

Toth

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
2	1958

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
BUENOS AIRES

PUBLICACION FUERA DE SERIE N.º 2

LA ENERGIA NUCLEAR
FRENTE AL
PROBLEMA ENERGETICO ARGENTINO

por

M. BERNAT - B. J. CSIK - W. MAIDANA

División Ingeniería Nuclear

AÑO 1958

Las afirmaciones vertidas en el presente trabajo pertenecen a los autores, no significando ellas opinión oficial de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES

PUBLICACION FUERA DE SERIE N.º 2

**LA ENERGIA NUCLEAR
FRENTE AL
PROBLEMA ENERGETICO ARGENTINO**

por

M. BERNAT - B. J. CSIK - W. MAIDANA

División Ingeniería Nuclear

A Ñ O 1958

Las afirmaciones vertidas en el presente trabajo pertenecen a los autores, no significando ellas opinión oficial de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

P R O L O G O

La aplicación de la energía nuclear para la producción de energía eléctrica ya ha superado la etapa de la experimentación pura. No es una fantasía para el futuro, sino una realidad presente, y por ello la necesidad de considerarla al estudiar el Problema Energético Argentino.

Este trabajo está destinado a tal fin. Presentar los hechos, aclarar el estado actual de la energía nuclear, exponer algunas conclusiones y plantear las posibilidades de su empleo en la República Argentina ha sido el deseo de los autores, quienes agradecen sinceramente a todas aquellas personas que en una u otra forma han prestado su valiosa colaboración.

LOS AUTORES.

Buenos Aires, agosto de 1958.

I N D I C E

- A. La energía nuclear en el mundo.
- B. Fuentes de energía de la República Argentina.
 - 1. Reservas hidráulicas.
 - 2. Petróleo y gas natural.
 - 3. Combustibles sólidos.
 - 4. Combustible nuclear.
- C. La energía eléctrica en la República Argentina.
 - 1. Potencia eléctrica instalada y energía producida.
 - 2. Consumo de energía eléctrica.
 - 3. Hidroelectricidad.
 - 4. Centrales importantes.
 - 5. Déficit actual de energía eléctrica.
 - 6. Previsiones futuras.
- D. Centrales atómicas versus centrales térmicas.
 - 1. Combustible.
 - 2. Costo de instalación.
 - 3. Vida útil.
 - 4. Seguridad.
 - 5. Personal.
 - 6. Costo de la energía eléctrica.
- E. Energía nuclear para la Argentina.

THEORY

The theory of the present experiment is based on the fact that the rate of change of the concentration of a substance in a solution is proportional to the concentration of the substance. This is expressed by the following equation:

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

where C is the concentration of the substance, t is time, and k is the rate constant. The integrated form of this equation is:

$$\ln C = -kt + \ln C_0$$

where C_0 is the initial concentration. The rate constant k can be determined from the slope of a plot of $\ln C$ versus t . The rate constant k is related to the activation energy E_a of the reaction by the Arrhenius equation:

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A$$

where R is the gas constant, T is the absolute temperature, and A is the pre-exponential factor. The activation energy E_a can be determined from the slope of a plot of $\ln k$ versus $1/T$.

A - LA ENERGIA NUCLEAR EN EL MUNDO

En la época actual se puede considerar que el nivel de vida de un país es directamente proporcional al consumo de energía por habitante. Para aumentar el nivel de vida, que es el fin perseguido en todos los países, hay que aumentar este consumo. Siendo la forma más cómoda y útil de la energía la eléctrica, es necesario aumentar su producción para poder hacer frente al mayor consumo. Y, finalmente, para aumentar la producción es necesario construir centrales eléctricas.

Para poder considerar la posible aplicación de la energía nuclear como productora de energía eléctrica en la Argentina, es conveniente ver qué lugar ocupa actualmente y qué importancia se le da en el exterior.

En los últimos quince años se ha progresado mucho en la utilización pacífica de la energía nuclear. Superada ya en gran parte la etapa experimental, es un hecho la generación de energía eléctrica en centrales atómicas.

Las principales razones que llegaron a decidir la utilización de la energía nuclear para producir energía eléctrica son:

1. Las reservas de combustible convencional (petróleo, carbón) son limitadas. Algunos prevén su agotamiento para dentro de 50 años; otros para dentro de 200 años. Estas fechas no interesan mayormente. Están basadas en aproximaciones y extrapolaciones. Lo que tiene importancia es el hecho indiscutible de que las reservas son limitadas y se están agotando.
2. Se ha llegado a la conclusión de que las centrales nucleoelectricas son económicamente compatibles con centrales termoeléctricas convencionales. Este segundo hecho ya no es tan evidente como el primero; por eso lo discutiremos más adelante en detalle. En realidad, el objeto principal de este trabajo es demostrar esta compatibilidad para el caso de la República Argentina.

No se pretende probar que la energía eléctrica generada en centrales nucleoelectricas resulta más barata en la actualidad que la proveniente de las centrales hidroeléctricas. Las centrales hidroeléctricas tienen sus ventajas e inconvenientes. Su "combustible" lo provee la naturaleza en forma gratuita, pero no es transportable y, en consecuencia, es necesario instalar la central en el lugar donde se encuentra la fuente de energía, lugar generalmente alejado de los centros de consumo. Esto obliga a transportar casi siempre la energía eléctrica por cables de alta tensión a distancias más o menos considerables, lo que aumenta mucho su costo.

La planificación eléctrica de un país no puede basarse única y exclusivamente en centrales hidroeléctricas. Tiene que haber siempre una cierta proporción de centrales térmicas. Resulta de utilidad tener en cuenta las tendencias u orientaciones que ha tomado el desarrollo de la energía nuclear en los países del mundo.

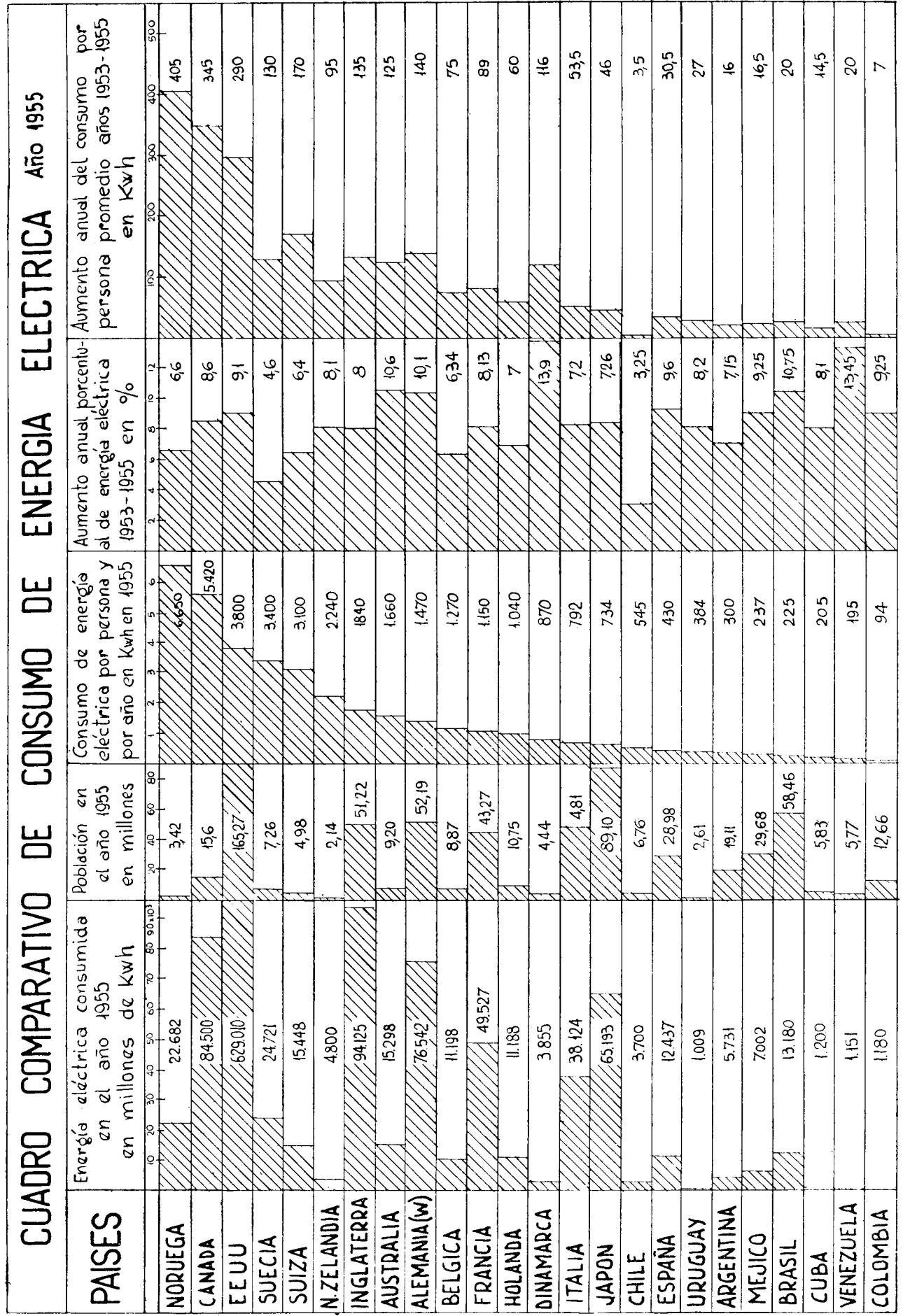
Desde este punto de vista se han seguido tres orientaciones, cada cual con sus características particulares:

1. La línea norteamericana se basa en reactores que utilizan preferentemente uranio enriquecido en el isótopo U-235 como combustible. Este país, a pesar de tener grandes reservas de combustible convencional a un costo relativamente reducido y un nivel de electrificación alto, está construyendo centrales nucleoelectricas. Utiliza uranio enriquecido como combustible, en primer lugar por tener grandes y costosas plantas de enriquecimiento y además porque la utilización de este elemento enriquecido permite mayor diversificación en los modelos de reactor, a la par que una disminución en el tamaño del mismo para una potencia determinada. Se están haciendo numerosos experimentos, pero parece ser que los modelos de reactor de potencia más convenientes para ese país, por el momento, son el PWR (reactor de agua a presión) y el BWR (reactor de agua a ebullición).

El costo del Kw instalado es actualmente mayor que el correspondiente a las centrales térmicas convencionales, al igual que el del Kwh producido. Sin embargo, existe la probabilidad de que en un futuro no lejano se llegue a un costo menor o por lo menos igual. Los planes de desarrollo atómico que tienen son de largo alcance y están convencidos de la necesidad de construir reactores y centrales ahora para poder enfrentarse con los problemas energéticos que aparecerán dentro de 20-30 años.

2. La línea anglofrancesa se basa en reactores de uranio natural y grafito. La situación de los ingleses es fundamentalmente diferente a la de los norteamericanos. No cuentan con fuentes de energía hidráulica de importancia ni grandes reservas de combustible convencional, el cual les resulta más caro que a los norteamericanos. Tampoco tienen plantas grandes de enriquecimiento. Aunque la producción de energía eléctrica por medio de centrales nucleares les resulta todavía ligeramente más cara que la proveniente de centrales térmicas convencionales, han llegado a la conclusión de que es conveniente hacerlo y, efectivamente, las están construyendo a ritmo acelerado.
3. La línea canadienseescandinava se basa en reactores de uranio natural y agua pesada. Los pueblos escandinavos y los canadienses cuentan con grandes reservas de energía hidráulica, pero tienen problemas con el combustible convencional. Tal como Inglaterra y Francia, no poseen grandes plantas de enriquecimiento; en consecuencia, prefieren utilizar uranio natural. Es un hecho muy significativo que tanto Noruega como Canadá, que son los dos países donde el consumo de energía eléctrica por persona y por año es máximo en el mundo (gráfico 1), consideran necesaria la construcción de centrales nucleares a pesar de la existencia de reservas hidráulicas y un alto nivel de electrificación. Los rusos parecen estar ensayando simultáneamente todas estas posibilidades, pero prefieren trabajar con uranio enriquecido.

Los países que todavía no han logrado un gran desarrollo atómico se están inclinando a seguir una u otra línea de las arriba mencionadas, de acuerdo con sus condiciones naturales y sus posibilidades.



