150.

COMISION NACIONAL DE INVESTIGACION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA (CONICYT)
Canadá 308, Casilla 297-V
Santiago, Chile.

0023

SEMINARIO SOBRE LOS RECURSOS ENERGETICOS DE CHILE

Santiago de Chile, 16-19 Abril 1974

LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA EN CHILE

Ing. Germán Guerrero F.

Oficina de Planificación, ENDESA

Santiago de Chile, 1974

I N D I C E

RESUMEN

1.- Importancia del Sector Eléctrico en el Desarrollo Económico de los Países 2

2.- Posición relativa del Consumo Eléctrico 4

3.- Estructura actual de la Demanda de Energía Eléctrica 6

3.1. Distribución Geográfica 6
3.2. Distribución Sectorial 10
3.3. Modulación de las demandas 13
3.4. Crecimiento de las demandas de energía eléctrica 16

4.- Metodología para la previsión de los consumos de Energía Eléctrica 18
4.1. Método de previsión global 20
4.2. Método de previsiones sectoriales..... 22
4.3. Método probabilístico 26

5.- Previsiones de Consumo de Energía Eléctrica .. 27

REFERENCIAS 32

RESUMEN

La planificación del abastecimiento futuro de las necesidades de energía eléctrica debe basarse en una estimación de dichas necesidades para un período suficientemente largo, fijado por los plazos de estudio y construcción de las obras de suministro.

Adicionalmente, la estimación debe ser lo más acertada posible, considerando la magnitud de las inversiones que se ponen en juego y los perjuicios económicos derivados de una falla del abastecimiento.

En el presente trabajo se definen las características de la demanda de energía eléctrica en Chile, los métodos utilizados en la ENDESA para determinar los consumos futuros y su previsión hasta el año 1982.

1. IMPORTANCIA DEL SECTOR ELECTRICO EN EL DESARROLLO ECONOMICO DE LOS PAISES.

La disponibilidad de fuentes de energía, y dentro de éstas de energía eléctrica, representa un factor de importancia fundamental para el desarrollo económico de los países. Esta es una afirmación que se hace en forma bastante generalizada y que no se presta a objeciones. Sin embargo, conviene visualizarla a través de cifras concretas.

Si se considera una agrupación de países de acuerdo a un ordenamiento decreciente de sus consumos eléctricos per cápita, se obtiene también un orden decreciente en los ingresos brutos por habitante (Tabla 1).

TABLA 1

Consumos e ingresos per cápita ☒

Grupo	Consumos eléctricos (kWh/hab. año)	Ingresos brutos (US$/hab. año).	Consumo eléctrico por unidad de ingreso (kWh/US$)
A	Sobre 4.000	2.170	2.76
B	2.000 - 4.000	1.070	2.35
C	1.000 - 2.000	670	2.06
D	500 - 1.000	490	1.46
E	250 - 500	270	1.40
F	100 - 250	150	1.03
G	50 - 100	95	0.88
H	Menor de 50	65	0.54
Mundo	770	410	1.89

☒ Fuente: Naciones Unidas (cifras estimadas para 1960).

En los grupos definidos en el cuadro anterior se encuentran países como EE.UU., Canadá y Suecia (grupo A), Australia, Gran Bretaña y Alemania Federal (grupo B), Francia, Japón y URSS (grupo C), Hungría, España, Venezuela y Chile (grupo D), yugoeslavia, Méjico y la mayoría de los países latinoamericanos (grupo E), Argelia, Colombia, Bolivia y la mayoría de los países centroamericanos (grupo F), Siria, Rep. Arabe Unida, Ecuador y Paraguay (grupo G) y Haití, India y la mayor parte de los países africanos (grupo H).

Esta relación entre el desarrollo económico de los países y los consumos eléctricos también puede constatarse a través del tiempo, como se puede observar en la Tabla 2, en la cual se comparan los índices de producción industrial y de consumo eléctrico en los últimos ocho años para Europa y América Latina.

TABLA 2

Producción industrial y consumos eléctricos ✻

Año	EUROPA		AMERICA LATINA	
	Prod. industrial	Cons.eléctrico	Prod.industrial	Con.eléctrico
1960	100	100	100	100
1961	106	111	107	110
1962	110	117	110	119
1963	116	126	112	127
1964	126	136	122	140
1965	131	146	128	149
1966	138	156	135	162
1967	143	165	140	173
1968	153	178	149	188

✻ Fuente: Statistical Yearbook, 1969 (N.U)

Podrían analizarse otros tipos de relaciones, buscar correlaciones, etc., y se llegaría a la conclusión incontrovertible de que la disponibilidad de energía eléctrica en cantidad, calidad y precio es una condicionante importante para el desarrollo económico de los países.

2. POSICION RELATIVA DEL CONSUMO ELECTRICO

En 1972, Chile tuvo un consumo de energía total de 20.004 millones de kWh equivalentes. Las fuentes primarias de energía fueron: el petróleo 57.2%, la ener-

gía hidráulica 26.0%, el carbón 10.7 %, la leña 5,0% y otras fuentes 0,5%. En la Figura Nº 1 se presenta el diagrama energético del país donde se detalla el origen y consumo final de energía en 1972 y en la Figura Nº 2 se puede apreciar la evolución del consumo de energía en el país, y el desarrollo de sus fuentes primarias.

Del total de energía consumido en Chile durante 1972, un 44,5% se consumió en forma de energía eléctrica, lo que corresponde a 8.936 GWh. Dicha energía provino en un 58,2% de generación hidráulica y 41,8% de generación térmica. Por otra parte, este total de energía eléctrica puede descomponerse en 31,2% de Autoproductores y 68,2% de Empresas de Servicio Público.

