

CAJA 3 DEC 4

J. FLEGENHEIMER

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

PLANTA INDUSTRIAL DE REPROCESAMIENTO

ASPECTOS ECONOMICOS Y TECNICOS

Año 1966

INDICE

1. INTRODUCCION
2. INFORMACION BIBLIOGRAFICA
 - 2.1 Alcance de la información disponible
 - 2.2 Costos de inversión para plantas de reprocesamiento
 - 2.3 Costos de operación
 - 2.4 Otros costos
3. POSIBLE PLANTA DE REPROCESAMIENTO ARGENTINA
 - 3.1 Necesidades argentinas en reprocesamiento
 - 3.2 Costos comparativos de las alternativas
 - 3.3 Otras consideraciones
 - 3.4 Características de la planta
 - 3.5 Costo del plutonio para una planta de 2 t/d
4. BIBLIOGRAFIA

PLANTA INDUSTRIAL DE REPROCESAMIENTO

ASPECTOS ECONOMICOS Y TECNICOS

1. INTRODUCCION

Motivó este estudio sobre plantas industriales de reprocesamiento el interés en la instalación de centrales termonucleares en la República Argentina. Como sistema de referencia para analizar la magnitud del problema, se tomó como base el trabajo sobre "Desarrollo Nuclear Argentino" (Ver Anexo).

Dado el tamaño de la planta o plantas de reprocesamiento que requiere el programa nuclear mencionado fue necesario recurrir a la información bibliográfica extranjera. No se dispone de la suficiente experiencia sobre el tema en el país como para efectuar un cálculo de costos propios. Se estima sin embargo, que los datos para otros países son aplicables a nuestra situación y que el error está dentro de los límites aceptables en predicciones a largo plazo ($\pm 25\%$).

Se pretende, por lo tanto, sólo acotar los costos del desarrollo nuclear argentino en cuanto a reprocesamiento, basándonos en datos publicados en el exterior, considerando la necesidad de instalar en el país una "planta industrial" según las características descriptas en el Informe Preliminar.

En cuanto a la "planta laboratorio" y "planta piloto" a las cuales también se refiere el Informe Preliminar, estas no serán consideradas en este lugar. Sobre la "planta laboratorio" está en preparación un informe por separado. La "planta piloto", cuya capacidad sería de 10 a 20 toneladas de uranio natural irradiado por año, podría ser diseñada y armada en el país. Sobre una planta en esta escala existen antecedentes, como por ejemplo la planta de Trombay, y si se decidiera su construcción podrían prepararse plantas detalladas.

2. INFORMACION BIBLIOGRAFICA

2.1 Alcance de la información disponible

Se ha podido encontrar suficiente información sobre costos de inversión y de operación de plantas de reprocesamiento y en especial de las publicaciones de las conferencias internacionales de Ginebra. Otras publicaciones : coloquios, reuniones, informes, revistas periódicas, libros. Sólo pudieron estudiarse parcialmente las referencias encontradas por no existir documentación completa en la biblioteca de la CNEA.

Debe observarse aquí que las plantas de reprocesamiento descriptas sólo comprenden una parte de las instalaciones necesarias para un plan nuclear autocontenido, y en especial, que la planta no produce elementos combustibles que puedan volver al sistema.

Lo que la planta produce es, por una parte, soluciones o sales u óxidos de material combustible purificado, y soluciones y sólidos de material de desecho por otra. En la mayoría de las publicaciones revisadas, la planta de tratamiento de residuos radiactivos forma un conjunto con la planta de reprocesamiento. La fabricación de nuevos elementos combustibles a partir del material fisio-
noble recuperado constituye en cambio una unidad separada y su costo no se incluye en la planta de reprocesamiento.