* Valores extrapolados al año 1955

Grafico 1

B - FUENTES DE ENERGIA DE LA REPUBLICA ARGENTINA

En el país las clásicas fuentes de energía hidráulica, petróleo, gas natural y combustibles sólidos (minerales y vegetales) poseen reservas suficientes para asegurar la provisión de energía por un período de muchos años. Al decir “muchos años” se quiere significar que excede al futuro inmediato, dentro del cual se estudia aquí el aporte de la energía nuclear en la República Argentina.

Muchas reservas y poca explotación definen la situación actual. En tales circunstancias no puede esgrimirse como argumento para decidir en favor de la energía nuclear el posible agotamiento de los recursos clásicos, situación ésta decisiva, por ejemplo, en los países europeos (Inglaterra especialmente), que los ha impulsado a volcar todos sus esfuerzos al logro de nuevas fuentes de energía.

En la República Argentina, por ahora, no existe tal problema y únicamente consideraciones económicas o estratégicas pueden servir para fundamentar la necesidad de contar dentro de los próximos 10-20 años con cierto aporte de energía nuclear.

Algunas cifras darán idea de lo afirmado.

1. Reservas hidráulicas.

Oscilan entre los 7 y 11 millones de Kw, y para el año 1976 se estima como realmente promisorio la explotación integral de hasta un 50 % de tales reservas (téngase en cuenta que actualmente la explotación es de unos 207.000 Kw) (fig. 1).

2. Petróleo y gas natural.

Las reservas de petróleo y gas natural, reducidas a toneladas equivalentes de petróleo, han sido estimadas aproximadamente en 500 millones de toneladas, de las cuales 350 millones corresponden al petróleo.

Contrastan estas cifras con las que se dan a continuación, extractadas de la publicación “Petroleum Press Service” (abril de 1958):

Año 1957

Producción nacional de petróleo	4.542.000 t
Importación de petróleo crudo	5.670.753 t
Importación de otros derivados	2.864.460 t
Total necesario	13.077.213 t

En el cuadro adjunto se puede observar que la producción nacional alcanzaba en el año 1957 apenas el 34,6 % del total necesario, mientras que la cifra de importación significa el 65,4 % del total, que traducida en dólares equivale a cerca de 300.000.000 u\$s anuales (fig. 2).

Este serio drenaje de divisas debe reducirse mediante una mayor explotación del petróleo nacional y recurriendo a un mejor aprovechamiento del combustible, así como también a todo otro sistema que contribuya a aliviar el consumo, sin por ello reducir la producción de energía.

Año 1957 Relacion entre las reservas hidraulicas y la explotación actual.

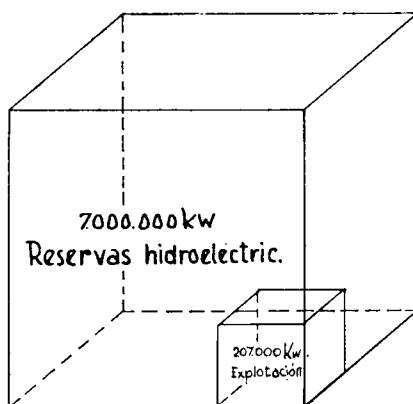


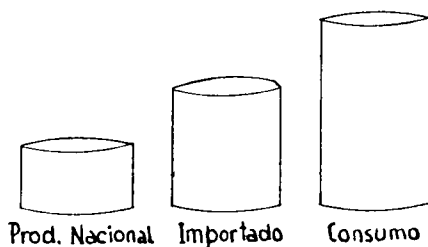
Figura 1

Relación entre la producción nacional, la importación y el consumo de petróleo y otros derivados.

Producción nacional: 34,6 %

Importado : 65,4 %

Figura 2



La energía nuclear cuenta entre sus mayores ventajas el notorio ahorro que introduce en el consumo de combustible, y es por tal razón que no puede dejar de pensarse en ella frente al problema existente en el país ante un gasto de divisas de tal magnitud.

Las centrales térmicas del país consumen cerca de 2 millones de toneladas de combustible líquido al año, que representa aproximadamente el 45 % de toda la producción nacional (fig. 3). La instalación de centrales nucleares alimentadas con uranio natural, del cual en el país hay interesantes reservas, permitiría

Distribucion del consumo de petroleo en la R. Argentina.

Industrias : 45%
Transportes : 40 %
Centrales eléctricas : 15 %

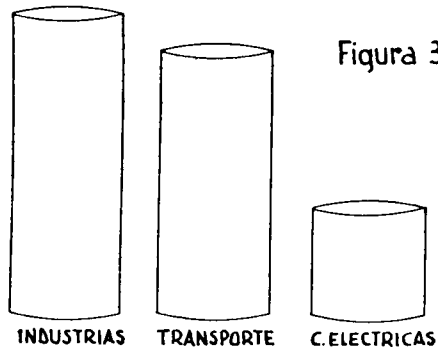


Figura 3

Distribucion del consumo de otros combustibles en la R. Argentina.

Industrias : 65%
Transportes : 24%
C. eléctricas: 11 %

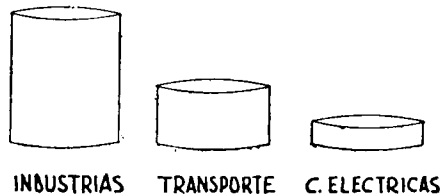


Figura 4

limitar el consumo de combustible clásico para la generación de energía eléctrica en las grandes centrales, destinándolo a otros fines donde su empleo resulta indispensable.

3. Combustibles sólidos (minerales y vegetales).

El consumo correspondiente al año 1957 ha sido de unos 6 millones de toneladas. La importación de carbón ha sido de 1.221.628 t y las centrales térmicas han consumido cerca de 700.000 t (fig. 4).

Las reservas de carbón son interesantes, particularmente en el yacimiento de Río Turbio, donde se estiman en 350 millones de toneladas.

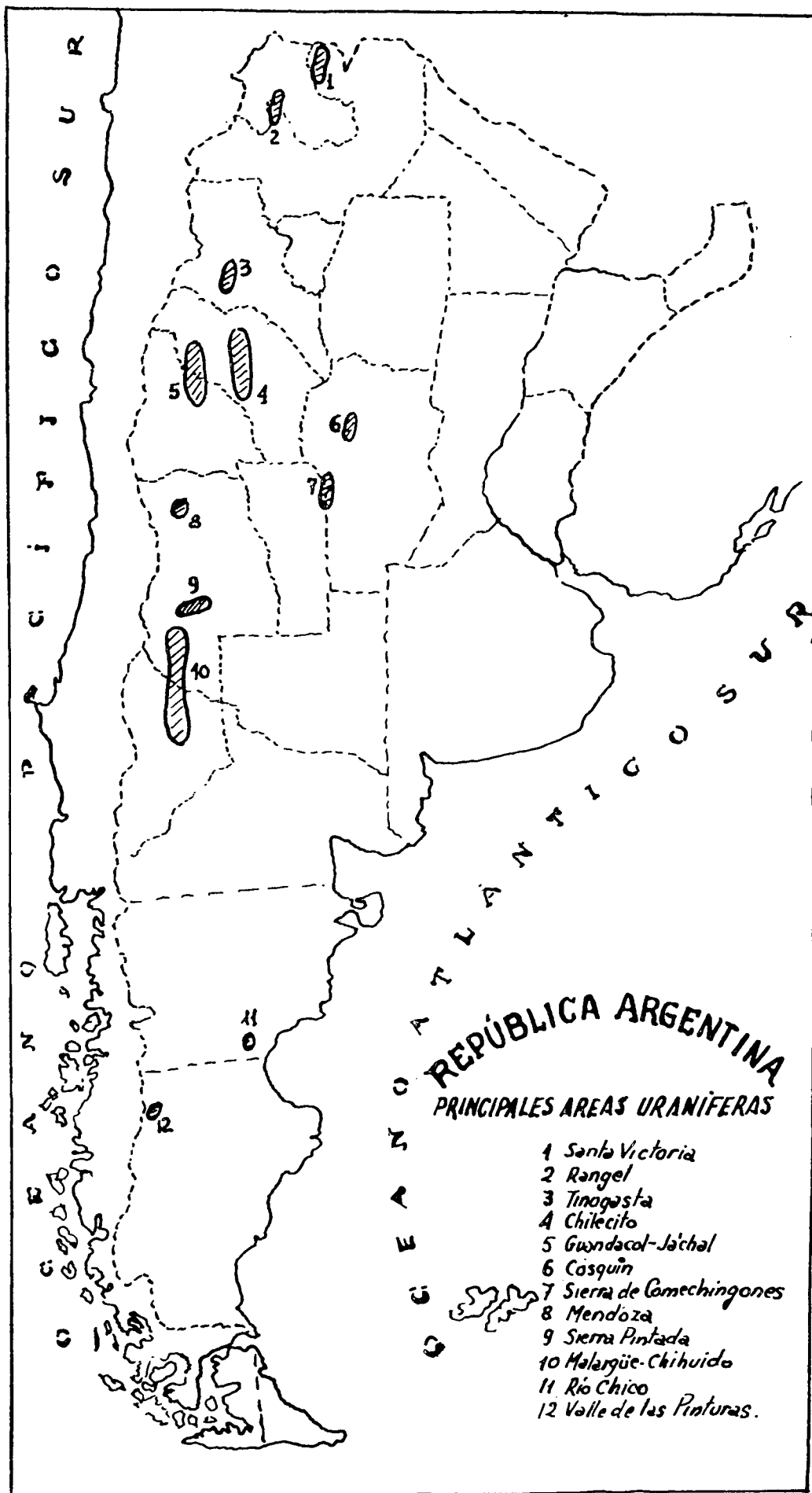
Se comprueba también aquí la evidente desproporción entre la explotación y las reservas estimadas a la fecha.

4. Combustibles nucleares.

La búsqueda de minerales de uranio y torio en el país es de reciente data. No obstante, ya se ha podido establecer la existencia de importantes reservas, estimadas en 10.000 t de uranio metálico (fig. 5), que permiten considerar a dichos minerales nucleares como posibles fuentes de energía para el futuro de la República, y en base a ello contemplar la inclusión de centrales nucleares en todo plan de electrificación que se elabore.

El mineral de uranio es procesado en las plantas de Malargüe (Mendoza) y de Córdoba. En la primera se tratan 20 t de mineral por día, con una ley promedio de 0,25 a 0,30 % de óxido de uranio. En la segunda son tratadas unas 250 t de mineral por mes, con una ley promedio de 0,4 a 0,5 % de óxido.

La fábrica de uranio metálico de Ezeiza recibe el nitrato de uranio y lo procesa hasta la obtención de uranio metálico. Tiene una capacidad de producción de hasta 10 t de uranio metálico por año, funcionando en la actualidad a $\frac{1}{3}$ de la misma. El uranio metálico obtenido es la materia prima necesaria para la fabricación de los elementos combustibles empleados en un reactor a uranio natural.



C - LA ENERGIA ELECTICA EN LA REPUBLICA ARGENTINA

A continuación se tratará brevemente este punto por la necesidad de conocer, siquiera a grandes rasgos y mediante algunas cifras, el panorama dentro del cual se estudia la situación de la energía nuclear en el país.

1. Potencia eléctrica instalada y energía producida.

La tabla 1 resume la situación de la energía eléctrica en el país según las últimas estadísticas.

TABLA 1

República Argentina		Energía eléctrica			
	Termo- electricidad	% del total	Hidro- electricidad	% del total	Total
a) Servicio público					
Potencia instalada y en servicio (Kw) .	1.530.581	92	133.029	8	1.663.610
Energía producida (Kwh)	4.476.000.000	89	555.000.000	11	5.031.000.000
Factor de utilización (horas/año)	2.900		4.150		3 000
b) Industria (autogeneración)					
Potencia instalada y en servicio (Kw) .	405.390				405.390
Energía producida (Kwh)	700.000.000				700.000.000
Factor de utilización (horas/año)	1.730				1.730
Total (a + b)					
Potencia instalada y en servicio (Kw) .	1.935.971	93,6	133.029	6,4	2.069.000
Energía producida (Kwh)	5.176.000.000	90,35	555.000.000	9,65	5.731.000.000
Factor de utilización (horas/año)	2.680		4.150		2.760

NOTA: No se ha incluido en la presente tabla la central hidroeléctrica del Nihuil, de 74.000 Kw.