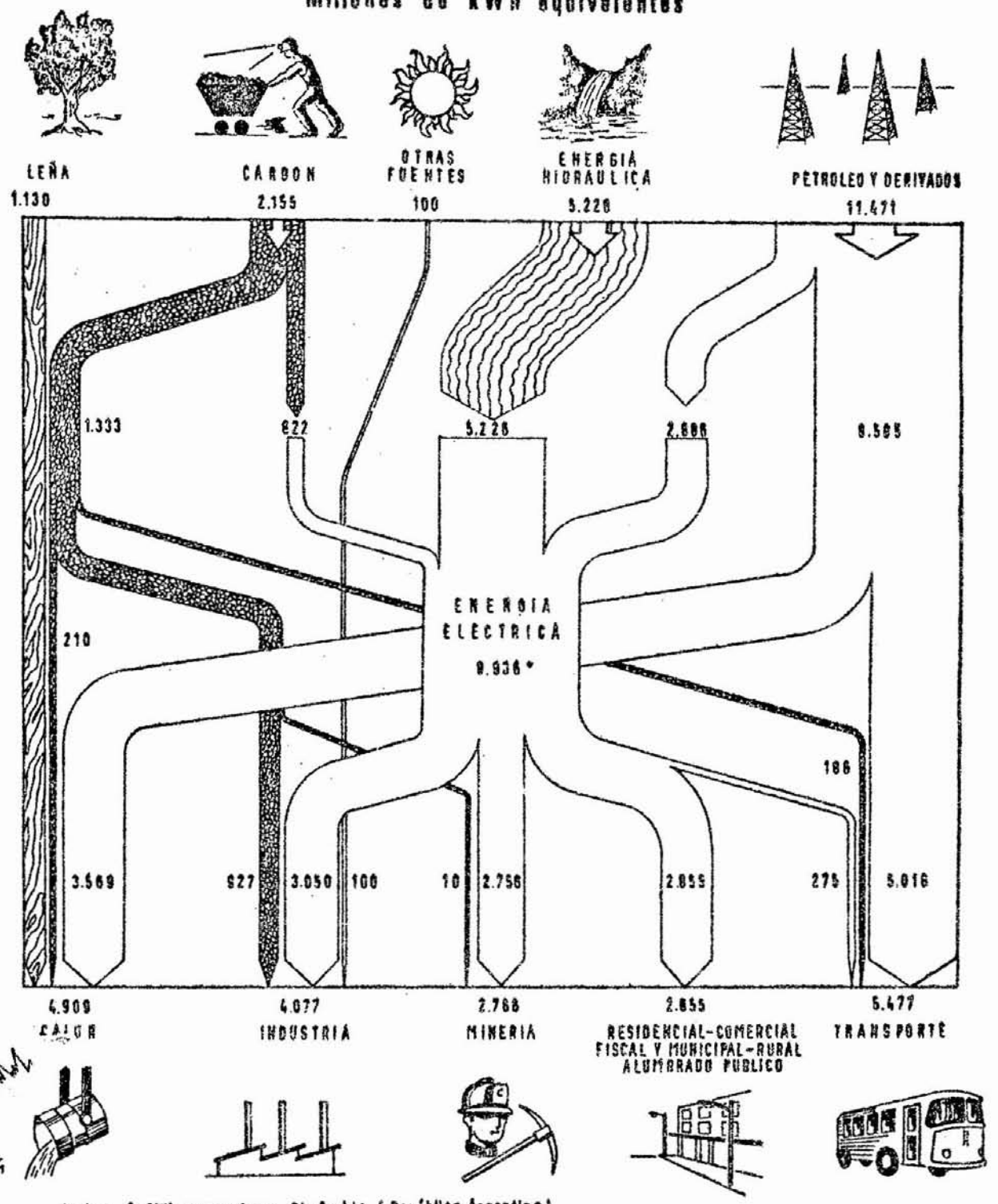
El abastecimiento eléctrico de Servicio Público en Chile es realizado fundamentalmente por dos empresas dependientes de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la ENDESA con alrededor de un 68% de la generación bruta total de servicio público del país y CHILECTRA con un 32%.

Existen además otras empresas de servicio público de menor importancia con generación propia e in-

