que su explotación sería con fines -



pacíficos solamente y para beneficio de toda la humanidad. Puesto que ello, son una herencia común de la humanidad.

- L La discusión del problema en la Asamblea General reveló el deseo de los Estados Miembros, de establecer un régimen internacional sobre los fondos marinos y oceánicos, más allá de los límites de la jurisdicción nacional, y garantizar que los recursos del ambiente marino fueran explotados para beneficio de todos y no para fines militares.

Esta discusión condujo al establecimiento de un comité Ad Hoc sobre la utilización con Fines Pacíficos de los Fondos Marinos y Oceánicos fuera de los límites de la jurisdicción Nacional. Así, el Comité de 35 naciones, en 1968 estableció la Comisión sobre la Utilización con Fines Pacíficos de los Fondos Marinos, formada por 42 Estados Miembros. Más tarde, en 1971, el número de miembros de la Comisión, conocida con el nombre de Comisión de los Fondos Marinos, fue aumentado para incluir a representantes de 91 Estados Miembros. Pero dicha comisión fue disuelta por la Asamblea General en 1973.

En 1970, la Asamblea decidió formalmente convocar a una tercera conferencia sobre el ~~derecho~~ Derecho del Mar (Resolución 2750/C (XXV) aprobada el 17 de Diciembre de 1970).

A continuación se considera un extracto de los problemas discutidos por las tres comisiones, y propuestas al IV período de sesiones de la Tercera Conferencia sobre Derecho del Mar, realizado en Nueva York en los meses de Marzo-Mayo y Agosto-Setiembre de 1976. Las proposiciones aún no han sido aprobadas en dichas sesiones y se espera que lo hagan en el próximo período de sesiones a realizarse en Marzo de 1977, y las Comisiones son:

Primera Comisión: El Régimen Internacional para los Fondos Marinos y Oceánicos fuera de los

## límites de Jurisdicción Nacional"

Segunda Comisión" "Delimitación de las zonas dentro y fuera de los límites de la Jurisdicción Nacional".

Tercera Comisión "Protección y preservación del medio marino, la investigación científica y la transferencia de Tecnología marina".

### A-4. SINTESIS DEL TEXTO UNICO PRESENTADA POR LA PRIMERA COMISION

#### LA ZONA Y SUS LIMITES

Los fondos marinos y oceánicos y su subsuelo fuera de los límites de la jurisdicción nacional, en lo sucesivo denominados la "Zona" y sus recursos son patrimonio común de la humanidad.

#### NO REINVINDICACION NI EJERCICIO DE SOBERANIA

Ningún estado o persona podrá reivindicar o ejercer soberanía o derechos soberanos sobre parte alguna de la zona o sus recursos y los minerales extraídos.

#### BENEFICIO DE TODA LA HUMANIDAD

Las actividades en la zona se realizarán en beneficio de toda la humanidad, independientemente de la ubicación geográfica -- de los Estados ya se trate de países ribereños o sin litoral, y prestando consideración especial a los intereses y necesidades de los países en desarrollo.

#### PRINCIPIOS GENERALES RELATIVOS A LAS ACTIVIDADES EN LA ZONA

Las actividades en la Zona se efectuarán de manera de:

- a. Promover el desarrollo saludable de la economía mundial y un crecimiento equilibrado del comercio internacional.

- b. Aumentar las oportunidades de participación de todos los Estados Partes en la explotación de los recursos de la zona.
- c. Proteger contra los efectos adversos en los ingresos y la economía de los países en desarrollo debidos a un descenso considerable en sus ingresos de exportación de minerales y otras materias primas que tienen origen en su territorio y que también se obtenga en la Zona.
- d. Asegurar la participación y la distribución equitativas de los beneficios obtenidos de las actividades en la Zona entre los Estados Partes.

#### LA AUTORIDAD INTERNACIONAL DE LOS FONDOS MARINOS.

La autoridad es la organización por conducto de la cual los Estados Partes organizarán y controlarán las actividades en la Zona, particularmente con miras a la administración de los recursos de ella.

#### ORGANOS DE LA AUTORIDAD

Se establecerán como principales órganos rectores, judiciales y administrativos de la Autoridad una Asamblea, un consejo, un Tribunal, una empresa y una secretaría .