El gráfico 2 permite apreciar el aumento experimentado en la producción de energía eléctrica en el país desde el año 1935.

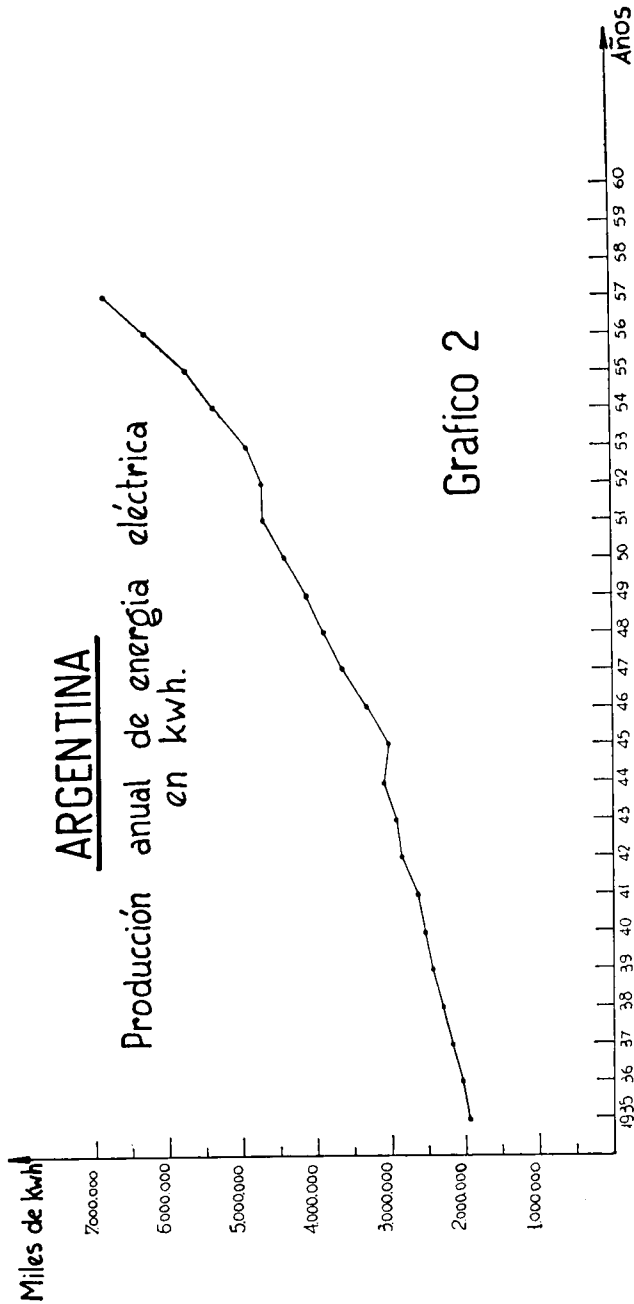


Grafico 2

2. Consumo de energía eléctrica.

La energía eléctrica producida en el país en el último año fué de unos 6 millones de Kwh, distribuidos en una población de 20 millones de habitantes con un consumo promedio de 300 Kwh por habitante al año. Debe notarse aquí que este consumo no es uniforme en toda la República; así, mientras en el Gran Buenos Aires (unos 6 millones de habitantes) alcanza a los 630 Kwh por habitante al año, en el interior de la República (unos 14 millones de habitantes) el mismo es de 140 Kwh de promedio por habitante al año, habiendo una importante masa de población con sólo 40 Kwh o menos.

La cifra de 300 Kwh por habitante al año es muy inferior a la de un país altamente desarrollado (o electrificado, que puede considerarse una expresión equivalente), como Noruega, con 6.650 Kwh por habitante al año; Canadá, con 5.420 Kwh; EE. UU. de Norteamérica, con 3.800 Kwh; Suecia, con 3.100 Kwh, etc. (ver gráfico 1). Un abastecimiento regular podría elevar la cifra promedio actual de 300 Kwh a cerca de 400 Kwh, pese a lo cual se estaría aun lejos de alcanzar el promedio europeo, que es de unos 1.000 Kwh por habitante al año.

3. Hidroelectricidad.

Es necesario hacer notar la poca contribución que hasta el presente ha tenido en el país la hidroelectricidad; representa menos del 10 % del total de potencia eléctrica instalada (fig. 6), cifra muy inferior al promedio de América Latina.

La República Argentina cuenta con grandes reservas hidráulicas que permitirán elevar, sin duda, tan magro porcentaje en cuanto sean explotadas convenientemente.

Ante la escasez de energía eléctrica y el poco desarrollo de la hidroelectricidad, es evidente el interés actual en fomentar obras hidroeléctricas, tratando por este medio de subsanar la falta de energía. Sin embargo, conviene desde ya puntualizar que, pese a las grandes reservas hidráulicas y a las favorables condiciones económicas de tal fuente de energía, no podrá prescindirse en absoluto de centrales térmicas, las cuales presentan la ventaja de poder ubicarse en el lugar de consumo y responder a voluntad frente a las demandas de energía. No menos importante y digno de tomarse en cuenta es el problema de las líneas de transmisión y el costo que añaden en el Kwh y Kw instalado.

Las centrales hidroeléctricas en el país deberán ubicarse en general a grandes distancias de los centros habituales de consumo.

4. Centrales importantes.

Junto a las cifras señaladas y consideraciones hechas resulta de interés resaltar que las centrales existentes en el país, con una potencia superior a los 100.000 Kw por unidad, son todas térmicas y construidas para satisfacer las necesidades del Gran Buenos Aires, conglomerado éste que insume una potencia instalada de 830.000 Kw, más unos 200.000 Kw provenientes de la central San Nicolás (tabla 2).

Relación entre la potencia
hidroeléctrica y térmica
instalada.

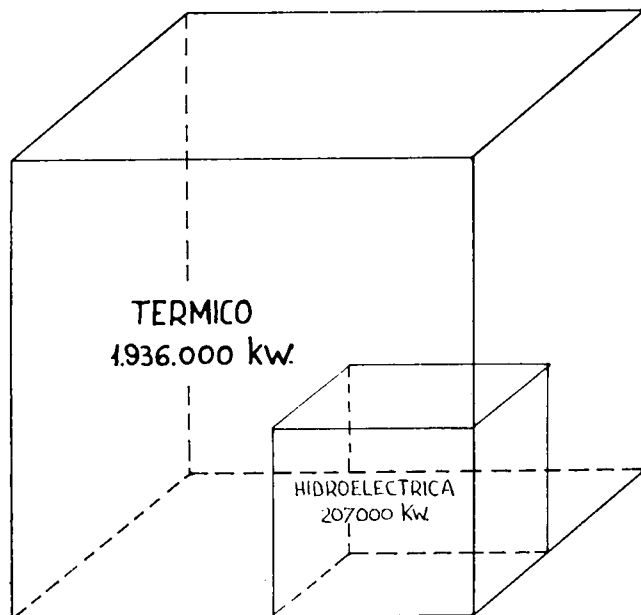


Figura 6

TABLA 2

Centrales con más de 100.000 Kw

Puerto Nuevo (Italo)	165.000 Kw
Dock Sud (Cade)	270.000 Kw
Usina Puerto Nuevo (Cade)	315.000 Kw
San Nicolás (parcialmente habilitada)	320.000 Kw
Total	1.070.000 Kw

Otras importantes centrales de menor potencia

Corrientes	15.000 Kw
Paternal (Cade)	16.000 Kw
Mar del Plata	20.000 Kw
Ribera Este (Cade)	30.000 Kw
Berisso (Cade)	30.000 Kw
Nihuil (Hidráulica)	74.000 Kw
Pedro de Mendoza (Italo)	80.000 Kw
Total	265.000 Kw

Líneas de transmisión. Respecto a líneas de transmisión existentes y en uso en el país, cabe citar como la única de importancia la conexión San Nicolás-Buenos Aires, con 205 km de longitud. Actualmente se trabaja con una tensión de 132 Kv.

5. Déficit actual de energía eléctrica.

Para determinar cuál debiera ser el estado actual de la provisión de energía eléctrica en el país y el déficit existente se ha adoptado el criterio de asignar a la energía correspondiente al país en el año 1943 un crecimiento acumulativo anual del 7 %, que equivale aproximadamente a doblar la cifra cada diez años. Del dato obtenido, y en base a porcentajes de años anteriores, se asigna un 66 % al Gran Buenos Aires y el remanente al interior de la República.

Para deducir la potencia necesaria se adopta el criterio de establecer para el Gran Buenos Aires una utilización de 3.500 horas/año y en el resto de la República sólo 2.000 horas/año.

En las cifras de potencia instalada no se incluyen reservas, pues de hacerlo deberían incrementarse entre un 15 y un 30 %.

Se resume lo dicho en la tabla 3.

TABLA 3

$$S = C (1 + i)^n,$$

Base: Energía eléctrica año 1943: 2.927 millones Kwh:

siendo

S = cifra de Kwh a obtenerse;

C = 2.927 millones de Kwh;

i = 0,07;

n = 14 años;

Déficit de energía eléctrica

	Gran Buenos Aires	Interior	República Argentina
Energía (Kwh)	3.780.000.000	1.951.000.000	5.731.000.000
Habitantes	6.000.000	14.000.000	20.000.000
Energía por habitante y año (Kwh)	630	140	286
Energía necesaria (Kwh)	4.950.000.000	2.572.000.000	7.522.000.000
Energía por habitante (Kwh)	830	183	376
Déficit de energía (Kwh)	1.170.000.000	621.000.000	1.791.000.000
Potencia actual (Kw) ..	1.030.000 (c/S. Nicolás)	1.039.000	2.069.000
Utilización (horas/año) .	3.700	1.900	2.760
Potencia necesaria (Kw)	1.410.000	1.290.000	2.700.000
Utilización (horas/año) .	3.500	2.000	2.780
Déficit de potencia (Kw)	380.000 (c/S. Nicolás)	251.000	631.000
	580.000 (s/S. Nicolás)	51.000	
Reserva (Kw) 30 % ...	114.000	75.300	189.300

6. Previsiones futuras.

Con respecto a las previsiones para el futuro, son varios los planes que se han elaborado hasta el presente, algunos de los cuales se exponen brevemente en nota aparte.

Un criterio que podría ser adoptado consistiría en extrapolar los valores hallados como necesarios hasta los años de 1965 y 1976, respectivamente, prosiguiendo con un crecimiento de energía eléctrica del 7 % acumulativo anual. Para distribuir dicha energía proporcionalmente al Gran Buenos Aires e interior se ha considerado en 1965 un 60 % para el primero y 40 % para el segundo. En 1976 se distribuye en partes iguales.

Respecto a la utilización, se admiten 3.500 horas/año en el Gran Buenos Aires y 3.000 horas/año en el interior.

De acuerdo al criterio expuesto, las necesidades de energía eléctrica y potencia instalada para los años 1965 y 1976 se resumen en la tabla 4 (aparte se incluye un 30 % para reservas).

TABLA 4

		Gran Buenos Aires	Interior	República Argentina
Año 1965	Total de Kwh ...	7.761.000.000	5.174.000.000	12.935.000.000
	Potencia (Kw) ..	2.200.000	1.720.000	3.920.000
	Reserva (Kw) ...	660.000	516.000	1.176.000
Año 1976	Total de Kwh ...	13.658.000.000	13.658.000.000	27.316.000.000 MW _h
	Potencia (Kw) ..	3.900.000	4.560.000	8.660.000 MW
	Reserva (Kw) ...	1.170.000	1.368.000	2.538.000 MW

Aporte térmico e hidráulico. Para 1965 se estima el aporte hidráulico (hidroelectricidad) en aproximadamente un 30 % del total instalado, y para 1976, un 60 %. Se resume lo dicho en la tabla 5.

TABLA 5

	Termoelectricidad	Hidroelectricidad	Total
Año 1965 ..	2.744.000 Kw	1.176.000 Kw	3.920.000 Kw
Año 1976 ..	3.584.000 Kw	5.076.000 Kw	8.460.000 Kw

No se han tomado en cuenta las reservas (de 15 a 30 %).