FIGURA Nº 1

DIAGRAMA ENERGETICO DEL PAIS AÑO 1972

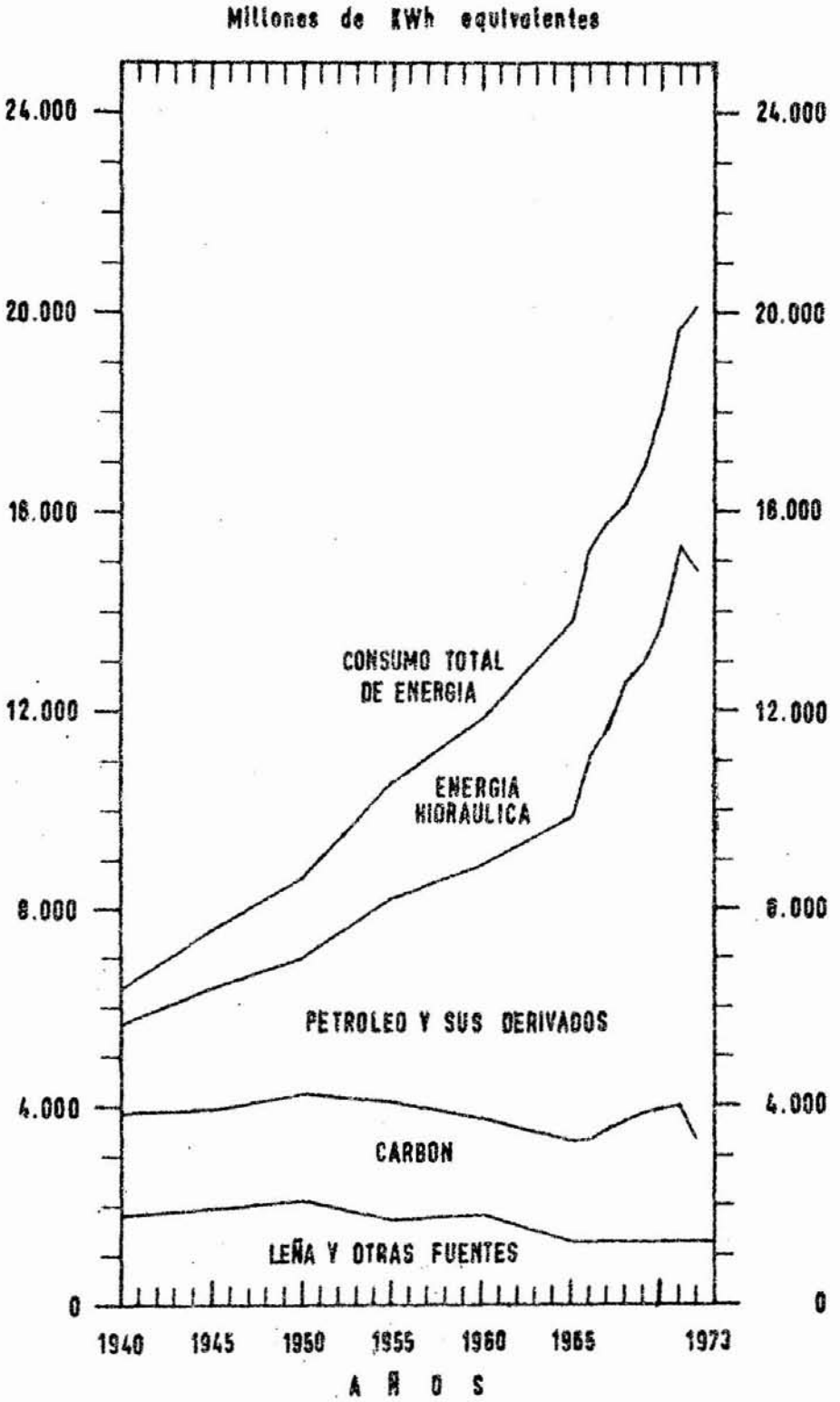
Millones de kWh equivalentes



Incluye 2 GWh comprados a Río Turbio (República Argentina)

FIGURA Nº 2

CONSUMO BRUTO DE ENERGIA EN CHILE



dustrias autoproductoras de energía a las cuales se les compra parte de su producción. En conjunto, no pasan de un 0.5% de la generación total.

3. ESTRUCTURA ACTUAL DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

El consumo de energía eléctrica puede analizarse desde distintos puntos de vista. Cada uno de estos enfoques constituye una herramienta valiosa para los estudios de previsión futura de las demandas y para los estudios de su abastecimiento.

Es así como normalmente se analiza la estructura de la demanda atendiendo a su distribución geográfica, su distribución por sectores de consumos y su distribución en el tiempo (modulación y crecimiento).

3.1. DISTRIBUCION GEOGRAFICA

El consumo de energía eléctrica se encuentra desigualmente distribuído a lo largo del país, pudiéndose establecer tres zonas bien diferenciadas.

La zona Norte, que corresponde prácticamente a las provincias de Tarapacá y Antofagasta, tiene una población pequeña concentrada en las principales ciudades de Arica, Iquique y Antofagasta. El 90% de los consumos eléctricos corresponde a la Gran Minería. Los recursos hidroeléc

tricos son escasísimos y en general aprovechables sólo como subproducto de usos más prioritarios del agua. Existencias conocidas de combustibles no hay en esta zona y sólo se puede mencionar la posibilidad del uso de la energía geotérmica proveniente de El Tatio, en estudio desde hace bastante tiempo. Actualmente existen tres sistemas interconectados: Arica-Iquique, que permite el uso combinado de la central hidroeléctrica de Chapiquiña y de los grupos diesel de ambas ciudades, Tocopilla-Chuquicamata y Chañaral-Potrerillos. Estos dos últimos destinados a autoabastecer las necesidades de las minas de cobre. El desarrollo futuro de esta zona deberá en consecuencia, basarse fundamentalmente en plantas termoeléctricas. Es atractivo pensar en instalaciones nucleares duales destinadas a generar energía y desalinizar agua de mar, sin embargo, conspira en parte contra esta idea la pequeñez de los centros de consumo.

La zona Central, que abarca la región comprendida entre las provincias de Atacama y Llanquihue, tiene como principales centros de consumo de energía eléctrica las regiones de Santiago-Valparaíso y Concepción. Los recursos hidráulicos de esta zona van aumentando progresivamente de norte a sur, así como el tipo de los regímenes

de los cursos altos de los ríos: regímenes glaciales con fuertes crecidas en verano en el norte y pluviales con fuertes crecidas de invierno en el sur. Desde el punto de vista hidroeléctrico, los recursos más importantes están en la parte sur de esta zona, aunque su atractivo económico se ve disminuído por las características geológicas de la región y su relativa lejanía a los centros más importantes de consumo. Existe en esta zona una producción de carbón que alcanza en promedio a 1.4 millones de toneladas; aproximadamente un tercio de esta cifra queda disponible para ser consumida por las plantas termoeléctricas existentes. A través de esta zona se ha desarrollado el llamado "Sistema Interconectado", que permite compensar las diferencias en las características hidrológicas de los recursos hidroeléctricos y la variación estacional de los consumos, disminuír las necesidades de reservas de seguridad y aprovechar las economías de escala en las instalaciones. Dadas las características de la zona del Sistema Interconectado, el servicio de los incrementos futuros de consumo puede realizarse mediante todas las combinaciones posibles de tipos de plantas eléctricas y sistemas de transmisión.

Finalmente, la zona Sur, que incluye las provincias de Chiloé, Aysén y Magallanes del territorio continental chileno, se caracteriza por tener una población escasísima y relativamente grandes recursos hidroeléctricos que no pueden desarrollarse justamente por dicha razón. Además existen reservas de carbón, gas natural y petróleo. En igual forma que en la zona Norte, los centros de consumo eléctrico son pequeños y distantes entre sí por lo que el desarrollo del servicio eléctrico debe continuar efectuándose en forma aislada o con interconexión parcial de algunos pequeños sistemas ej.: Aysén-Coihaique.

El consumo bruto de energía eléctrica en el año 1972 para las zonas definidas se muestra en la Tabla 3 siguiente.

Tabla 3

Consumo bruto de energía eléctrica en 1972 ✱

(millones de kWh)

	SERVICIO PUBLICO					
	ENDESA	Otras Emp. Serv. Públ.	Aporte Autoprod.	Total	Auto-Prod.	Total
Zona Norte	196,7	1,9	28,3	226,9	1.544,1	1.771,0
Sist. Interc.	4.377,9	1.510,1	95,3	5.983,3	1.078,6	7.061,9
Zona Sur	56,4	0,7	2,0	59,1	43,7	102,8
TOTAL PAIS	4.631,0	1.512,7	125,6	6.269,3	2.666,4	8.935,7

✱ Fuente: ENDESA. Producción y Consumo de Energía en Chile 1972.