2.2 Costos de inversión para plantas de reprocesamiento

Debe tenerse en cuenta que la mayoría de las plantas instaladas hasta la fecha no son comerciales, es decir, que el motivo de su instalación ha sido otro que el de tener un rendimiento económico óptimo. Algunas plantas modernas en cambio sí han sido construídas sobre bases comerciales en mayor o menor grado, y estas son las que interesan en forma especial para este informe. Entre

estas puede mencionarse :

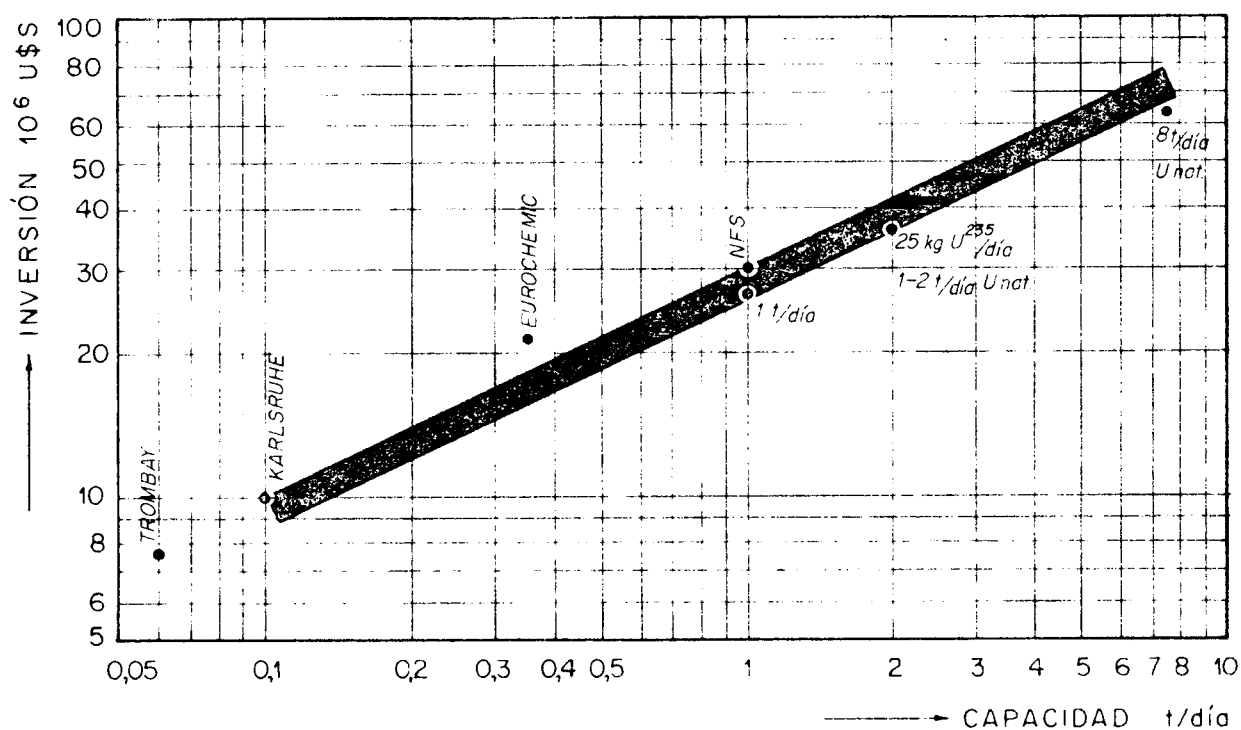
- a) La Planta de Nuclear Fuel Services (NFS) en EE.UU., cuya capacidad es de aproximadamente 1 t/d para uranio natural o de bajo enriquecimiento, y de 30 kg/d para alto enriquecimiento.
- b) Windscale 2 (UKAEA) en Inglaterra, con una capacidad de más de 5 t/d para elementos combustibles de tipo Magnox.
- c) Dounreay (UKAEA), con una capacidad para 1 a 2 kg U/d con alto enriquecimiento y para recuperación de plutonio.
- d) Eurochemic, Mol, Bélgica, con capacidad para 350 kg/d de uranio natural o enriquecimiento bajo y 5 kg/d de enriquecimiento alto.
- e) La planta a construirse en Karlsruhe, Alemania, para óxido de uranio natural o de bajo enriquecimiento y con una capacidad de 100 kg/d.

Todas estas plantas trabajan con tratamiento húmedo, es decir, disuelven el combustible irradiado y por medio de extracciones líquido-líquido separan los productos fisionables de interés.