Comparando las tablas 1 y 4 se puede ver qué potencia térmica e hidroeléctrica sería necesario proveer para hacer frente a las previsiones anotadas (tabla 6).

TABLA 6

Potencias térmica e hidroeléctrica a proveerse			
	Termoelectricidad	Hidroelectricidad	Total
Período 1958/65 .	808.029 Kw	1.042.971 Kw	1.851.000 Kw
Período 1965/76 .	840.000 Kw	3.900.000 Kw	4.740.000 Kw

En conclusión, hasta el año 1965, en lo referente a termoelectricidad, con la central Gran Buenos Aires, de 600.000 Kw, se cubriría un 75 % de esta previsión, sin tomar en cuenta reservas ni retiro de maquinaria obsoleta (la vida útil de centrales termoelectricas se estima en 30 años). Faltaría cubrir unos 200.000 Kw.

En el período 1965/1976 las necesidades termoelectricas se cubrirían, sin reservas ni retiro de maquinaria obsoleta, con 840.000 Kw.

Grandes obras proyectadas (hidroeléctricas)

Salto Grande	700.000 Kw
Apipé	750.000 Kw
Mendoza	1.000.000 Kw
El Chocón (río Limay)	700.000 Kw

Para las obras citadas se hacen necesarias grandes líneas de transmisión, que se resumen a continuación:

Línea El Chocón-Buenos Aires	1.200 km
Línea Mendoza-Buenos Aires	1.050 km
Línea Salto Grande-Buenos Aires	450 km

Es notable el contraste de sus magnitudes con la única línea de regular longitud actualmente existente en el país, de sólo 205 km (San Nicolás-Buenos Aires).

NOTA: Resumen de algunos planes trazados en el periodo 1956/58 para aliviar el déficit de energía eléctrica.

...El ex ministro de Comercio e Industria, doctor Cueto Rúa, en el discurso que pronunció el 20 de octubre de 1957, al inaugurar oficialmente la interconexión de la Central San Nicolás con las centrales del Gran Buenos Aires, estimó para el año 1965 el total de potencia a instalar, además de la existente para servicio público, en 3.500.000 Kw.

...La Comisión Asesora de Planificación Hidroeléctrica, en su reciente publicación: Planificación Hidroeléctrica, "Una solución nacional" (1958), propone como obras necesarias 3.616.000 Kw centrales hidroeléctricas y 804.000 Kw centrales termoeléctricas.

...El ingeniero Sabas Luis Gracia, en conferencia pronunciada en la Escuela Superior Técnica del Ejército, estimó el déficit de potencia del Gran Buenos Aires en 314.000 Kw, sin contar las reservas técnicas necesarias para mantener la continuidad de servicio y que oscilan entre el 15 y el 30 % de la potencia pico.

...En la conferencia dada por el ingeniero Grandi sobre hidro y termoelectricidad en la CNEA (abril de 1957) expuso que, según Agua y Energía Eléctrica, el consumo de energía eléctrica para 1965 será de 13.750 millones de Kwh, y para 1970, de 21.750 millones de Kwh. Según el mismo disertante, el déficit actual de potencia en el Gran Buenos Aires es de 250.000 Kw.

...Del Centro Argentino de Ingenieros: Previsiones para 1965 (febrero de 1958). Potencia térmica total instalada, incluidos 400.000 Kw de reserva: 3.000.000 Kw. Potencia hidroeléctrica instalada y en funcionamiento: 1.500.000 Kw.

D - CENTRALES ATOMICAS vs. CENTRALES TERMICAS E HIDRAULICAS

Para producir energía eléctrica en gran escala los clásicos tipos de centrales son las termoelectricas y las hidráulicas. Al considerar la posible construcción y utilización de centrales nucleoelectricas es necesario establecer una comparación entre éstas y aquéllas.

La diferencia fundamental entre una central hidráulica y una central térmica de cualquier clase (inclusive nuclear) consiste, como es evidente, en la fuente de energía. Las plantas hidroelectricas deben ser instaladas donde haya energía hidráulica aprovechable, mientras que las térmicas pueden ser instaladas en los centros de consumo, ahorrándose el costo apreciable de líneas largas de transmisión y las pérdidas de energía que ellas involucran.

Las centrales nucleoelectricas, por razones de seguridad, no se instalan en centros de población, pero pueden situarse relativamente cerca de ellos.

Una central nucleoelectrica es básicamente parecida a una central térmica de tipo convencional. El reactor corresponde a la caldera y la instalación que transforma el calor generado en energía eléctrica no tiene mayores diferencias.

En consecuencia, la comparación se hará principalmente entre centrales nucleoelectricas y térmicas del tipo convencional (aquellas que utilizan como combustible petróleo, carbón o sus derivados).

1. Combustible.

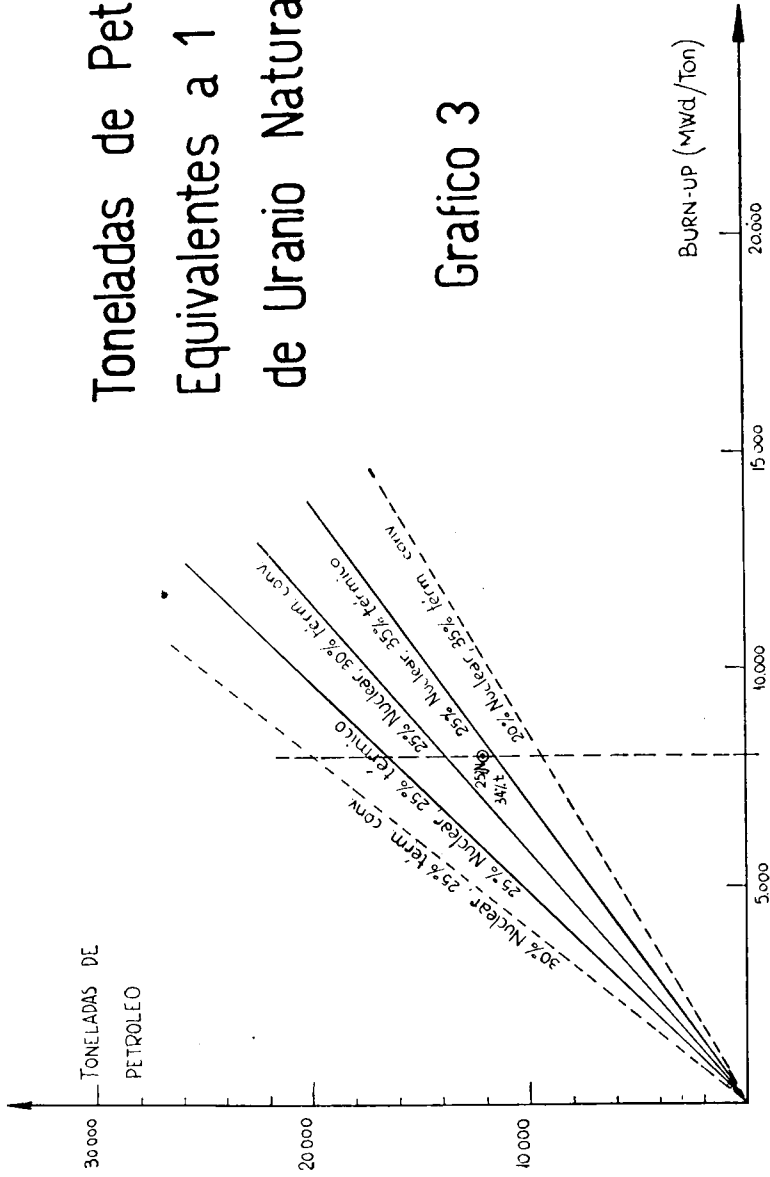
El primer elemento a tomarse en cuenta para realizar esta comparación, por su importancia, es el combustible.

En las centrales convencionales es comúnmente el petróleo o carbón, y en las nucleares, un material fisiónable, generalmente uranio, que puede ser natural o enriquecido con el isótopo U-235. Para facilitar la comparación se considera el petróleo como combustible típico de centrales térmicas, reduciendo el carbón a equivalente en petróleo de acuerdo a la relación de capacidades caloríficas. En centrales nucleares se ha tomado el uranio natural como combustible típico, reduciendo el uranio enriquecido, de acuerdo a la concentración del isótopo U-235, a toneladas de uranio natural.

Desde el punto de vista de la producción de energía eléctrica, como puede apreciarse en el gráfico agregado (gráfico 3), 1 t de uranio natural tiene una equivalencia que oscila entre 3.000 y 15.000 t de petróleo. La equivalencia es función del rendimiento térmico total de las diferentes centrales y del "burn-up", que es la energía térmica en Mwd que puede dar una tonelada de uranio natural sin ser reprocesado.

Toneladas de Petroleo Equivalentes a 1 Ton. de Uranio Natural

Grafico 3



El rendimiento térmico total de centrales térmicas convencionales varía entre límites bastante amplios. En una central moderna puede superar el 35 %; en centrales viejas está alrededor del 25 %.

En centrales nucleares depende en primer lugar del tipo de reactor. Varía entre 20 y 30 %, estando alrededor del 25 % para un reactor tipo uranio natural-agua pesada; 23 % para un reactor uranio natural-grafito, y puede llegar a 30 % o más para algún tipo de reactor con uranio enriquecido. Estos rendimientos son alcanzables en el estado actual de la tecnología.

El "burn-up", característica particular de los reactores nucleares, es de fundamental importancia. Conviene que su valor sea el máximo posible. Varía, según el tipo de reactor, entre 2.000 y 10.000 Mwd/t de uranio natural, estando alrededor de 3.000 para un reactor tipo uranio natural-grafito (Calder Hall) y 8.000 para uno de uranio natural-agua pesada. Es uno de los factores que determinan el costo de combustible y, por consiguiente, el costo del Kwh producido.

De acuerdo a estas consideraciones se ha ubicado en el gráfico y calculado la equivalencia uranio-petróleo para dos centrales. Una térmica convencional moderna, con un 34 % de rendimiento térmico total, y una nuclear, con un 25 % de rendimiento y un "burn-up" de 8.000 Mwd/t de uranio natural, considerando que por tonelada de petróleo se generan 10×10^6 calorías.

De los cálculos resulta que 1 t de uranio equivale a 12.150 t de petróleo en estas condiciones.

Esto con respecto a cantidad. Tratándose del precio, el cálculo ya no es tan simple; sin embargo, es conveniente tener algún dato aproximado.

Para el petróleo, considerando que hay una fluctuación constante de precios en el mercado internacional y que el costo del producido en el país no se conoce con exactitud, se adopta con fines ilustrativos un precio de 20 u\$s/t. Las 12.150 t costarán, en consecuencia, 243.000 u\$s.

Con respecto al precio del petróleo, se puede aceptar la suposición de que irá aumentando mundialmente en el futuro, lo cual es lógico debido a una creciente demanda frente a una disponibilidad limitada. En nuestro país, debido al incremento de la producción nacional de combustible, la suposición hecha podrá sufrir variantes.

Determinar el precio del uranio ya es más complicado. El costo del uranio natural metálico en el mercado internacional es de 40 u\$s/kg. Evidentemente, es éste el único precio que podemos considerar actualmente. El costo del uranio nacional no puede ser calculado por cuanto aun no hay una producción en gran escala. En el caso de decidir la instalación de un reactor de potencia, con el fin de proveer el combustible necesario deberá ampliarse la fábrica piloto de Ezeiza, la cual tiene una capacidad máxima de 10 t de uranio metálico de pureza nuclear por año.

Cuando haya producción de orden industrial se podrá calcular el precio del uranio nacional. Probablemente estará alrededor del costo internacional.

Pero esto es solamente una parte del costo del uranio. Hay que recordar que las barras de uranio metálico no pueden ser puestas directamente en el reactor. Antes tienen que ser preparadas y recubiertas; en fin, hay que fabricar los elementos de combustible.

La determinación del costo de esta fabricación es sumamente difícil e incide fuertemente en el precio final. Varía según el tipo de reactor, temperatura de trabajo, material usado para cubierta, si se trata de uranio metálico, óxido de uranio o bien uranio enriquecido, etc. Oscila actualmente entre 10 y 100 u\$s/kg. Para un reactor de uranio natural-agua pesada podemos considerar 66 u\$s/kg.