La Figura Nº 3 adjunta muestra un mapa del desarrollo eléctrico de Chile. En él se pueden apreciar las distintas zonas del país y los sistemas eléctricos de Servicio Público y de Autoproductores que las sirven.

3.2. DISTRIBUCION SECTORIAL

Dentro de las modalidades de estudio de la demanda, uno de los aspectos más interesantes es la distribución de los consumos según el uso que se asigna a la energía, vale decir el estudio de los sectores de consumo.

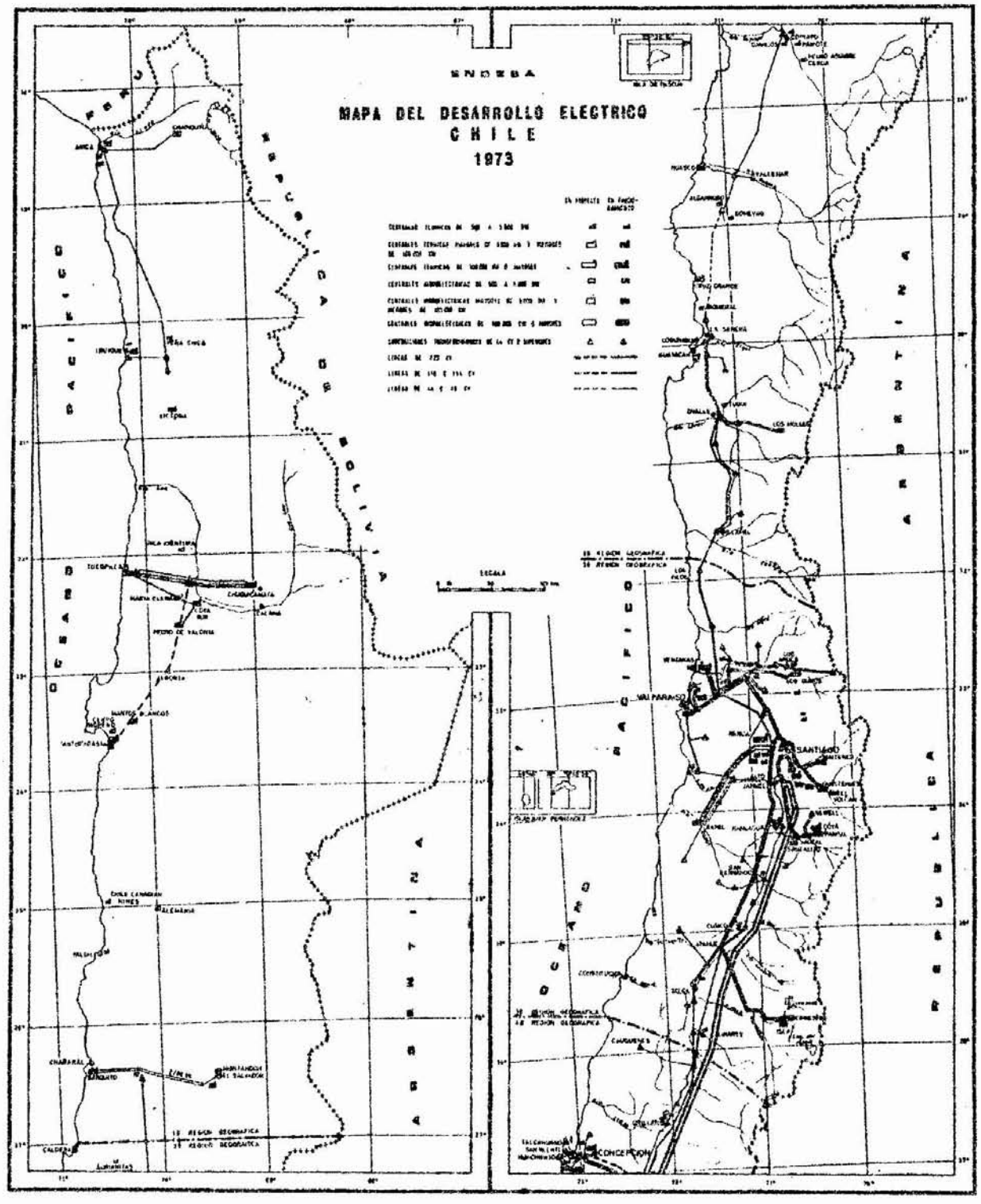
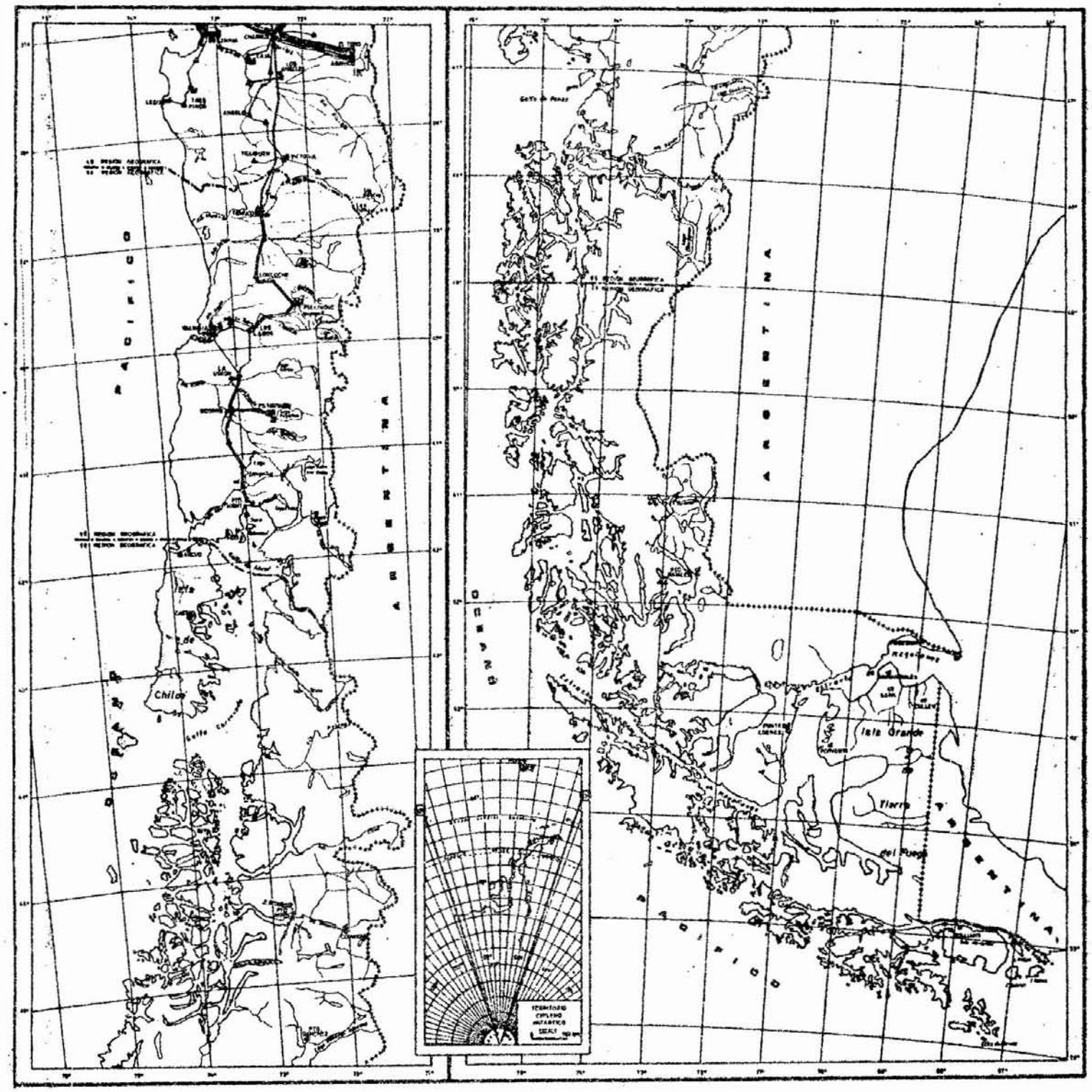