La Asamblea, estará integrada por todos los Estados miembros y fijará la política que deberá seguir el Consejo. El Consejo, será el órgano ejecutivo y estará integrado por 36 miembros de la Autoridad elegidos por la Asamblea, 24 de los cuales serán elegidos de conformidad con el principio de la representación geográfica equitativa y 12 con miras a representar intereses especiales teniendo en cuenta el principio de la representación geográfica equitativa.

El Tribunal, resolverá todas las controversias que se le so

metan relativas a la interpretación o aplicación de las - normas de la conservación o de las que se sometan en virtud de un compromiso o acuerdo concertado.

La Empresa, Será órgano de la Autoridad que, con sujeción a las directivas generales de política y al control del - Consejo, tendrá a su cargo la preparación y ejecución de las actividades de la autoridad en la Zona.

La Secretaría, se compondrá de un Secretario General y - del personal que requiera la Autoridad. El Secretario General será nombrado por la Asamblea por recomendación del Consejo y será el más alto funcionario administrativo de la Autoridad.

#### A.5 SINTESIS DEL TEXTO PRESENTADO POR SEGUNDA COMISION

##### MAR TERRITORIAL

Se entiende por mar territorial a la soberanía que ejere- un estado sobre una faja de mar adyacente a sus costas.

La soberanía se extiende también al espacio aéreo sobre ella, al fondo marino y subsuelo bajo de ella. A las embarcaciones de cualquier estado se les garantiza el derecho - de paso al través del mar territorial, siempre y cuando el paso sea "inocente" y "no perjudicial para la paz, el buen orden o la seguridad del estado costero", los submarinos y cualesquiera otros vehículos sumergibles deberán navegar - por la superficie y enarbolar su pabellón.

Todo estado tiene derecho a establecer la anchura de su mar territorial hasta un límite que no exceda de 12 millas mar-  
tinas medidas a partir de la línea de bajamar.

Con respecto a la anchura del mar terrotorial la mayoría de los países sudamericanos sostienen la tésis de las 200 millas.

## MAR PATRIMONIAL

Es una faja de mar donde el estado ribereño ejerce derechos de soberanía sobre los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, que se encuentran en las aguas, en el lecho y en el subsuelo de la zona adyacente al mar territorial. "La suma de esta zona y la del mar territorial, teniendo en cuenta las circunstancias geográficas, no deberá exceder en total de 200 millas marinas.

## ZONA CONTIGUA.

Como su nombre lo indica es una zona contigua al mar territorial, no debe extenderse más allá de 24 millas contadas desde la línea de base (generalmente la línea de la costa) a partir de la cual se mide la anchura del mar territorial.

En esta área el Estado costero puede ejercer el control necesario para evitar las infracciones de su legislación aduanera fiscal, de inmigración y sanitaria que pudieran cometerse en su territorio o en su mar territorial.

## ZONA EXONOMICA EXC USIVA

Se define como una zona situada fuera del mar territorial y adyacente a éste. Su extensión será no mayor a las 200 millas marinas, a partir de la línea de base desde la cual se mide la anchura del mar territorial. Los Estados ribereños gozarán de :

- a. Derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales tanto renovables como no renovables, de los fondos marinos y subsuelo y las aguas suprayacentes.
- b. Derechos exclusivos y jurisdicción con respecto al establecimiento de islas artificiales, instalaciones y es -

estructuras

- c. Jurisdicción exclusiva para la investigación científica y la producción de energía del agua, de las corrientes y de los vientos.
- d. Jurisdicción con respecto a la preservación del medio marino incluidos el control y la eliminación de la contaminación.

#### LA PLATAFORMA CONTINENTAL

La plataforma continental comprende el lecho y el subsuelo de las zonas submarinas que se extienden más allá del mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural del continente, hasta un cambio brusco de pendiente o borde superior del talud continental, o bien hasta una distancia de 200 millas marinas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide el mar territorial, en los casos en que el borde exterior del margen continental no llegue a esta distancia.

El estado ribereño ejercerá derechos de soberanía a los efectos de su exploración y de la explotación de sus recursos naturales, entendiéndose por tales únicamente: "Los recursos minerales y otros recursos no vivos del lecho del mar y del subsuelo, así como organismos vivos pertenecientes a especies sedentarias, es decir, aquellos que en el período de explotación estén inmóviles en el lecho del mar o en su subsuelo o solo puedan moverse en constante contacto físico con dicho lecho o subsuelo. En esta zona los países ribereños tienen el derecho soberano para explotar yacimientos petrolíferos, pero no los recursos pesqueros que contienen las aguas suprayacentes.