Aunque los costos de inversión de algunas de estas plantas no se conocen con seguridad, por ejemplo las inglesas, han sido estimados por Barendregt (1), cuyo gráfico de costo de inversión en función de capacidad de planta, para uranio natural, se reproduce en la Fig. 1. La línea llena corresponde a estimaciones teóricas de los costos basados en (2), con precios actualizados, y los puntos corresponden a plantas realmente instaladas o planeadas detalladamente. Se observa que el error cometido en estimar el precio de una planta a partir del gráfico no pasa de un 20 %. Es también de notar que una planta no comercial, como la de Trombay por ejemplo con una capacidad estimada en unos 60 kg/d, se sitúa

COSTO DE INVERSIÓN EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD DE LA PLANTA

(EXPRESADO EN MILLONES DE U\$S)



asimismo sobre la recta. Las informaciones obtenidas de referencias bibliográficas se han resumido en la Tabla 1. Datos de otras fuentes (3), (4), (5), (8), coinciden aproximadamente con las estimaciones condensadas en la Fig. 1. Según Thiriet (8) los costos de inversión para plantas de diferentes capacidades pueden representarse por la fórmula :

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{0,4}$$

donde C_1 y C_2 son los costos de inversión y t_1 y t_2 las capacidades correspondientes.

De la fórmula de Thiriet o de la Fig. 1 puede deducirse de inmediato que el costo de inversión de la planta por unidad de peso de uranio natural irradiado a tratar, es tanto menor cuanto mayor sea la capacidad de la planta. Así por ejemplo para una planta cuya capacidad es de 0,5 t/d la inversión es de 20 millones de U\$S pero para una capacidad 4 veces mayor, es decir 2 t/d, la inversión es aproximadamente 40 millones de U\$S; o sea, no cuatro veces mayor sino el doble. En la Fig. 2 se ha representado el costo de inversión por kg de uranio natural reprocesado anualmente en función de la capacidad de la planta y de la Fig. surge marcadamente la ventaja de instalar plantas de tamaño grande.

En cuanto a la subdivisión de costos de inversión, esta parece ser relativamente independiente de la capacidad de la planta (6), y puede estimarse de la siguiente manera :

Edificio	25 %
Equipamiento	33 %
Equipos auxiliares (ventilación, control analítico, equipo de mantenimiento y acumulación de residuos)	25 %
Diseño, construcción y contingencias	17 %