ENDESA
MAPA DEL DESARROLLO ELECTRICO
CHILE
1973
ESCALA
ARICA
IQUIQUE
TOCOPILLA
CHUQUICAMATA
ANTOFAGASTA
CHAÑARAL
CALDERA
VALPARAISO
SANTIAGO
CONCEPCION
PERU
BOLIVIA
ARGENTINA

FIGURA Nº 3



Este análisis, además de reflejar la composición y nivel de la actividad económica, sirve de base al método sectorial de previsiones que se detalla en el punto 4.2.

En la Tabla se indica la energía eléctrica total consumida en el país por sectores de consumo y para los años 1960, 1970 y 1972.

Tabla 4

Distribución Sectorial del Consumo de Energía Eléctrica

	1960		1970		1972	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Cobre	1.380	30,1	1.808	23,9	2.122	23,8
Papel	256	5,6	607	8,0	609	6,8
Salitre	302	6,6	285	3,8	321	3,6
Siderurgia	152	3,3	226	3,0	257	2,9
Cemento	128	2,8	190	2,5	192	2,1
Petróleo	32	0,7	100	1,3	132	1,5
Carbón	80	1,7	105	1,4	118	1,3
Azúcar	30	0,7	59	0,8	55	0,6
Hierro	24	0,5	40	0,5	42	0,5
Varias	654	14,2	1.167	15,5	1.468	16,4
Total Industria y Minería	3.038	66,2	4.587	60,7	5.316	59,5
Residencial	473	10,3	892	11,8	1.198	13,4
Comercial	185	4,0	366	4,9	408	4,6
Fiscal y Municip.	170	3,7	297	3,9	360	4,0
Transporte	128	2,8	202	2,7	232	2,6
Rural y Riego	80	1,7	211	2,8	223	2,5
Alumbrado Público	83	1,8	183	2,4	221	2,5
Cons. Propios y Pér.	435	9,5	813	10,8	978	10,9
T O T A L	4.592	100,0	7.551	100,0	8.936	100,0

Las cifras de la Tabla anterior muestran las variaciones relativas de cada sector y actividad con respecto al consumo total del país. Las más significativas corresponden al Cobre, cuya participación muestra una disminución de 6,3% entre 1960 y 1972. La industria del salitre, que en 1960 ocupaba el segundo lugar dentro del sector industrial y minero, ha cedido en importancia frente a la industria del papel.

El total del sector industrial y minero también ha reducido su importancia. Esto se debe a una mayor participación de los sectores residencial, comercial, rural-riego y alumbrado público. Estas variaciones relativas se pueden interpretar como un mejoramiento general de las condiciones de vida, lo que también puede visualizarse a través del aumento experimentado por el rubro de industrias varias en donde se agrupan principalmente las industrias productoras de bienes de consumo.

Por otra parte, el brusco aumento experimentado por el sector residencial entre 1970 y 1972 se explica por el aumento habido en el número de consumidores y por la fijación de tarifas artificialmente reducidas.

3.3. MODULACION DE LAS DEMANDAS

Las demandas totales de energía no son uniformes a lo largo del tiempo, sino, como es lógico, varían de acuerdo a condiciones ajenas al consumo, relacionadas principalmente con la organización de actividades de la sociedad y con las condiciones climáticas.

Así por ejemplo en el Sistema Interconectado durante el invierno, debido a las bajas temperaturas y menor número de horas con luz solar, las demandas de energía y potencia alcanzan su máximo anual, mientras que en verano, con las condiciones climáticas opuestas y por ser la época de vacaciones, estas demandas alcanzan su mínimo.

Lo anterior permite definir la llamada "variación estacional de los consumos", que corresponde a una fluctuación cíclica cuyo período es de un año y que se muestra en el cuadro siguiente, donde se ha tomado como referencia el consumo más bajo, que corresponde a febrero.

Tabla 5

Variación estacional de los consumos

ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC
1.10	1.00	1.18	1.18	1.29	1.35	1.41	1.36	1.25	1.28	1.21	1.21

Los valores indicados en el cuadro anterior suponen una tasa de crecimiento de los consumos del 8% anual.

Dentro de la misma semana también existen variaciones cíclicas en las demandas de energía , debidas fundamentalmente a la diferencia de consumo entre los días de trabajo y los días de descanso. Si se consideran como días normales de trabajo los días martes, miércoles, jueves y viernes, y se promedian sus consumos, se obtiene el indicador llamado "día medio de trabajo" (DMT), que es característico de cada mes de acuerdo a la variación estacional ya descrita.