## ALTA MAR O ZONA INTERNACIONAL

Se define como todas aquellas zonas del mar, que no estén incluidas en el mar territorial, en la zona económica exclusiva o en las aguas interiores de un Estado.

La alta mar estará abierta a todos los Estados, con litoral marítimo o sin él. En consecuencia, ningún Estado podrá pretender legítimamente someter cualquier parte de ella a su soberanía. La libertad de Alta Mar comprende, entre otras, para los Estados con litoral o sin él. - La libertad de. navegación, sobrevuelo, tender cables y tuberías submarinas, construir islas artificiales y otras instalaciones autorizadas por el derecho internacional, pesca y la de investigación científica.

## A.6 SINTESIS DEL TEXTO PRESENTADO POR LA TERCERA COMISION

### a.6.1 PROTECCION Y PRESERVACION DEL MEDIO MARINO

Por contaminación del medio marino, se entiende la - introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o de energía en el medio marino que produzcan efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, concluidas- las pesca u otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua de mar para su utilización y reducción de los lugares de esparcimiento.

### OBLIGACIONES DE LOS ESTADOS

- a) Proteger y preservar todo el medio marino
- b) Adoptar todas las medidas necesarias para impedir reducir y controlar la contaminación del medio marino proveniente de cualquier fuente.

- d) Adoptar las medidas necesarias para asegurarse de que la contaminación marina no se extienda fuera de la jurisdicción nacional.

#### COOPERACION MUNDIAL Y REGIONAL

Los estados cooperarán en el plano mundial y cuando proceda en el plano regional, en la elaboración de normas y procedimientos que se recomienden internacionalmente a fin de preservar la contaminación del medio marino.

#### ASISTENCIA TECNICA.

Los estados directamente o por conducto de los organismos internacionales o regionales competentes:

- a) Promoverán programas de asistencia científica, educativa, técnica y de otra índole a los países en desarrollo para la preservación del medio marino.
- b) Prestarán la asistencia debida, en particular a los países en desarrollo, para reducir lo más posible los efectos de los incidentes importantes que puedan causar una grave contaminación del medio marino.

#### A.6.2 LA INVESTIGACION CIENTIFICA MARINA

Se entenderá por investigación científica marina todo estudio o trabajo experimental conexo encaminado a aumentar el conocimiento del medio marino para la humanidad.

Todos los Estados, independientemente de su situación geográfica, así como las organizaciones internacionales competentes, tendrán derecho a efectuar inv



vestigaciones científicas marina con fines pacíficos:

REALIZACION Y FOMENTO DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA DE LOS MARES.

Los Estados ribereños tendrán el derecho soberano de realizar y reglamentar las actividades de investigación científica en su mar territorial.

Los estados y las organizaciones internacionales que se propongan realizar investigaciones científicas - marinas en la zona económica o en la plataforma continental de un Estado ribereño proporcionarán a dicho Estado, una descripción completa de:

- a) La índole y los objetivos del proyecto de investigación.
- b) El método y los medios que se van a emplear
- c) Las zonas geográficas precisas en que van a realizarse las actividades de investigación.
- d) Las fechas previstas de llegada y partida de los barcos de investigación.

**A.6.3 DESARROLLO Y TRANSMISION DE TECNOLOGIA MARINA**

Los Estados, según sus posibilidades, cooperarán en forma directa o por medio de las organizaciones internacionales, para impulsar vigorosamente el desarrollo y la transmisión de la ciencia y la tecnología marinas en términos justos y razonables y en condiciones y precios equitativos.

Los Estados para alcanzar los objetivos, procurarán entre otras cosas:

- a) Establecer programas de cooperación técnica para la efectiva transmisión de todo tipo de tecnología marina a los Estados que necesitan y solicitan asistencia técnica en esta esfera.
- b) Promover condiciones favorables para la concertación de adecuados contratos y otros arreglos similares en condiciones equitativas y razonables.
- c) Celebrar conferencias, seminarios y simposios sobre temas científicos y tecnológicos.
- d) Fomentar el intercambio de científicos, tecnólogos y otros expertos.
- e) Emprender proyectos y fomentar operaciones conjuntas y otras formas de cooperación bilateral y multilateral

La cooperación internacional para el desarrollo y la transmisión de tecnología se llevará a cabo, cuando sea viable y oportuno, a través de los programas bilaterales, regionales o multilaterales existentes, y asimismo a través de programas nuevos y ampliados para facilitar la investigación científica marina y la transmisión de la tecnología.