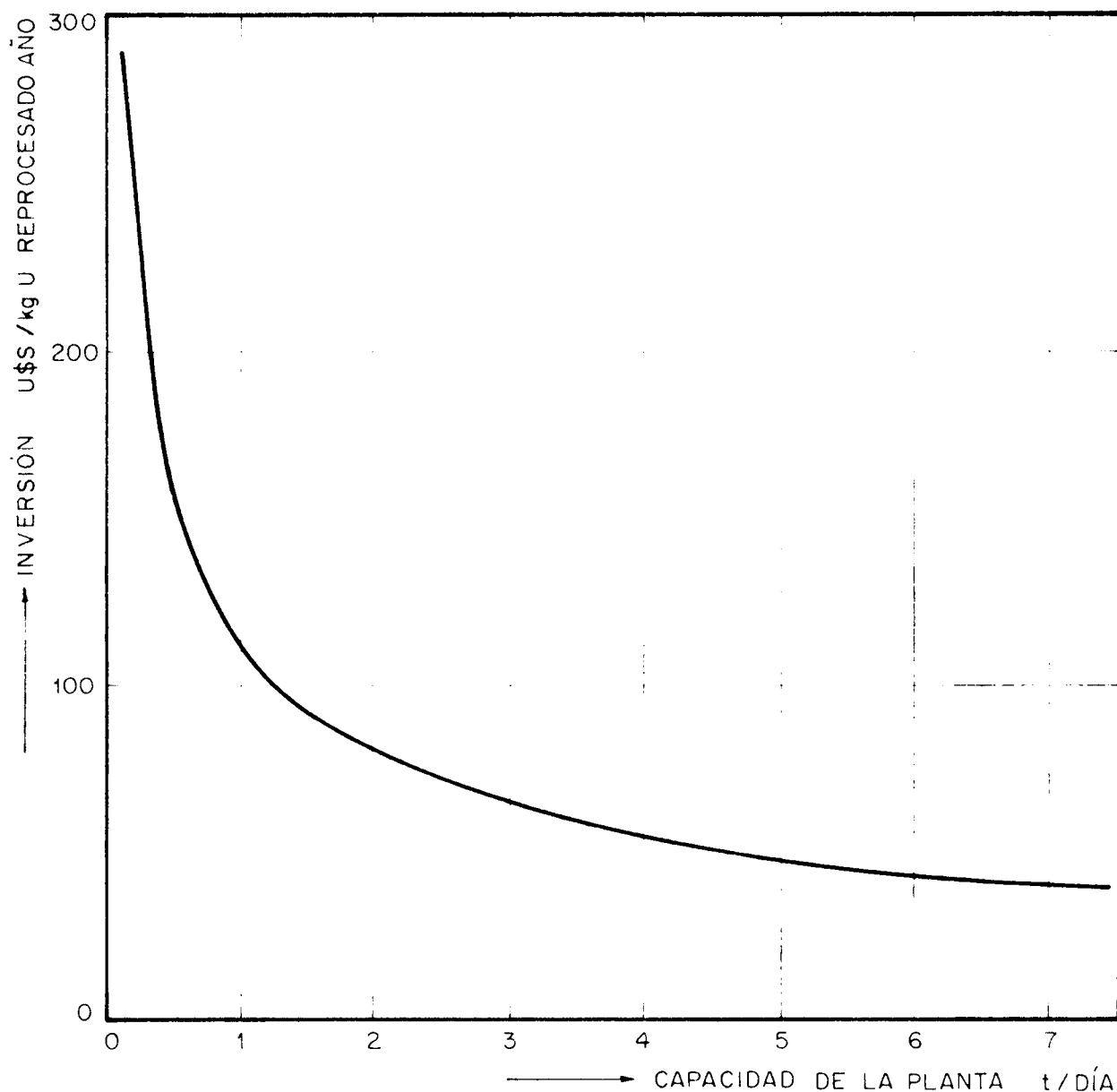
TABLA 1

Planta	Capacidad en t/d U nat.	Tipo de U que trata	Costo inversión en 10 ⁶ U\$S	Costo operación anual en U\$S
Noruega- Yugoeslava	0,024	nat - 2%	3,148	196.700
NFS	1	nat - 93 %	30	-
Kjeller	0,012	nat	0,2	-
Trombay	0,06	nat	7,7	-
Windscale 2	8	nat. -poco enriquecido		*
EUROCHEMIC	0,35-1	nat - 93 %	22	-

* Costo de reprocesamiento : 14 U\$S/kg U (estimado).

FIGURA 2

COSTO DE INVERSIÓN
POR KG DE URANIO REPROCESADO ANUALMENTE
EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD DE LA PLANTA



2.3 Costos de operación

Los costos de operación se subdividen en dos rubros : la carga del capital y los costos directos. La carga del capital, que depende del interés del dinero y de la vida útil de la planta, es un gasto inevitable que se efectúa estando la planta en funcionamiento o no. Los costos directos son aquellos que se originan por estar en operación la planta.

En los costos de operación hay variaciones según los diferentes países. Influye aquí por ejemplo el diferente costo del dinero según el país considerado, la manera de calcular la amortización, los costos internos de los diferentes países, etc. Los datos de fuentes diferentes (1) (5) permiten sin embargo concluir que los costos directos por año de operación son aproximadamente un 10% del costo de inversión para una planta con capacidad no menor que 1 t/d. Como ejemplo se citan los datos mencionados en (1) para una planta de 1 t/d. Es decir cuya inversión sería de alrededor de 20 millones de U\$S :

a) Personal (operación, análisis, talleres, mantenimiento, supervisión y seguridad)	U\$S 1.000.000
b) Productos químicos	U\$S 300.000
c) Electricidad, vapor, agua, etc.	U\$S 200.000
d) Decontaminación y mantenimiento	U\$S 250.000
e) Gastos generales	<u>U\$S 500.000</u>
	<u>U\$S 2.250.000</u>

Los costos directos se elevarían de esta manera a unos 9 U\$S/kg de uranio natural.