El precio del uranio metálico ha ido disminuyendo en los últimos años. Es probable que siga el descenso porque la producción mundial está aumentando a la par de la demanda y al mismo tiempo se están perfeccionando los métodos de obtención. Esta fluctuación o eventual baja del costo no tiene mayor importancia.

Mucho más importante es el posible abaratamiento del costo de fabricación de los elementos de combustible, consistiendo el principal problema en mejorar las actuales técnicas. Hay grandes probabilidades de que ello ocurra.

Sin considerar estos posibles abaratamientos, se han tomado para los cálculos los precios actuales, que son del exterior y no del país. Resulta entonces, aproximadamente, un costo de 106.000 u\$s/t de uranio natural puesto en el reactor.

En consecuencia, se deduce de la estimación realizada que por cada tonelada de uranio que se utilice en lugar de petróleo se ahorrarían en el caso considerado 137.000 u\$s en costo de combustible.

No se ha tenido en cuenta el costo de transporte del combustible, el cual puede llegar a tener una importancia preponderante tratándose de distancias considerables. Es indudable la ventaja que resulta de transportar 1 t en lugar de 10.000 t. Pero el ahorro por transporte no puede ser calculado hasta que se determine la eventual ubicación de la central, porque hay que tener en cuenta también los medios con los cuales se realiza el mismo.

Tampoco se ha considerado el hecho de que el uranio puede ser reprocesado; el plutonio que se formó durante la irradiación y el U-235 que no se quemó pueden ser separados y utilizados o eventualmente vendidos, recuperándose así una buena parte del costo de combustible. Esto es especialmente importante para el tipo de reactor que trabaja con un "burn-up" bajo (3.000 Mwd/t) o que es de tipo "breeder".

2. Costo de instalación.

Desde el punto de vista económico hay dos datos principales que caracterizan una central cualquiera. Son el costo de instalación y el costo de la energía eléctrica producida.

Conviene, para evitar eventuales reajustes, dar todos los costos y precios en u\$s, y el costo de la energía producida, en mills (1.000 mills = 1 dólar).

El costo de instalación de centrales hidroeléctricas depende de la ubicación de la central y del tamaño. Es imposible dar una cifra general que pueda aplicarse a cualquier central hidráulica. La topografía del lugar, que es el factor de mayor influencia en la determinación del costo de instalación, tiene que ser estudiada en cada caso particular.

Pero al comparar principalmente centrales termoeléctricas con núcleoeeléctricas no interesa particularmente el costo de instalación de centrales hidroeléctricas, que puede variar entre 200 y 1.500 u\$s/Kw eléctrico instalado.

El costo unitario (u\$s/Kw) de instalación de centrales térmicas convencionales prácticamente no depende del lugar y relativamente poco de la potencia. Al aumentar la potencia el costo de la unidad instalada disminuye. Esta disminución es de un 7 a un 5 % para centrales de 10.000 a 50.000 Kw, cuando se dobla la potencia, y de un 5 a un 3 % en el caso de centrales de mayor potencia, cuando se duplica la misma.

Se ve entonces que, desde este punto de vista, la ventaja que se consigue construyendo una central grande —como, por ejemplo, la de Dock Sud, de 600.000 Kw— en lugar de varias más pequeñas —por ejemplo, cada una de 100.000 Kw de potencia— no es tan grande para que pueda considerarse factor decisivo.

El costo de instalación de una central termoeléctrica en el país de 100.000 Kw de potencia está alrededor de los 230/300 u\$s/Kw instalado, tomando como base el proyecto de la nueva central Dock Sud.

En el caso de centrales nucleares el costo de instalación depende mucho de la potencia y relativamente poco del tipo de reactor. En el gráfico 4 se tiene la variación del costo de Kw instalado en función de la potencia. Se ve que hasta los 50.000 Kw de potencia la disminución del costo de la unidad instalada es muy grande, luego es menor y finalmente se estabiliza arriba de los 150.000 Kw.

Se puede aceptar que a partir de los 100.000 Kw esta disminución no desempeña un rol importante.

La curva del gráfico solamente marca una tendencia de costos. Está basada en los costos de instalación de centrales nucleares de cualquier tipo —en operación, construcción o proyecto— en diferentes partes del mundo.

El cálculo del costo de la parte convencional de la central nuclear no presenta mayores dificultades, pero el del reactor sí. La experiencia demuestra que hubo necesidad de reajustar varias veces el cálculo económico de centrales nucleares que se han construido. En la tabla 7 se ve la distribución porcentual del costo de instalación correspondiente a las diferentes partes de una central nuclear según el tipo de reactor utilizado.

De acuerdo a estos datos el costo de instalación de una central nuclear de cualquier tipo de 100.000 Kw de potencia está alrededor de 300-400 u\$s/Kw instalado en la actualidad. Existe una probabilidad muy grande de que tal costo sea disminuido en el futuro próximo.

Comparando centrales termoeléctricas con nucleares se ve que el costo de instalación es mayor para estas últimas en la actualidad.

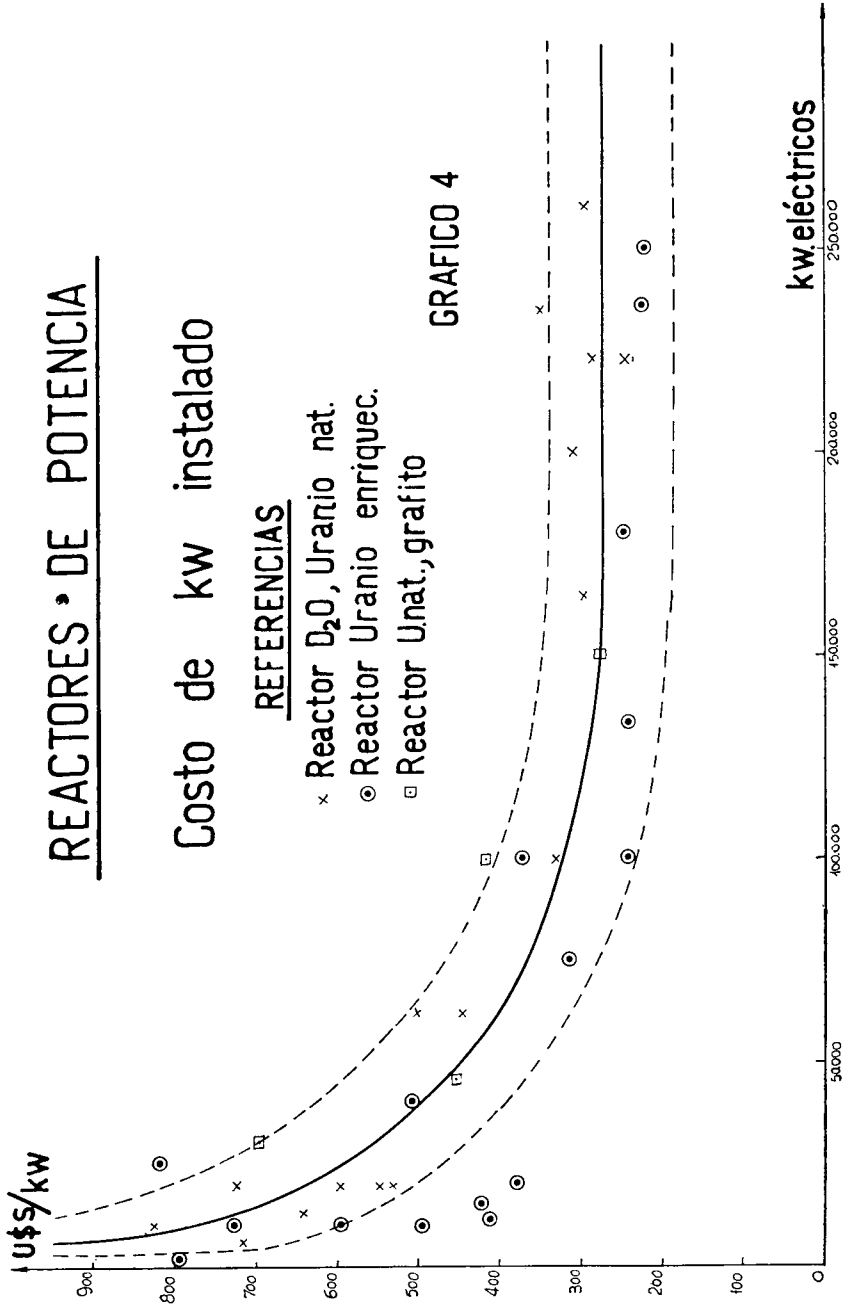


TABLA 7

Costo de instalación correspondiente a las diferentes partes de una central nuclear según el tipo de reactor utilizado

Tipo de reactor \ Diferentes partes	Reactor	Edificio	Turbogenerador y equipo eléctrico	Total
Tipo Calder Hall sin carga inicial de combustible (uranio natural)	20 %	55 %	25 %	100 %
G ₂ Marcoule (uranio natural)	20 %	55 %	25 %	100 %
Tipo BWR, General Electric (uranio enriquecido)	20 %	50 %	30 %	100 %
Tipo PWR, Shippingport (uranio enriquecido)	17,5 %	58,4 %	24,1 %	100 %
Tipo NPD, Canadá (uranio natural)	12 %	66,5 %	21,5 %	100 %
Tipo sodio-grafito (uranio enriquecido)	17,6 %	55,9 %	26,5 %	100 %

3. Vida útil.

Otro punto de comparación es la vida útil, o sea, el tiempo en el cual la central tiene que amortizarse. En este aspecto las centrales atómicas están en una leve desventaja con respecto a las de otros tipos.

Se acepta generalmente que las centrales térmicas convencionales tienen una vida útil de 30 años. Esta cifra se basa en la experiencia. Como en el caso de centrales nucleoelectricas no hay experiencia que nos indique la vida útil de la planta (ninguna central ha estado en operación un tiempo suficientemente largo), hay que tomar una aproximación en base a la experiencia disponible.

A la parte convencional de la planta, o sea, todo lo que no es el reactor propiamente dicho, se le asigna la misma vida útil que a las centrales convencionales, o sea, 30 años. Para el reactor se supone una vida útil de sólo 20 años, criterio éste ampliamente aceptado.

Otro método de cálculo económico asigna 25 años a toda la planta, sin separar el reactor de la parte convencional. El resultado a que se llega aplicando cualquiera de los métodos es prácticamente el mismo.

La consecuencia de esta vida útil más corta en centrales nucleares es que la cuota anual de amortización del capital invertido resulta ligeramente superior a la de centrales térmicas convencionales.

4. Seguridad.

Desde el punto de vista de la seguridad, las centrales convencionales presentan la ventaja de una experiencia de operación larga y abundante.

La radiación es peligrosa para el organismo humano; sin embargo, no debe exagerarse el temor que se tiene generalmente a todo lo que sea "nuclear", "radioactivo" o "atómico", por cuanto, adoptando las precauciones necesarias y protegiéndose con el blindaje apropiado, este peligro desaparece o por lo menos se hace insignificante.

Con respecto a los accidentes, desde el año 1942 se están instalando reactores en todas partes del mundo, habiendo alrededor de cien en operación. Hasta la fecha se han registrado solamente tres accidentes de cierta importancia. El primero en el NRX de Canadá, el segundo en Windscale, Inglaterra, y el tercero en la región de Werchne-Uralsk, U. R. S. S., considerado el más grave sucedido hasta la fecha. Sólo en este último hubo que lamentar víctimas y cuantiosos daños materiales.

Para evitar todo riesgo es aconsejable no instalar centrales atómicas en centros de población. Es conveniente hacerlo a cierta distancia, que puede ser de unos 20-30 km, lo cual no resulta perjudicial desde el punto de vista del transporte de la energía eléctrica. La distancia adoptada dependerá del estudio hecho para cada caso en particular (factores meteorológicos, geográficos, etc.).

5. Personal.

El problema del personal especializado se menciona frecuentemente. Se comprende que para operar una central nuclear es necesario tenerlo, pero no son muchas las personas que se necesitan. Como se ha dicho repetidamente, la única parte de la central que se diferencia de una planta convencional es el reactor, cuya operación se realiza en gran parte mediante equipos automáticos. Los técnicos a cuyo cargo estará el reactor pueden ser formados durante los años que tarda en ser instalada la central.