Los días que no están considerados en este indicador tienen un consumo menor. Si se asigna el valor 1 (uno) al consumo del día medio de trabajo de cada mes, resulta que el día Lunes presenta un consumo del orden de 0.95, los días Sábado 0.92 y los días Domingo y Festivo 0.74.

Hemos visto que existe una variación periódica dentro del año llamada variación estacional a la que se superpone una variación también periódica dentro de la semana. A lo largo del día también existe una variación periódica que se superpone a las otras dos anteriores com-

pletando la variabilidad del consumo eléctrico.

En efecto, como es fácil suponer, durante el día la demanda eléctrica varía en función del ritmo de actividad de los consumidores (horas de trabajo) y de la disponibilidad de luz natural. Esto se traduce en que las horas de menor demanda correspondan a las horas de la madrugada y las horas de demanda máxima ocurren después del atardecer (entre las 21 y las 23 horas, dependiendo de la época del año).

Esta variación dentro del día se resume en un gráfico llamado "curva de carga" de los consumos, en el que se expresan las demandas medias horarias como porcentaje de la demanda media horaria máxima.

Las curvas de carga típicas deben calcularse para cada mes y cada día típico, ya que como hemos visto están superpuestas la variación estacional y la semanal. Como ejemplo se incluye a continuación la curva de carga típica de un día medio de trabajo para los meses de Mayo, Junio y Julio que se han agrupado por ser de características similares.

Todos los antecedentes aquí mostrados corresponden a las características de los consumos del Sis-

tema Interconectado pero son válidos cualitativamente para todos los consumos de Servicio Público. Los autoproductores tienen obviamente características diferentes determinadas principalmente por su producción.

3.4. CRECIMIENTO DE LAS DEMANDAS DE ENERGIA ELECTRICA

Una de las principales características del sector eléctrico reside en el alto y sostenido crecimiento de sus consumos. En efecto, a nivel internacional las tasas de crecimiento acumulativo anual van de un 7% a 12%, como rango normal (Ver Tabla 6). Esto significa que los países deben duplicar su capacidad de producción eléctrica existente en períodos que oscilan entre los 6 y 10 años.

Tabla 6

Consumos brutos de energía eléctrica ✱

Región	Consumos eléctricos (millones de kWh)		Tasa media anual
	1953	1968	%
Africa	20.600	74.000	8.9
América del Nor.	595.300	1.653.400	7.0
América del Sur	25.400	90.300	8.8
Asia	85.200	463.000	11.9
Europa	387.000	1.214.100	7.9
Oceanía	16.400	58.400	8.8
URSS	134.300	638.700	11.0
Mundo	1.264.100	4.191.900	8.3

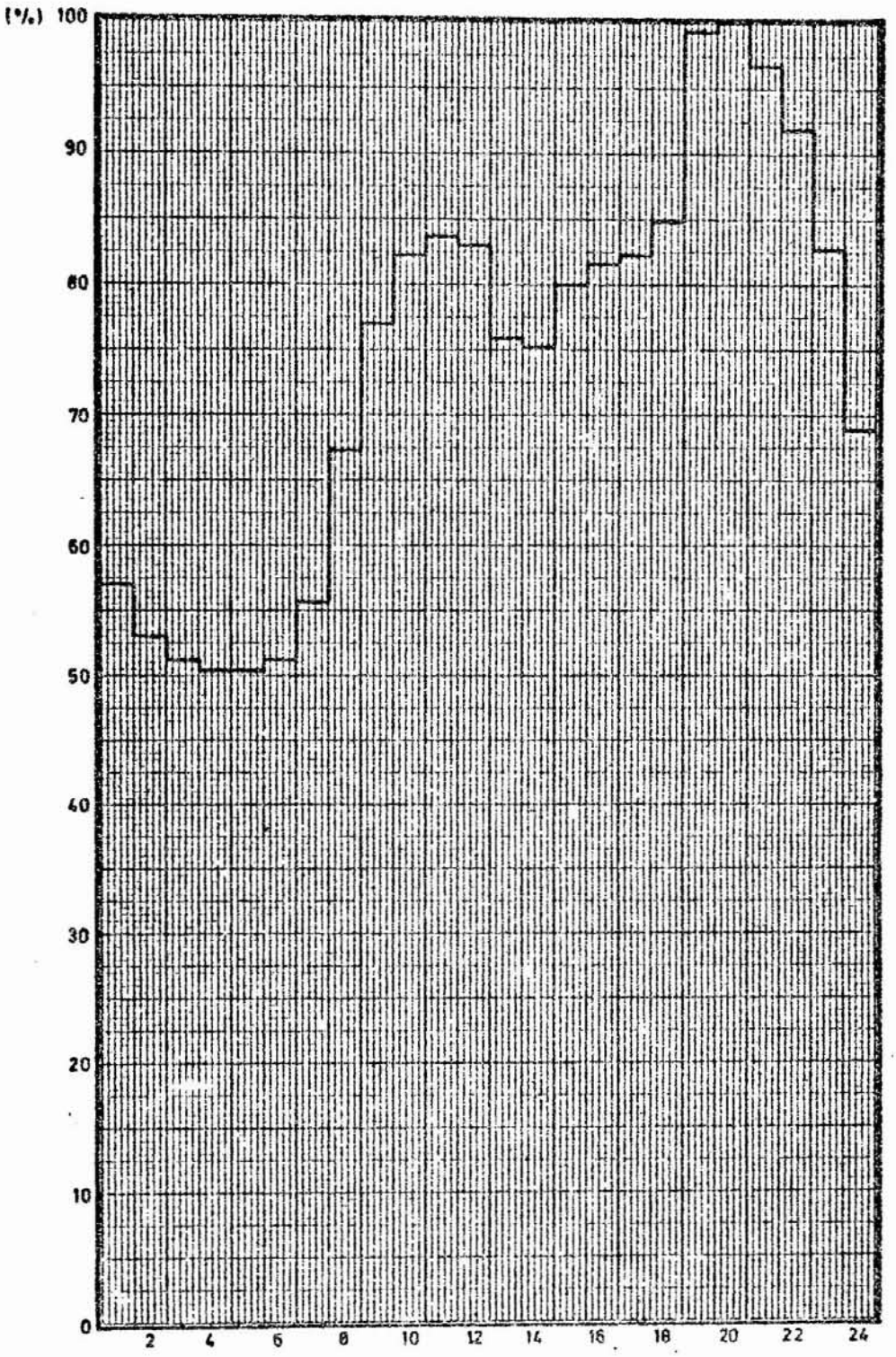
✱ Fuente: Statistical Yearbook, 1969 (N.U.)