### CONCLUSIONES

1. La morfología de los fondos marinos está cubierto por minerales inconsolidados (nódulos, lodos, etc.), el subfondo guarda minerales en forma de vetas o mantos y el petróleo, el agua de mar posee grandes reservas de elementos disueltos en ellas (cloro, bromo, sodio, etc.).
2. Los depósitos ferromanganesos han sido agrupados en dos tipos: nodulares y costras. El primero es considerado como un potencial de reservas minerales para la humanidad, la segunda aún no lo son, por falta de una adecuada tecnología para su extracción.
3. La composición química de nódulos varía de una zona a otra en un mismo océano, para ello influyen los sedimentos continentales, la actividad hidrotermal, el pH del agua y otros factores.
4. Los nódulos se forman en zonas de sedimentación muy lenta (1 a 3 mm/1,000 años), cerca a las fuentes de origen de elementos y en ambientes de oxidación.
5. La explotación de los fondos marinos se iniciará en el Pacífico Norte, zona de Hawái y sus alrededores (ver Fig. 5).
6. En el campo de la exploración oceanográfica, a partir de la década de 1950, se ha logrado un gran avance y como resultado de ello actualmente se posee una técnica bastante adelantada, para la prospección y exploración de recursos en el medio marino, uno de ellos es la Geofísica marina.
7. En la fase de recolección de nódulos, se tendrá problemas relacionados a los equipos, debido a que según el diseño a

tual operan a una velocidad baja y tienen una capacidad de dragado muy baja (20 - 40 ton/h).

8. Dentro del sistema mecánico o CLC, para el izaje se emplearán el tipo popa y el de dos barcos; porque ellos presentan mayores ventajas con respecto al prototipo, amplia separación de cables, movimiento de los barcos hacia adelante, etc.
9. De los tres sistemas propuestos para el izaje, el CLC será el más adecuado, debido a que tiene ciertas ventajas (fácil manejo, peso liviano, no opera equipos en el fondo, inspección continua de los cangilones) referente a los otros dos.
10. En la metalurgia de nódulos, el proceso de lixiviación con HCL es el más factible, desde el punto de vista de recuperación de metales (99 % para Mn, Cu y Ni y 98 % para Co), en lo económico es el proceso con amoníaco.
11. En un análisis global mundial del volumen de producción y exportación de Mn, Ni, Cu y Co, se llega a la conclusión, de que la explotación de los fondos marinos, no afectará mucho a la minería convencional pero un análisis a nivel de países nos demostrará que ellos serán seriamente afectados. Ejemplo típico el Perú, que exporta más del 90 % de su producción de cobre; en 1985 dejarían de comprarnos aproximadamente el 30 - 40 % de la producción
12. La industria de nódulos requiere inversiones iniciales del orden de 25 a 238 millones de dólares; los sistemas CLC, hidráulico y el neumático 25, 168 y 138 - 211 millones de dólares y los costos de operación de 18.3, 39.3 y 55.-75 millones de dólares anuales respectivamente.
13. Según los análisis preliminares, la industria de nódulos -

será altamente rentable para una producción de un millón de TCS anuales, las inversiones tendrán una rentabilidad promedio de 69 %.

14. Los países en vías de desarrollo están lejos de poder iniciar la explotación de los fondos marinos, por carecer de tecnología y capitales.
15. Como se ha podido observar a lo largo del desarrollo del trabajo, los países industrializados, prácticamente ya tienen la tecnología lista para iniciar la explotación de los fondos marinos, solo están en la espera de la reglamentación de la actividad por parte de las Naciones Unidas; se cree que este problema será resuelto en el próximo período de sesiones III Conferencia sobre el Derecho del Mar, a realizarse entre Marzo y Mayo de 1977.

### RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de investigación y/o evaluación económica de depósitos de minerales pesados y de no metálicos en playas a lo largo del litoral peruano.
2. Formar un cuadro de profesionales y su especialización en el extranjero, en las técnicas de prospección, exploración, explotación y metalurgia de los recursos minerales del mar con ello, seguir de cerca los adelantos de la tecnología marina en los países altamente desarrollados.
3. Buscar convenios de cooperación técnica con los países, instituciones o universidades que poseen la tecnología marina para los recursos minerales del mar.
4. Realizar estudios de investigación detallada referente al futuro del cobre peruano frente a la explotación de los fondos marinos.
5. Orientar la política minera del Perú, hacia el desarrollo de los proyectos mineros de plomo, zinc, plata, oro y otros diferentes al cobre, Por otro lado, buscar nuevos mercados para el cobre e incentivar hacia el aumento del consumo interno del mismo.
6. Incentivar la investigación en los profesionales jóvenes en las ramas de geología, minas, metalurgia, electrónica, mecánica y otros, orientados hacia la tecnología marina.

BIBLIOGRAFIA

- Agarwal, J. C., Beecher, N., Davies, D.S., Hubred, G.L., Kakaria, V.K. y Kust, R.N. "PROCESSIONG OF OCEAN NODULES A TECHNICAL AND ECONOMIC REVIEW", Marine Technology, JOM, Abril 1976 pp. 24 - 31.
- American Metal Market, "METAL STATISTICS", años 1974 y 1975.
- Arnol, K.H. "HIDROGRAPHIC CONTRIBUTION TO GEOLOGY" Primer - Congreso Nacional de Geología, Soc. Geológica del Perú, Lima 1958.
- Balda, F.A. "RECURSOS MINERALES DEL MAR", La Gena N°30, Venezuela, 1972, pp. 9-11.
- Baurman, A.J. "MINERALS OF MANGANESE NODULES". Nature, Vol. 259, Feb. 5 1976.
- Briceño, L.A. "LOS PROYECTOS MINEROS EN EL PERU HASTA EL AÑO 2000" 8° Cong. Mundial de Minería, Lima 1974.
- Cruickshank, M.J. "MINERAL RESOURCES POTENCIAL OF CONTINENTAL MARGINS" The Geology of Continental Margins, Springer-Verlag, New York, 1974.
- Damiani, O. "POTENCIAL DE RECURSOS MINERALES DEL PERU", 8° -- Cong. Mund. de Minería, Lima, Perú 1974.
- Granville, A. "THE RECOVERY OF DEEP SEA MINERALS: PROBLEMS AND PROSPECTS", Minerals Science and Engineering, Vol., 7, N°3, July 1975, pp. 170-175.
- Herrera., A "LOS RECURSOS MINERALES Y LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO ECONOMICO", Ed. Siglo Veinti-uno, Argentina 1974.
- Herrera, R.F "ESTUDIO MINERALOGICO-ECONOMICO DE LAS ARENAS DE ALGUNAS PLAYAS MARINAS AL NORTE DE CHANCAY DPTO. DE LIMA", Tesis de Bach., 1976 U.N.M.S.M.
- Horn., D.R. "FERROMANGANESE DEPOSITS ON THE OCEAN FLOOR", Lamont Doherty Geol. Observatory of Columbia Univ. 1972.
- Horn, D.R., Horn, B.M. y Delach, M.N. "OCEAN MANGANESE NODULES, METAL VALUES AND MINING SITES". 1973 Tech. Report N°4, NSF-6X 33616 IDDE.