6. Costo de la energía eléctrica.

El costo de la energía eléctrica producida, o sea, el costo del Kwh, es la segunda y posiblemente la más importante característica económica de una central.

Se compone de tres factores principales, que son:

1. Amortización e interés del capital invertido.
2. Costo del combustible utilizado.
3. Gastos de operación y mantención.

El primer factor es la amortización e interés del capital invertido. En el caso de centrales hidráulicas es el más importante de todos; resulta prácticamente el factor decisivo; pero como se ha visto que el costo de instalación varía entre amplios límites, dependiendo del lugar, es imposible hacer un cálculo del costo del Kwh generalizado para este tipo de centrales. Solamente puede hacerse el cálculo para cada central en particular.

En el caso de centrales térmicas convencionales no existe esta dificultad y se puede hacer un cálculo general, aunque aproximado. Se toma para ello una central a construirse y no una ya existente.

Sea, por ejemplo, una central de 100.000 Kw de potencia eléctrica instalada. El costo de instalación resulta de 23-30 millones u\$s, el cual tendrá que amortizarse en la vida útil de la central, o sea, en 30 años. El interés depende del tipo de financiación. Se considera el 10 % anual como representativo, pero puede resultar mayor o menor. Las cargas anuales sobre el capital invertido serán aproximadamente de 3 a 4.000.000 u\$s.

No se ha considerado aquí como capital para instalar una central el que se invierte en reservas de combustible.

El capital invertido para instalar una central nuclear de la misma potencia resulta ser de 30-40 millones u\$s, amortizable en 25 años; y considerando el mismo interés que antes (10 %), las cargas anuales sobre el capital invertido resultan mayores (4,2-5,6 millones u\$s). Aproximadamente, serán de 5.000.000 u\$s.

Para ver cómo recaen estas cargas anuales sobre el costo del Kwh tienen que determinarse primero cuántas horas y a qué potencia trabaja la central por año. Las centrales nucleares necesitan trabajar como centrales de base para que su utilización sea económicamente conveniente. Esto significa un factor de carga alto, no menor de 0,7 y posiblemente 0,8 o mayor.

Esto es necesario para compensar con el ahorro en el gasto de combustible el mayor gasto en concepto de amortización e interés del capital invertido. La variación del costo relativo del Kwh en función del factor de carga se muestra en los gráficos 5 y 6. Se ve que el costo del Kwh aumenta mucho más en centrales nucleares que en térmicas cuando el factor de carga disminuye.

Se supone entonces que ambas centrales trabajan con un factor de carga 0,8, que representa 7.000 horas/año a plena carga. Las centrales producirán entonces 7×10^8 Kwh/año y la carga anual de capital invertido recaerá en el costo del Kwh como 4,3-5,7 mills en las centrales termoelectricas y 6-3 mills en las nucleares.

El segundo factor principal es el gasto de combustible utilizado. En una central termoelectrica moderna de alto rendimiento térmico (34 %) se necesitan quemar 254 g de petróleo para producir 1 Kwh eléctrico. Esto representa 5,1 mills/Kwh.

En centrales nucleares el gasto de combustible depende principalmente del tipo de reactor. El rendimiento térmico, el "burn-up", el costo de fabricación de los elementos de combustible, el tipo de combustible (uranio natural, enriquecido u otro material fisiónable), el factor de conversión, reprocesamiento, crédito de plutonio, crédito de uranio, son todos elementos que hacen sentir su influencia al determinar el gasto de combustible. El mismo variará entre 2 y 4 mills/Kwh, siendo mayor para reactores de uranio enriquecido y menor en el caso de uranio natural.

Costo relativo de la electricidad en función del factor de carga para centrales nucleares

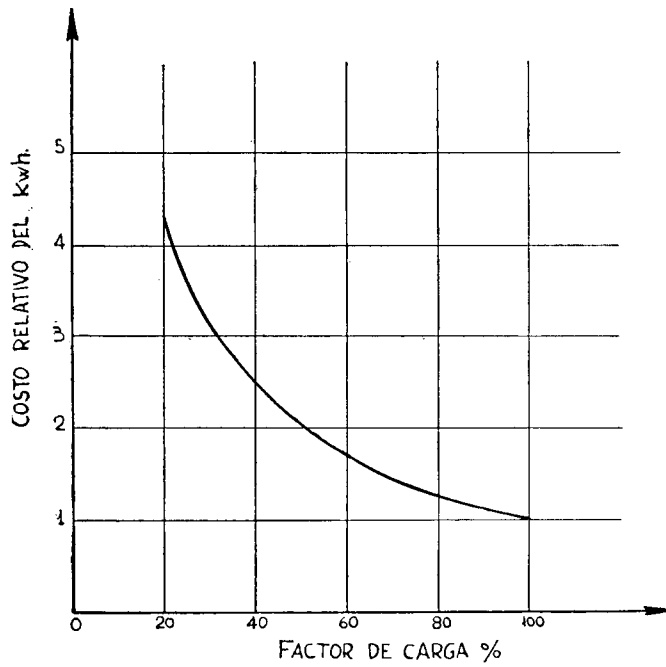


Grafico 5

Costo relativo de la
electricidad en función
del factor de carga
para centrales térmicas.

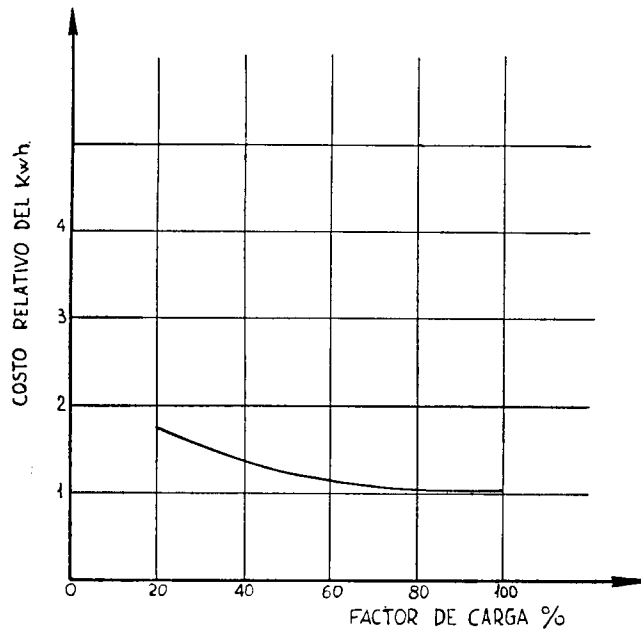


Grafico 6

Para este ejemplo comparativo se calcula 2,2 mills/Kwh, que corresponden a un rendimiento del 25 % y un "burn-up" de 8.000 Mwd/t.

El tercer factor es el costo de operación y mantenimiento. Se considera prácticamente igual para ambas clases de centrales. Representa aproximadamente 1-2 mills/Kwh.

Aparte de estos tres factores mencionados, hay otros más, que dependen de las características especiales de los diferentes tipos de centrales y que tienen mayor o menor importancia. Son:

1. Seguro.
2. Reserva de combustible.
3. Inventario de combustible y moderador.
4. Contingencias e imprevistos.

El seguro para una planta térmica convencional representa unos 0,05 mills/Kwh, mientras que para una central nuclear se toma diez veces este valor, o sea, 0,5 mills/Kwh. En esto se incluye todo: daños y perjuicios, daños contra terceros, etc.

En cada central termoelectrica es necesario tener reservas de combustible que pueden estimarse suficientes para unos tres a cuatro meses de operación. Representan un capital invertido, que en este caso (100.000 Kwe de potencia) equivale a unas 50.000 t de petróleo, o sea, a 1.000.000 u\$s. Este capital no se amortiza, pero su interés (10 %, tal como en el caso anterior) representa 0,15 mills/Kwh.

Las centrales nucleares tienen la particularidad de necesitar una gran cantidad de combustible en el reactor y, en el caso de ser de tipo "térmico", también un moderador. Este inventario de combustible y moderador representa, en general, 1,5-2 mills/Kwh. Para un reactor uranio natural-agua pesada el inventario de combustible es de 0,6 mills/Kwh sin amortización y al 10 % anual, mientras que el inventario del agua pesada es de 0,9-1,1 mills/Kwh.

El costo total de 1 Kwh en el ejemplo ilustrativo será entonces 12,6-12 mills/Kwh para centrales térmicas convencionales y 11,4-13,4 mills/Kwh para centrales nucleares (tabla 8).

Aunque este cálculo sea solamente aproximado, pueden deducirse del mismo cuatro importantes consecuencias:

1. El capital invertido en centrales nucleares es mayor que en centrales térmicas convencionales.
2. El costo de combustible es menor en las centrales nucleares.
3. El costo de la electricidad producida es del mismo orden en ambos tipos.
4. El costo del Kwh depende principalmente del costo de combustible en las centrales térmicas convencionales y del costo de instalación en las centrales nucleares.

Se han comparado las centrales térmicas convencionales y las nucleares y definido sus ventajas e inconvenientes. Ha resultado que las termoeléctricas cuentan con una experiencia operativa larga y abundante y utilizan combustible convencional bien conocido, pero caro. Las nucleares, en cambio, son un nuevo tipo de central, donde la experiencia operativa no es grande, pero utilizan un combustible más barato y existe una gran probabilidad de que evolucionen mucho en el futuro.

Actualmente están a la par de las térmicas desde el punto de vista económico, pero aumentando el rendimiento y el "burn-up" y rebajando el costo de instalación y fabricación de elementos de combustible, que son los cuatro puntos claves, el costo del Kwh bajará, mientras que en las centrales convencionales ya no pueden esperarse mejoras sustanciales.

TABLA 8

Item	Termoeléctrica	Núcleoeléctrica
Potencia eléctrica	100.000 Kw	100.000 Kw
Factor de carga	0,8	0,8
Rendimiento	34 %	25 %
"Burn-up"		8.000 Mwd/t
Combustible	Petróleo	Uranio natural
Vida útil	30 años	25 años
Interés anual	10 %	10 %
Costo de instalación	23-30 millones	30 -40 millones
Gasto anual, capital invertido	3-4 millones	4,2- 5,6 millones
Costo del Kwh		
Carga capital invertido, incidencia en costo (Kwh)	4,3 - 5,7 mills	6 - 8 mills
Gasto de combustible utilizado por Kwh	5,1 mills	2,2 mills
Operación y mantenimiento ..	1 mills	1 mills
Seguro	0,05 mills	0,5 mills
Reserva de combustible	0,13- 0,17 mills	—
Inventario combustible y moderador	—	1,7 mills
Costo total (Kwh)	10,6 -12,0 mills	11,4-13,4 mills

E - ENERGIA NUCLEAR PARA LA ARGENTINA

En los capítulos precedentes se han establecido las bases necesarias para poder entrar en este tema, que, por su naturaleza, reviste el mayor interés. Las conclusiones a las cuales se ha llegado son las siguientes:

Los problemas energéticos y económicos están íntimamente relacionados, ya que para mejorar la situación económica es necesario aumentar la producción, y para ello se debe disponer de mayor cantidad de energía, siendo su forma más útil la electricidad; será, en consecuencia, necesario instalar nuevas centrales eléctricas.

De manera que es de absoluta necesidad aumentar la producción de energía eléctrica a los efectos de una mayor producción y consiguiente elevación del nivel de vida.

En el convencimiento de la necesidad absoluta de aumentar la producción de energía eléctrica, la pregunta a la cual se quiere contestar aquí es cómo entra la energía nuclear en la solución de este problema.

No se discute la conveniencia de las centrales hidroeléctricas donde haya energía hidráulica disponible a una distancia prudencial de los centros de consumo. Por eso no se ha establecido la comparación entre centrales nucleares y centrales hidroeléctricas. Pero como ningún plan energético se basa única y exclusivamente en centrales hidroeléctricas, sino que también considera la instalación de centrales del tipo térmico como de necesidad absoluta, en esta parte deben tomarse en cuenta las centrales nucleares.

Aquí es donde las centrales nucleares pueden formar parte de un plan energético.

Se ha hecho la comparación entre centrales térmicas convencionales y centrales nucleares y llegado a la conclusión de que son compatibles desde el punto de vista económico, presentando cada tipo ventajas con respecto al otro según uno u otro punto de vista.