FIGURA N° 4

SISTEMA INTERCONECTADO

CURVA DE CARGA - DIA MEDIO DE TRABAJO

MAYO JUNIO JULIO



Dado que las inversiones iniciales de las instalaciones de generación, transporte y distribución de energía eléctrica son muy elevadas, especialmente cuando los países buscan desarrollar sus recursos hidroeléctricos, las ampliaciones necesarias representan esfuerzos financieros de importancia para el país. En general, los estados invierten entre el 5% y el 10% de la Inversión Geográfica Bruta en el sector eléctrico. En el caso chileno, por ejemplo, la inversión en el sector eléctrico con respecto a la inversión geográfica bruta en capital fijo del país ha alcanzado a 7% en el período de 1964 a 1970.

Las inversiones de la ENDESA en el mismo período equivalen a un 6% de la inversión geográfica bruta, es decir, un 86% de la inversión total en el sector eléctrico.

En Chile, las tasas de crecimiento del consumo de energía eléctrica para el total del país han sido de 4,2% en el período 1940-1950, 4,6% entre 1950 y 1960 y 5,1% entre 1960 y 1970. Las tasas de crecimiento del consumo de Servicio Público para los mismos períodos han sido de 7,2%, 7,3% y 7,2% respectivamente.

Estas diferencias en las tasas de crecimiento del consumo total del país y del consumo de Servicio Público se explican por las menores tasas de crecimiento con que se desarrollan sectores de autoproductores que tienen gran incidencia en el consumo total del país, tales como la Gran Minería del Cobre y del Salitre. Sin embargo, cabe esperar un mejoramiento en esta situación una vez que se alcancen las metas contempladas en los planes de expansión de estas actividades.

4. METODOLOGIA PARA LA PREVISION DE LOS CONSUMOS DE ENERGIA ELECTRICA

Para determinar las futuras obras destinadas al abastecimiento de los consumos de energía eléctrica, es necesario conocer estos consumos anticipadamente y para un período de tiempo suficientemente largo.

Las previsiones para los estudios de planificación del suministro eléctrico se determinan para un período del orden de 20 años. Ellas se estudian por agregación (regiones geográficas) cuando se trata de sistemas muy extendidos, obteniéndose el consumo anual de energía y la demanda máxima horaria. La forma de variación mensual del consumo (modulación) se obtiene utilizando coefi-

cientes deducidos de análisis históricos, tal como se ha mencionado en 3.3.

La demanda de energía eléctrica estadísticamente presenta, al igual que la mayoría de las crónicas, características de tendencia, estacionalización y desviaciones aleatorias. En un modelo de tipo aditivo estos podrían representarse como:

$$E_t\ (t) = \bar{E}\ (t) + \sum_j S_j\ (t) + a\ (t), \quad \text{donde:}$$

E (t) es la energía demandada en la fecha t, $\bar{E}$ (t) es el valor de la tendencia, $\sum_j S_j$ (t) es la sumatoria de los efectos estacionales de diferentes amplitud y período que pudiesen coexistir y a (t) las desviaciones puntuales no previsibles provocadas por condiciones climáticas y coyunturales. En un modelo de tipo multiplicativo, como el que se ha elaborado en la ENDESA, esta situación podría representarse como:

$$E\ (t) = E\ (t) \prod_j S_j\ (t) \cdot e^{a\ (t)}, \quad \text{donde:}$$

$\prod$ es el operador de multiplicación. Este modelo tiene la ventaja de expresar que los factores estacionales dependen del nivel de la tendencia, hecho que es bastante real.

Los consumos eléctricos, que son un fiel reflejo de las características climáticas y de la organización de la sociedad, se desarrollan en ciclos completos dentro del año. Por ésto, los consumos anuales pueden expresarse sólo en función del valor de tendencia **y** de la componente aleatoria:

$$E(n) = E(n) \cdot e^{a(n)}$$

Los métodos de tipo determinístico utilizados por la ENDESA se pueden clasificar en dos categorías:

- Métodos de previsión globales
- Métodos de previsión sectoriales

Además se realizan previsiones de tipo probabilístico.

4.1. METODO DE PREVISION GLOBAL

Los métodos de Previsión Global están basados en correlaciones que se pueden comprobar estadísticamente entre los consumos eléctricos y ciertas variables macroeconómicas, por las razones expuestas en el punto 1.

El tipo de correlación que ha dado mejores resultados en nuestro caso, es una correlación múltiple entre el tiempo t y los logaritmos del consumo eléctrico E

y del índice de producción que se elija P; esta correlación está basada en la relación:

$$E = K\ P^{a}\ .\ e^{bt}\quad ,\ \text{donde}$$

K, a y b con las constantes a determinar. Si se deriva esta relación se obtiene la expresión:

$$gE = agP + b$$

que relaciona linealmente las tasas contínuas de crecimiento eléctrico (gE) y del producto (gP).

Con el objeto de mejorar las correlaciones se excluyen los sectores que provocan distorsiones importantes. Por ejemplo, si la correlación se efectúa considerando como variable macroeconómica el Producto Geográfico Bruto, se excluyen los consumos de la Gran Minería que representan un fuerte porcentaje de los consumos eléctricos del país (40% en 1960 y 30% actualmente) y en cambio contribuye sólo con el 10% al PGB.

El método de Previsiones Globales tiene **varias deficiencias**:

- reemplaza el problema de prever consumos eléctricos por otro tan o más difícil: prever desarrollo económico.
- no permite tener cifras regionalizadas.

- supone que la estructura y las relaciones históricas producción-consumo eléctrico se mantendría en el futuro.
- si no se excluyen sectores distorsionantes, las correlaciones resultantes no son buenas.