En cuanto a la carga del capital, esta suele considerarse del 15% (vida útil

de planta de 10 años y un interés del capital del 8%). Para una planta del tipo anterior esto significa otros 15 U\$S/kg de uranio, o sea que la carga del capital es casi el doble que el costo directo de operación. Sin embargo, esta relación mejora para plantas de tamaño mayor como puede verse en la Fig.3 obtenida de la referencia bibliográfica (4).

2.4 Otros costos

Teniendo en cuenta costos de transporte, pérdidas por interés en elementos combustibles, costos de acumulación de residuos, etc., para una planta con una capacidad de 1 t/d, debe contarse con costos adicionales de 12 a 20 U\$S/kg de uranio natural (1). El total se eleva de esta manera a 36-44 U\$S/kg de uranio natural. El dato final sólo puede definirse mejor sabiendo a qué distancia deben transportarse los elementos combustibles.

3. POSIBLE PLANTA DE REPROCESAMIENTO ARGENTINA

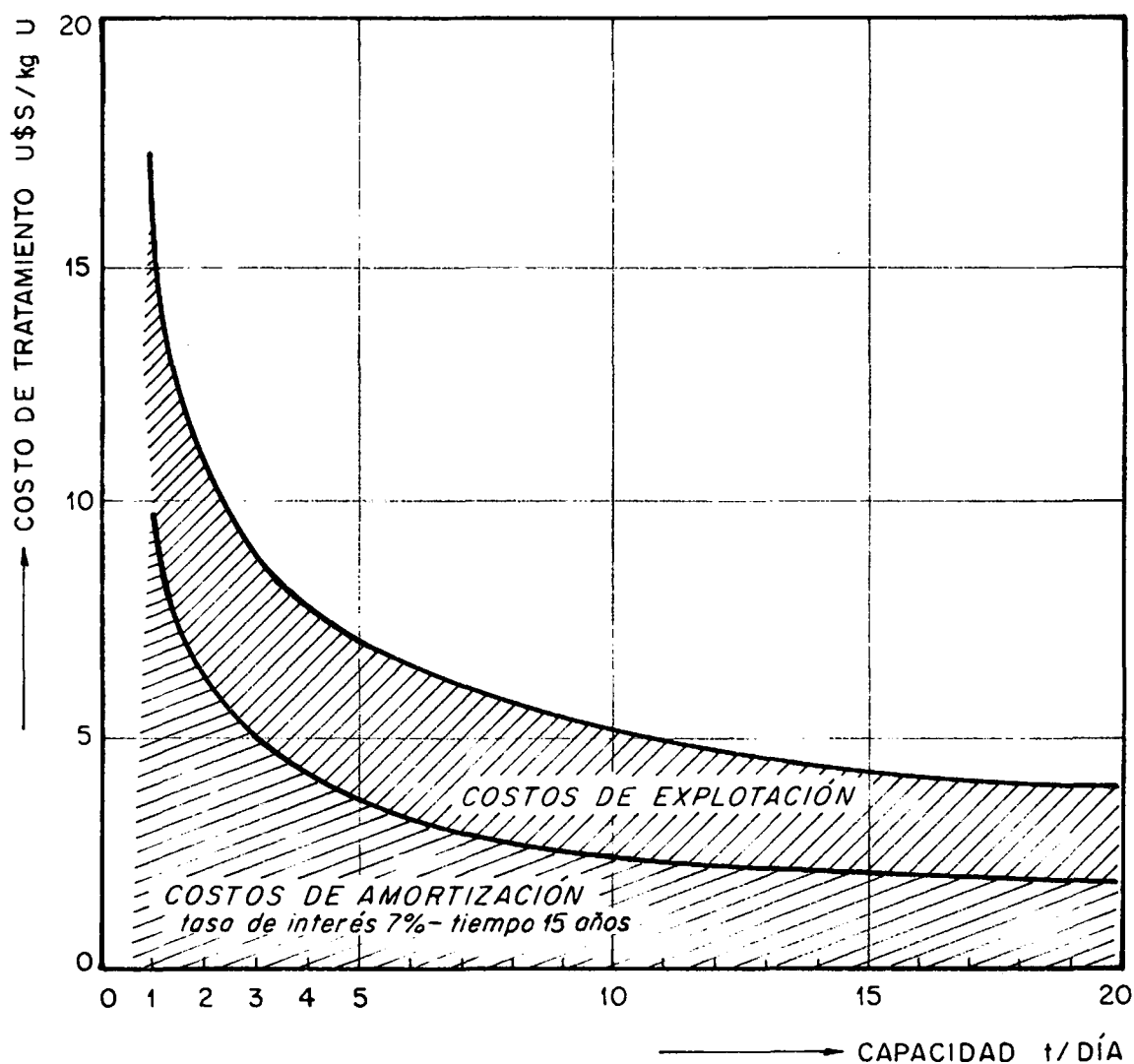
3.1 Necesidades argentinas en reprocesamiento