Especificando más, una central nuclear puede competir con una central térmica convencional cuando se trata de una central de base, que trabaja con alto factor de carga (0,8), y de una potencia a instalar suficientemente elevada (alrededor de 100.000 Kw). Para potencias chicas, o factor de carga bajo, las centrales térmicas convencionales todavía siguen siendo más convenientes, siempre y cuando el costo del transporte no incida seriamente en el costo de la energía eléctrica producida.

Las condiciones en las cuales la instalación de una central nuclear puede ser considerada son las siguientes:

Cuando el plan de electrificación del país considere la necesidad de instalar una central térmica de una potencia igual o mayor a 100.000 Kw en un determinado lugar, siempre y cuando dicha central pueda trabajar con un factor de carga alto, o sea, casi siempre a plena potencia, hay que tener en cuenta la posibilidad de instalar una central nuclear. Tratándose de un lugar de incómodo acceso, donde la diferencia en los costos de transporte de combustible llegue a ser muy importante, la instalación de centrales nucleares es especialmente interesante (inclusive tratándose de potencias menores de 100.000 Kw).

Para llegar a una decisión es necesario tener en cuenta las dos fundamentales ventajas de las centrales nucleares, que son:

1. Combustible.

El combustible que utilizan es el uranio. El país es rico en yacimientos de uranio, el cual prácticamente no puede ser utilizado en cantidad sino como combustible en centrales eléctricas (no se consideran los usos bélicos).

Es cierto que también existen yacimientos importantes de petróleo, pero éste no solamente puede ser quemado en centrales. Tiene muchos otros usos de suma importancia y grandes posibilidades en el transporte y la petroquímica. El valor del petróleo tiene tendencia a subir porque la demanda crece más que la oferta y los recursos mundiales son limitados. Seguramente llegará el día, en un futuro no muy lejano, cuando quemar petróleo para producir energía eléctrica sea económicamente impracticable.

2. Mejoras técnicas futuras.

Las centrales nucleares tienen grandes posibilidades de progreso y mejoramiento, mientras que las centrales térmicas convencionales ya han llegado a un alto grado de perfeccionamiento, no pudiendo esperarse ningún progreso futuro importante.

Cabe aquí el argumento de la conveniencia de esperar y dejar que los otros países sigan desarrollando los diversos tipos de reactores nucleares que introduzcan mejoras y perfeccionen sus diseños.

Efectivamente, es conveniente aprovechar la experiencia ajena, pero no basta limitarse a asumir el simple papel de espectadores. Es necesario mantener un estrecho contacto con los centros donde se realizan los mayores progresos en la ingeniería nuclear, a la par que contar con los elementos necesarios para poder adoptar los mismos cuando sea más conveniente para el país.

En la República Argentina ya se han dado los primeros pasos en el plan de desarrollo atómico al construirse un reactor experimental y al lograr en la planta de Ezeiza uranio de pureza nuclear. Para entrar en la segunda etapa será necesario ubicarse en una de las tendencias seguidas por los países que marchan a la cabeza del desarrollo atómico.

Con respecto a la posibilidad de construir una central nuclear en el país, la situación es análoga a lo que sucede con centrales térmicas convencionales; por carecer aún de una industria pesada suficientemente desarrollada, será necesario recurrir en parte a la importación.

En el primer capítulo de este trabajo se han esbozado las principales líneas o tendencias de desarrollo atómico en el exterior, llegándose a la conclusión de la conveniencia de adoptar alguna de éstas.

La gran diferencia entre la línea norteamericana y la línea anglofrancesa y canadiensenoruega consiste en que los norteamericanos utilizan preferentemente uranio enriquecido como combustible, mientras que los segundos usan casi exclusivamente el uranio natural en sus reactores de potencia.

La ventaja del uranio enriquecido es que permite una gran libertad en el diseño del reactor y en la elección de los materiales estructurales. Con el mismo se puede utilizar el agua natural como moderador (tipos BWR y PWR) y disminuir el tamaño del reactor.

El serio inconveniente que presenta es que, como su nombre lo indica, hay que enriquecerlo, o sea, hay que aumentar la concentración natural del isótopo U-235. Para llevar a cabo dicha operación se necesitan plantas de enriquecimiento, que son de gran magnitud y cuyo costo es enorme. No puede pensarse en la instalación de tales plantas aquí en la Argentina dada la magnitud de la inversión que demandaría.

Además, para tener un costo de combustible competitivo es necesario reprocesar el combustible irradiado para recuperar el U-235 remanente y el plutonio que se ha formado. Para ello es necesario contar con una planta de reprocesamiento, cuyo costo también es muy elevado (30 a 60 u\$s por Kw instalado).

De lo anterior se concluye que en el caso de adoptar la línea del uranio enriquecido sería necesario importar el combustible nuclear, lo cual significa mantenerse en una posición de dependencia, con el correspondiente gasto de divisas.

Otro factor importante que debe considerarse es que, desde el punto de vista económico, el uso del uranio enriquecido no rebaja ni el costo del Kwh producido ni el de instalación de la central. Por el contrario, resultan costos mayores teniendo en cuenta la mayor incidencia del combustible y la mayor inversión que representa la instalación de la planta de enriquecimiento.

Estas razones llevan a preferir para el futuro del país el empleo del uranio natural como combustible en centrales nucleares.

No se considera por ahora el uso del plutonio y del U-233, ambos posibles combustibles nucleares, porque el plutonio tiene que ser producido previamente en reactores nucleares, que no existen en el país, y el uso del torio (material fértil para la producción de U-233) está en una fase puramente experimental. Se podrá contemplar su uso recién en la próxima etapa del plan de desarrollo atómico.

De las razones expuestas anteriormente se puede concluir que el combustible nuclear más conveniente para el país es el uranio natural, el cual ya se fabrica y cuya producción puede aumentarse sin mayores dificultades. Es un combustible relativamente barato y no se necesitan plantas de enriquecimiento.

La fabricación de los elementos de combustible podría ser hecha en el país utilizando el uranio en forma de metal u óxido de uranio.

El uranio natural impone limitaciones en la elección del moderador, el cual debe ser un material no absorbente de neutrones. Solamente pueden considerarse como moderadores en un reactor de potencia el grafito y el agua pesada.

En centrales nucleares con uranio natural y grafito hay una experiencia operativa considerable y el costo del grafito no es muy grande (1 u\$s/kg); en cambio, el rendimiento neutrónico es bastante pobre, limitando el "burn-up" a unos 3.000 Mwd/t, lo cual obliga a reprocesar el combustible para obtener un aprovechamiento razonable del mismo.

En el caso del uranio natural-agua pesada la experiencia operativa es menor que en el anterior y el costo del agua pesada es elevado (61 u\$s/kg), pero como tiene un rendimiento neutrónico muy bueno, permite un "burn-up" alto, de unos 8.000 Mwd/t, pudiendo así eliminar la necesidad de reprocesar el combustible. Además, por sus excelentes cualidades nucleares permite disminuir la masa crítica y, en consecuencia, el tamaño del reactor, disminuyendo el costo de inventario de combustible.

La elección entre el grafito y el agua pesada no es fácil. Ni el grafito de pureza nuclear ni el agua pesada se producen en el país, pero la fabricación de cualquiera de los dos podría ser encarada sin tener que instalar plantas a un costo prohibitivo.

Al elegir el refrigerante y demás características de un reactor se presentan muchas alternativas. En el gráfico 7 se da una estimación comparativa de los diversos problemas correspondientes a diferentes tipos de reactores, asignándoles a cada uno de ellos un índice de conveniencia.

Haciendo una comparación (tabla 9) y un estudio preliminar surge la conveniencia de elegir el agua pesada como moderador; sin embargo, no es por ello prudente descartar de hecho el grafito.

TABLA 9

Componentes de un reactor y su dificultad técnica relativa

Se consideran dos tipos de reactores: el de uranio natural-grafito-gas y el de uranio natural-agua pesada

Item	Uranio natural-grafito-gas	Uranio natural-agua pesada
1. Elementos combustibles	3	3
2. Conjuntos de elementos	3	3
3. Parrillas	3	2
4. Agua pesada	—	4
5. Grafito	3	—
6. Recipiente de presión y accesorios	4	4
7. Varillas de control y servos ...	3	3
8. Equipo de carga de los elementos combustibles	2	2
9. Blindaje térmico	1	1
10. Blindaje biológico	1	1
11. Circulación fluido refrigerante .	3	3
12. Bombas	4	4
13. Refrigeración auxiliar	2	2
14. Manejo y almacenaje residuos radioactivos	3	3
15. Control	3	3
16. Cambiadores de calor y accesorios	3	3
17. Ingeniería civil	1	1
18. Montaje	3	2
19. Proyecto	3	3

1 Ejecución inmediata en la Argentina.

2 Ejecución relativamente fácil.

3 Ejecución con dificultades vencibles.

4 Ejecución muy difícil.

La elección de otros componentes del reactor, o sea, el tipo de refrigerante, el sistema de refrigeración, la temperatura de trabajo, la temperatura del moderador, la geometría del reticulado, tipo de reflector, etc., etc., es un problema técnicoeconómico que tiene y puede ser encarado recién cuando ya se haya decidido sobre el tipo de combustible y moderador a utilizar.

Por otra parte, estos factores no son decisivos con respecto al principal problema y objeto del presente trabajo, que es estudiar la posibilidad y conveniencia de instalar centrales nucleares en la Argentina.

Es un hecho indiscutible que centrales nucleares de potencia reducida (5.000-20.000 Kw) son actualmente inferiores, desde el punto de vista económico, a centrales térmicas convencionales de la misma potencia. Se ve que el costo unitario de instalación

ALGUNOS TIPOS DE REACTORES Y SUS PROBLEMAS.

TIPO DE REACTOR PROBLEMAS	URANIO NATURAL										URANIO ENRIQUECIDO		
	AGUA PESADA					GRAFITO					AGUA		
	H ₂ O	D ₂ O	Na	GAS	H ₂ O	Na	GAS	H ₂ O	Na	GAS	PWR	BWR	
RENDIMIENTO NEUTRONICO	2	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PROCESADO DE COMBUSTIBLE	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
COSTO DE INSTALACION	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ENTRADA POSIBLE	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
SEGURIDAD	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2
DIFICULTAD de CONSTRUCCIÓN	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DIFICULTAD de OPERACIÓN y MANT.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EXPERIENCIA PREVIA	1	1	3	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1
GASTO DE DIVISAS	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
INDICE DE CONVENIENCIA	14	13	17	13	16	17	13	16	17	14	18	18	18

EL ESPACIO RAYADO DA UNA IDEA DE LA MAGNITUD DE LOS PROBLEMAS.
 INDICE DE CONVENIENCIA: NUMERO MAS BAJO, MAS CONVENIENTE.

aumenta mucho al disminuir la potencia (gráfico 8). Sin embargo, es necesario considerar la posible conveniencia de instalar una "planta piloto".

Esta planta piloto debería encuadrarse dentro de los lineamientos generales del tipo de central nuclear elegido para la Argentina y su potencia podría ser de unos 10.000 Kw eléctricos.

Aceptado el hecho de que la energía eléctrica que se produce en esta central piloto no tiene un precio competitivo y que el costo de instalación es bastante alto (800 u\$s/Kw), sin embargo, hay razones importantes que llevan a considerar la posibilidad de su instalación.

Estas razones son:

1. En el caso de construirse la planta piloto aquí, en el país, se conseguiría una experiencia muy valiosa, que sería de utilidad para el futuro.
2. Con esta planta piloto se podrían encarar muchas experiencias y trabajos que no pueden realizarse con el RA-1 por ser éste un reactor experimental de potencia cero.
3. Operándola se obtendría experiencia en este tipo de reactores y se formarían los técnicos necesarios para el país.
4. Sería útil para poner a prueba los elementos de combustible y los materiales utilizados.
5. Podría ser utilizada para producir radioisótopos, cuyo uso en la industria y la medicina es de enorme importancia.
6. Teniendo en cuenta la producción de radioisótopos y las facilidades de experimentación el costo del Kw producido, que estaría alrededor de 25-30 mills/Kwh sin tener en cuenta lo anterior, ya no resultaría tan desproporcionado frente a los 15-17 mills/Kwh en centrales térmicas convencionales.