- Horn, D.R., Horn B.M. y Delach, M.N. "METAL CONTENT OF FERRO MANGANESE DEFOSITS OF THE OCEANS", 1973 Tech, Report N°3, NSF-GX 33616 IDOE, Washington.
- Horn, D.R., Horn, B.M. Y Delach, M.N. "FACTORS WHICH CONTROL THE DISTRIBUTION OF FERROMANGANESE NODEULES", 1973 Tech Report N°8, NSF - GX 33616 IDOE, Wanshingøon.
- Hubred, G. "DEEP SEA MANGANESE NODULES: A REVIEW OF THE LITE RATURE?" Minerals Science Engg. Vol. 7, N°1, Enero 1975 pp. 71 - 78.
- Ingeniero Andino, "SOLUCION A PROBLEMAS LEGALES FINANCIEROS Y TECNOLOGICOS EN MINERIA SUB-OCEANICA AC CORTO PLA ZO" Vol VII, N°70, Lima 1975 pp. 9-12
- Lavi, Z.P. "LA EXPLOTACION DE LOS FONDOS MARINOS", apuntes del curso dictado en Dpto, de Minas UNI. 1975.
- Masías, E. A. "MORPHOLOGY, SHALLOW STRUCTURE, AND EVOLUTION OF THE PERUVIAN CONTINENTAL MARGIN, 6°to 18°" Tesis Master, Oregon State University 1976.
- Masuda, Y. y Gau+hier, M. "DEVELOPMENT OF CONTINUOUS LINE BUCKET (CLB) SYSTEMS AND FUTURE OF DEEP SEA MINING" The 3°International Ocean Development Conference, Vol. III Tokio 1975 pp. 309-319.
- Mac Graw Hill Publications Co, "ENGINEERING ...MINING JOURNAL" Vol. 177 N°3, Marzo de 1976
- Menard, H.W. "MARINE GEOLOGY OF THE PACIFIC", McGraw Hill - Inc. New York, 1964.
- Mero, J. "THE MINERAL RESOURCES OF THE SEA", Amsterdam/Else vier Publ. Co.. 1965.
- Metal Bulletin Limited, "METAL BULLETIN HANBOOK, Londres, - años 1970 - 1975.
- Metallgesellschaft AG. "METAL STATISTICS", Frankfurt am Main, años 1960 - 1975.
- Metallgesellschaft AG. "MANGANESE NODULES METALS FRON THE SEA" Frankfurt am Main, Ed. N°18, 1975.
- Naciones Unidas, "RECURSOS MINERALES DEL MAR", informe ST/E-GA/125, Nueva York, 1970
- Naciones Unidas, Conferencias sobre comercio y desarro infor mes: A/CONF 25/62, TD/13/C.1/172 y A/CONF. /37.



- Naciones Unidas, IV Período de Sesiones de la III Conferencia sobre el Derecho del Mar, A/CONF.62/W.P.8/REV.1/Part.I. Marzo-Mayo 1976
- Offshore Technology Conference 7 th. "PROCEEDINGS; 1975. - OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE", Mayo 5-8 Houston Texas, Dallas 1975 Vol.I
- Oficina Nac. de Evaluación de Recursos Naturales (CNERN), "ALGUNAS APLICACIONES DE LA PERCEPCION REMOTA EN LA INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES" 1973.
- Pearson, S.J. "OCEAN FLOOR MINING, Londres/Ed. Noyes Data - Corp. 1975.
- Rosato, V.J. "PERUVIAN DEEP-SEA SEDIMENTS: EVIDENCE FOR CONTINENTAL ACCRETION" Thesis Master of Science Oregon S. Univesity 1974.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Com. Nac. del Espacio Exterior, "PERCEPCION REMOTA, México 1969.
- Siapno, W. D. "EXPLORATION TECHNOLOGY AND OCEAN MINING PARAMETERS", Mining Congress Journal, Vol. 62, N°5, Mayo de 1976 pp. 16-22.
- Silenzi de Stragni, A. "LAMMINERIA OCEANICA Y LOS PAISES EN DESARROLLO", Inst. Cient. Tec. y Minero- Lima 1975.
- Silselman, R. "OCEAN MINERS TAKE SOUNDINGS ON LEGAL PROBLEMS DEVELOPMENTS ALTERNATIVES"; E/MJ. Vol 176, N°4. Abril 1975, pp. 75-86.
- Summerhayes, C,P. y Willis, J.P. "GEOCHEMISTRY OF MANGANESE DEPOSITS IN RELATION TO ENVIROMENT ON THE SEA FLOOR AROUND SOUTHERN AFRICA" Woods Hole Oceanographic Inst. 1975.
- Tinsley, R. "ECONOMICS OF DEEP OCEAN RESOURCES-A QUESTION OF MANGANESE", Mining Engineering Vol. 27, N°4, Abril 1975 pp. 31 - 44.
- Wimpfen, S. y Knoerr, A. "RECURSOS MUNDIALES VERSUS DEMANDA DE COBRE Y ALUMINIO HASTA EL AÑO 2000" 8° Cong. Mund. de Minería, Lima - Perú 1974.