Nos interesa considerar la planta de reprocesamiento para poder separar el plutonio necesario para poner en marcha un programa de reproductores, de acuerdo a los valores obtenidos según la segunda y tercera hipótesis del "Desarrollo Nuclear Argentino"; o sea, considerando reactores GCR con reproductores, o bien reactores GCR, HWR y Reactores.

Como puede verse en la parte correspondiente del informe, ambas hipótesis consideradas predicen que en 1985 se dispondrá de los 4.000 kg de plutonio fisionable necesarios para el primer reactor reproductor. Esta cantidad corresponde a unas 2.700 t de uranio irradiado para ambas hipótesis consideradas. Teniendo en cuenta el stock de combustible irradiado acumulado hasta 1984, momento en que la producción anual será de unas 400 t de uranio irradiado, se llega a la necesidad de tener en opera-

FIGURA 3

**COSTO DE TRATAMIENTO
POR KG DE URANIO REPROCESADO ANUALMENTE
EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD DE LA PLANTA**



FUENTE: "Perspectives a long terme des coûts de traitement de l'uranium naturel irradié" - L.Thiriet et Al. - GINEBRA 1964 - Conf. 28/P/98.

ción una planta de unas 500 t/a (2 t/d) a partir de 1979.

Una alternativa posible sería la instalación de una planta de 250 t/a que debería entrar a operar en 1976 para tratar las aproximadamente 500 t de uranio irradiado hasta entonces. Esta planta sería insuficiente a partir de 1981 y a mediados de 1982 debería instalarse otra planta de 250 t/a o bien ampliarse la anterior.

3.2 Costos comparativos de las alternativas

Según el gráfico de la Fig.1 la inversión para una sola planta de 2 t/d es de 40 millones de U\$S aproximadamente. La construcción de dos plantas separadas físicamente y de 1 t/d de capacidad cada una, tendría un costo total de unos 56 millones de U\$S. Aparte del costo mayor, la existencia de dos plantas separadas también implicaría aumentar al doble el personal especializado.

Existe finalmente la posibilidad de "ampliar" la capacidad de una planta previamente instalada. Sin embargo, dado que las unidades constitutivas de una planta de reprocesamiento se disponen en celdas blindadas del tamaño dado por el equipo respectivo, no es posible duplicar la capacidad de una planta, a menos que de antemano se prevea esta eventualidad. En este caso sin embargo, el costo original se acercaría más al de la planta ya ampliada, de modo que se perdería la ventaja económica de la inversión inicial menor.

Desde el punto de vista de economía de la planta entonces, es ampliamente ventajoso instalar ésta con la máxima capacidad anual previsible y postergar su instalación de tal modo que se pueda cumplir todavía con suministrar a tiempo el plutonio para los reactores de la generación de reproductores. Fue este mismo razonamiento lo que decidió el tamaño de la planta de Windscale 2 en Inglaterra, de la cual se dice que por ahora es la más eficiente del mundo (7). Modelos detallados de

optimización (8) coinciden, para bajos costos de transporte, con la solución de una planta única de tamaño grande.

3.3 Otras consideraciones

En la alternativa de una planta o dos, deben pesar además otros factores. Las 2.700 toneladas de uranio irradiado acumuladas para 1984 provendrán de 4 reactores diferentes, 3 de 500 MW y 1 de 1.000 MW . Deberá saberse la ubicación de estos reactores para poder tomar una decisión final.

También debe tenerse en cuenta que una planta grande centralizada tiene ventajas muy especialmente cuando los elementos combustibles a tratar son todos de igual tipo. Según un análisis, el costo de una planta de reprocesamiento se reduce en un factor 1,5 por tratar un solo tipo de elemento combustible en vez de ser apta para tipos múltiples (6).