Quedaría por decir algunas palabras sobre el futuro de la energía atómica. Podrían reproducirse aquí algunas de las numerosas curvas, extrapolaciones o estimaciones existentes al respecto, pero se ha optado por no hacerlo. No se pretende presentar en este trabajo un plan de desarrollo atómico de largo alcance, sino únicamente un panorama del presente, con algunas observaciones aplicables al futuro en la Argentina.

Las extrapolaciones son siempre peligrosas e inseguras, por ello se han evitado en lo posible, limitando la labor a considerar principalmente lo hecho hasta el presente. Con respecto al desarrollo futuro de la energía atómica, y en especial de las centrales nucleares, lo que se puede afirmar con absoluta certeza es que hay una tendencia fuerte de ampliar el uso de la energía nuclear en todas partes del mundo y de construir centrales nucleares, reduciendo el costo de instalación y abaratando la energía eléctrica producida. Actualmente hay 72 centrales nucleares y plantas piloto en operación o construcción contratadas en el mundo (tabla 10) y 234 reactores de experimentación (inclusive uso naval y militar).

TABLA 10
Estadística de junio de 1958

	En operación	En construcción	Contratados
Centrales nucleares y plantas piloto	12	34	26
Reactores de experimentación (inclusive uso naval y militar)	89	80	65

PLANTA PILOTO CON MODERADOR DE AGUA PESADA.

Costo del kw instalado

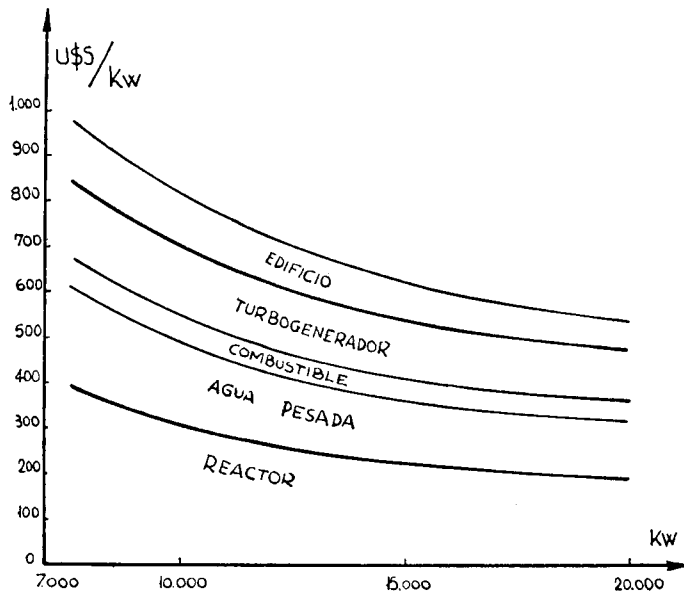


Grafico 8

R E S U M E N

En el presente trabajo se quiere aclarar la posición que ocupa la energía nuclear frente al problema energético argentino.

En el primer capítulo se expone brevemente el estado actual de la energía nuclear en el mundo.

Siendo el nivel de vida proporcional al consumo de energía eléctrica, para aumentarlo hay que incrementar la producción de electricidad construyendo centrales.

Las reservas mundiales de combustible convencional son limitadas y se están agotando paulatinamente. La energía nuclear puede y efectivamente está reemplazando al petróleo y carbón en centrales eléctricas. Es posible producir energía eléctrica en centrales nucleares a un precio competitivo con la producida en centrales térmicas convencionales.

Existen tres líneas principales de desarrollo atómico en el mundo occidental: la norteamericana, que utiliza preferentemente uranio enriquecido como combustible y agua natural como moderador; la anglofrancesa, con uranio natural-grafito, y la canadienseescandinava, con uranio natural-agua pesada. Para aprovechar la experiencia ajena es conveniente optar por seguir una de estas tres, teniendo en cuenta las posibilidades y condiciones naturales del país.

Con respecto a las fuentes de energía de la República Argentina, grandes reservas y poca explotación caracterizan al país. En consecuencia, el posible agotamiento de las fuentes clásicas de energía no puede esgrimirse como argumento a favor de la utilización de la energía nuclear. Tienen que considerarse otros factores decisivos, que son de orden económico y estratégico.

Desde el punto de vista de la energía eléctrica, el consumo por habitante y por año es bajo en la Argentina; las reservas hidráulicas están poco aprovechadas y hay un déficit energético apreciable. Se dan algunas cifras para ilustrar lo dicho.

Los diferentes planes energéticos elaborados coinciden en que para mejorar nuestra situación actual es necesario instalar nuevas centrales, tanto hidroeléctricas como térmicas, doblando aproximadamente la potencia instalada en el país cada 10 años.

Se comparan las centrales nucleares con las térmicas convencionales y con las hidráulicas, haciéndolo principalmente entre térmicas convencionales y nucleares por las similitudes básicas que existen entre ellas. El combustible es el punto de comparación más importante. Las centrales nucleares tienen la gran ventaja de no ser petróleo o carbón lo que queman, sino uranio, con el correspondiente ahorro en costo de combustible.

Las centrales térmicas convencionales tienen una vida útil algo más larga, existe mayor experiencia constructiva y operativa y mayor seguridad. Su costo de instalación es menor, pero el costo de la energía eléctrica producida resulta ser del mismo orden que en las centrales nucleares. El mayor gasto de combustible y el menor costo de instalación se compensan.

Al considerar la posible aplicación de la energía nuclear en la República Argentina para producir electricidad se llega a la conclusión de que:

Cuando el plan de electrificación del país considere la necesidad de instalar una central térmica de una potencia igual o mayor a 100.000 Kw en un determinado lugar, siempre y cuando dicha central pueda trabajar con un factor de carga alto, o sea, casi siempre a plena potencia, hay que tener en cuenta la posibilidad de instalar una central nuclear. Tratándose de un lugar de incómodo acceso, donde la diferencia en los costos de transporte de combustible llegue a ser muy importante, la instalación de centrales nucleares es especialmente interesante (inclusive tratándose de potencias menores de 100.000 Kw).

Se considera más conveniente para el país utilizar el uranio natural y no el uranio enriquecido. El empleo del uranio natural supone la utilización del agua pesada o del grafito como moderador.

En la última parte del trabajo se hacen algunas consideraciones referentes a la posible conveniencia de contar en el país con una planta piloto.

BIBLIOGRAFIA

1. Statistical Yearbook; United Nations, 1956.
2. Elementos para el estudio de la economía energética argentina: Aurelio González Climent; Buenos Aires, 1955.
3. La política energética argentina: Bruno A. Defelippe; Buenos Aires, 1953.
4. El problema eléctrico argentino: Carlos A. Volpi; Buenos Aires, 1954.
5. La electricidad en la industria argentina: F. F. Sintés Olives; Buenos Aires, 1943.
6. Hidro y termoelectricidad: Grandi; Buenos Aires, 1957; conferencia.
7. Expediente E. N. D. E. n° 381.570/56.
8. Estadística de petróleo: Ministerio de Comercio e Industria; Buenos Aires, 1956.
9. Rev. Petroleum Press, números de los años 1957 y 1958.
10. Necesidades energéticas del país para 1965: Centro Argentino de Ingenieros; Buenos Aires, 1958.
11. La industria eléctrica argentina, Contribución al estudio de sus problemas; Asoc. de Prod. de Electr.; Buenos Aires, 1956; folleto.
12. International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy; Ginebra, 1955, tomo 3.
13. Atomic Energy in Industry; 4th. Annual Conference, Nueva York.
14. Rev. Applied Atomics, años 1956, 1957 y 1958.
15. Rev. Atomic Industry, años 1957 y 1958.
16. Folleto del Chase Manhattan Bank: Paul Genachte.
17. Nuclear Power Engineering: Schwenk y Shannon; Nueva York, 1957.
18. Nuclear Fuels: Gurinsky y Dienes; Princeton, 1956.
19. Materials for Nuclear Power Reactors: Hausner & Roboff; 1955.
20. Progress in Nuclear Energy, serie 8; The Economics of Nuclear Power.
21. Nuclear Power Demonstration; A. E. C. I. n° 356.
22. The Heavy Water Reactor for Power; A. E. C. L. n° 319.
23. Propuestas Martin, Alco, General Electric, Westinhouse, Humphreys & Glasgow Ltd., Kaiser Engineers.

24. Economics of Shipping Spent Nuclear Fuel Elements: Charles E. Dryen; Rev. Nucleonics, julio, 1956.
25. Where Reactor Development Stands today: James Lane; Rev. Nucleonics, agosto, 1956.
26. Economics of Waste Disposal: H. R. Zeitlin; Rev. Nucleonics, enero, 1957.
27. PWR, Calder, Boiling costs about alike; Euratom; Rev. Nucleonics, junio, 1957.
28. World weights Nuclear Alternatives; Rev. Nucleonics, junio, 1957.
29. Power Reactor Economic trends: Chauncey Starr; Rev. Nucleonics, septiembre, 1957.
30. What price reactor material?: Malcom F. Judkins; Rev. Nucleonics, enero, 1953.
31. Charting a Course for Nuclear Power Development: Karl Cohen; Rev. Nucleonics, enero, 1958.
32. Understanding Nuclear Power Cost: James Lane; Rev. Nucleonics, enero, 1958.
33. Influencia de las cargas financieras en el precio de costo de la energía nuclear: José L. Redonet Maura; Rev. Energía Nuclear, julio-septiembre, 1958.
34. Hacia una industria nuclear: José Ma. Otero Navasqués; Rev. Energía Nuclear, julio-septiembre, 1957.
35. Integración de las centrales nucleares en la producción eléctrica de España: José L. Redonet Maura; Rev. Energía Nuclear, enero-marzo, 1957.
36. Uranium: Enriched or Natural?; Rev. Nuclear Power, 1957, Vol. 2, nº 16.
37. Canadian Experiments similar to Economic Nuclear Power; Rev. Nucleonics, octubre, 1956.
38. Attuale utilizzazione economica dell'energia nucleare, dove ed in quali circostanze, corbin allardice: Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari; Notiziario, anno III, nº 10, 1957.
39. L'energia atomica nello sviluppo economico; Notiziario, anno III, nº 3, 1957.
40. Giornate dell'energia nucleare; Rev. Energia Nucleare, Supl. al Vol. 3, 1956.
41. The Future Development of Nuclear Power: Sir John Cockcroft; Bol. Atom nº 5, marzo, 1957.
42. Technical Development in the Nuclear Energy Field: Sir John Cockcroft; Bol. Atom nº 5, marzo, 1957.
43. Reactor Design and Power Cost in the Future: Sir Christopher Hinton; Bol. Atom, abril, 1957.
44. Cost Factors in Nuclear Energy: J. A. Jukes; Bol. Atom, mayo, 1957.

45. Nuclear Energy in low income Countries: J. A. Jukes; Bol. Atom, julio, 1957.
46. Die Reaktoren der Welt, Die Atom; Wirtschaft, 1956.
47. Nuclear Reactors for Industrial Use: D. J. Allen Williams and D. Whitworth; Nuclear Engineering, marzo, 1957.
48. Nuclear Energy in Sweden's Power Programme: Bernt Har-go; Nuclear Engineering, julio, 1957.
49. Nuclear Energy in Holland; Nuclear Engineering, agosto, 1957.
50. The Economics of Nuclear Power: J. M. Kay; Nuclear Engineering, mayo, 1956.
51. Economics of Enriched Fuel Reactors: J. M. Kay; Nuclear Engineering, julio, 1956.
52. The Fuelling of Nuclear Reactors: F. W. Fenning; Nuclear Engineering, agosto, 1956.
53. Economics of Small Nuclear Power Units: J. M. Kay; Nuclear Engineering, septiembre, 1956.
54. Nuclear Energy and the Export Market: A. D. Wood; Nuclear Engineering, noviembre, 1956.
55. Equivalencia energética entre los combustibles uranio, petróleo y carbón: Miguel Bernat; Técnica e Industria, octubre, 1957.
56. Centrales atómicas: Bela J. Csik; Centro Est. Ing., 1957.

Este folleto terminó de imprimirse
en el mes de Abril de 1959 en los
Talleres Gráficos de la Comisión
Nacional de Energía Atómica.