Sería de desear poder contar con un estudio de costos de transporte de elementos combustibles irradiados para 1970-73 en la Argentina. En Europa se estima que para los elementos combustibles de los GCR se debe contar con costos de transporte de 4 a 12 U\$S/kg de uranio (1) (9). En (8) los cálculos se basan en un costo de transporte de 2 U\$S/kg de uranio pero que presumiblemente sólo vale para distancias pequeñas. Para costos de transporte mayores, por ejemplo 15 U\$S/kg de combustible, se ha demostrado que plantas de reprocesamiento integradas localmente con centrales nucleares grandes son una alternativa más conveniente que la instalación de una sola planta de reprocesamiento de gran capacidad (10). Por este motivo es fundamental un estudio previo de costos de transporte, el cual a su vez no puede hacerse sin saber la ubicación definitiva de los reactores.

3.4 Características de la planta

Por ahora será suficiente considerar que la planta será fundamentalmente

del tipo de otras plantas de reprocesamiento industriales ya instaladas en el mundo. Estas funcionan en base a procesos de extracción líquido-líquido y hay información bibliográfica relativamente amplia sobre el tema. Aún así debe tenerse en cuenta que la complejidad de una planta en semejante escala es muy grande y que requiere un desarrollo tecnológico considerable. Da una idea del volumen de las operaciones a realizar el hecho de que para una planta de 3 t/d se calcula en 11.000 el número de análisis a efectuar por mes (11).

Como se ha expresado en 2.1, según la mayoría de las referencias bibliográficas consultadas, la planta de reprocesamiento forma un conjunto con la planta de eliminación de residuos radiactivos y en cambio no comprende la planta de fabricación de elementos combustibles. El producto final que sale de la planta consiste o bien en soluciones concentradas de los materiales fisionables purificados o en sus compuestos sólidos.

Sobre el número de operarios necesarios para una planta de este tipo hay información limitada y poco concordante. Se estima que su número estaría comprendido entre 50 y 100.

3.5 Costo del plutonio para una planta de 2 t/d

Teniendo en cuenta un costo de inversión de 40 millones de U\$S para una planta de reprocesamiento con capacidad de 2 t/d, una carga de capital del 15% anual (interés de 8% y vida útil de 10 años) y un costo anual de operación de 4 millones de U\$S (incluyendo seguros), se llega a un costo de 20 U\$S por cada kg de uranio reprocesado en la planta. Se ha considerado aquí un tiempo operativo de 250 días por año.

Los reactores GCR producirán para un "burn-up" de $4.500 \text{ MW}_t\text{d/t}$ unos 1,7 g de plutonio fisionable por cada kg de uranio natural irradiado, con lo cual el costo de reprocesamiento saldría a razón de 11,70 U\$/g de plutonio fisionable.

Si la vida útil de la planta se extiende a 15 años, o sea una carga de capital del 11,6 % anual, el costo de reprocesamiento es 10,10 U\$/g de plutonio fisionable.

4. BIBLIOGRAFIA

- (1) BARENDREGT, T.J. - Atoomenergie - Vol.7, pp.160 (1965).
- (2) CULLER, F.J. "Symposium on the reprocessing of irradiated fuels", Tomo 3, pp.1108, TID-7534, Bruselas (1957).
- (3) SARTORIUS, R., Génie Atomique, DI - Tomo 4, Vol.2, pp.15 (1961).
- (4) THIRIET, L. et al. AEC - tr - 6166 (1963).
- (5) FARROW, W.H. jr. , DP-566 , (1961).
- (6) MANOWITZ, B. , Nucleonics, Vol.20 (nº2), pp. 60 (1962).
- (7) EURONUCLEAR , Vol.2, pp. 526 , (1965).
- (8) THIRIET , L. et al., Conferencia 28/P/98 , Ginebra (1964).
- (9) SOUSSELIER, Y. , Conf. 28/P/64 , Ginebra (1964).
- (10) DAVIDSON, J.K., - The American Power Conference - , Chicago, Illinois, (marzo 1963).
- (11) HULL, H.L. y ZETTLIN, H.R. - ORNL-1559 (1959).