Las ventajas son su simplicidad y la posibilidad de encuadrar las espectativas, generalmente optimistas, del incremento de los consumos eléctricos, dentro de las posibilidades reales del desarrollo económico del país.

Es de acuerdo a esta última idea que la ENDESA utiliza este método, para comprobar que las cifras resultantes de estudios detallados de previsiones no sean excesivamente altas.

4.2. METODO DE PREVISIONES SECTORIALES

Este es el método que básicamente se utiliza en la ENDESA, considerándose que es más adecuado para países de baja diversidad productiva y en los cuales existen sectores económicos de importancia fundamental y que no siempre tienen una correspondencia cabal con su importancia como consumidores de energía eléctrica. Este es el caso de la Gran Minería, ya mencionado, y dentro del sector industrial, el caso del Papel y Celulosa que consume

cerca de un 25% de la energía eléctrica utilizada por el sector industrial mientras que su aporte al índice de producción industrial es solamente del 5%.

En los párrafos siguientes se describirá brevemente el tratamiento metodológico que se aplica a los sectores consumidores de mayor importancia relativa.

Dentro del sector Industrial, que como se ha dicho es el más importante, se analiza separadamente el comportamiento de los subsectores Celulosa-Papel, Acero, Cemento, Electrometalurgia y Petroquímica. Para el caso de las industrias de mayor consumo específico (razón entre el consumo eléctrico y la producción física) es necesario analizar no solamente los consumos y producción sino además las distintas etapas productivas y la tecnología empleada en ellas. De este modo, la previsión de consumos eléctricos se basa tanto en los planes de producción de dichas industrias como en los cambios tecnológicos que se preven. El estudio de las industrias de bajo consumo específico y especialmente cuando tienen gran diversidad de producción, se aborda en forma global con correlaciones entre el consumo eléctrico y el valor bruto de su producción.

Los consumos del sector Residencial, el

segundo en importancia, se analizan tradicionalmente examinando en forma independiente el crecimiento del número de clientes de cada región y el desarrollo de su consumo específico medio (razón entre el consumo eléctrico anual y el número de clientes). El análisis es bastante difícil ya que por una parte el crecimiento del número de clientes se vé afectado por expansiones demográficas, electrificación de zonas marginales, criterio de empalmes, políticas habitacionales, etc., y por otro lado, el consumo específico es influenciado por la variación del ingreso per cápita, la tarificación eléctrica y electro-domésticos, etc.

Las previsiones de consumo del sector comercial se basan en las cifras del sector residencial. En efecto, se ha comprobado que hay una relación satisfactoria entre la razón del número de clientes y del consumo específico de ambos sectores.

El sector Alumbrado Público, que tiene una importancia muy pequeña, se analiza a través de la evolución de su consumo específico definido como la razón entre el consumo anual y el total de clientes residenciales y comerciales. Se supone que localidades menos desarrolla

das van a alcanzar en el futuro consumos específicos del orden que actualmente tienen localidades de mayor desarrollo.

Los consumos futuros del sector Fiscal y Municipal se estiman normalmente mediante simple extrapolación de las tendencias históricas.

En los otros sectores, los consumos eléctricos de la Minería (dependientes del servicio público) se determinan a partir de los programas específicos que entregan las empresas, el consumo de Transporte de acuerdo a los programas de electrificación de los FF. del E. y a la tendencia que muestra la ETC. del E.

El método de Previsiones Sectoriales, si se emplea cuidadosamente da indudablemente mejores resultados que las técnicas globales y permite llegar a previsiones regionales detalladas que pueden fácilmente ser verificadas y actualizadas en forma parcial. Además, y como subproducto, proporciona un conocimiento cabal de la estructura de los principales consumidores de energía eléctrica.

Conviene, sin embargo, mencionar algunas de las principales desventajas del método. En primer lugar, se requiere tiempo y personal para recopilar la in-

formación estadística, realizar las visitas y prospeccio- de los principales consumidores y digerir e interpretar los antecedentes disponibles. En segundo término, dá como resultado valores generalmente estimados por exceso, que corresponde al optimismo de las metas programadas por las instituciones. De aquí la necesidad de confrontar estas cifras con valores obtenidos de métodos globales.

4.3. METODO PROBABILISTICO

Hemos dicho que el consumo anual de energía eléctrica puede expresarse como una función del tiempo y de una variable aleatoria.

Es necesario conocer, para algunos estudios, la probabilidad de que la demanda futura efectiva alcance un valor determinado, o esté comprendida en cierto rango. Es el caso de la determinación de la fecha de instalaciones futuras o su tamaño.

Como relación consumo-tiempo se considera una función exponencial y se acepta que las divergencias de los consumos efectivos respecto a dicha función tienen, en términos logarítmicos, una distribución gaussiana.

Con esta base se estudia la desviación

estadística que presentan los valores previstos a partir de un ajuste hecho a una serie estadística real con respecto a los valores efectivamente registrados. En este análisis se hace variar tanto el período estadístico a partir del cual se ha hecho el ajuste como el año futuro en el cual se confrontan la extrapolación con la realidad.

Se llega así a determinar cuál es el mejor período estadístico para definir la tendencia a largo plazo y las desviaciones standard con respecto a la tendencia en cada año futuro.

La tasa de crecimiento medio para la zona del Sistema Interconectado es de 6.2% acumulativo anual y la dispersión para previsiones hechas a 10 años plazo es de ± 8.4%, rango en torno al cual caerían el 68% de los valores estadísticos.

5. PREVISIONES DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

Aplicando la metodología resumida en el punto 4. para cada uno de los sistemas eléctricos que existen en las distintas zonas del país, se han preparado las previsiones de consumo bruto de energía eléctrica de Servicio Público que se presentan en la Tabla 7.

T A B L A 7

NECESIDADES DE ENERGIA Y POTENCIA ELECTRICA DE SERVICIO PUBLICO EN LOS DISTINTOS SISTEMAS DEL PAIS

(Incluye pérdidas de transmisión y distribución)

SISTEMA		1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
1.Arica-Iquique	Energía GWh	173.8	184.8	195.3	205.3	217.3	229.3	244.3	256.3	271.3
	D.Máx.MW	33.7	35.5	37.7	39.8	42.3	44.7	47.9	50.4	53.5
2.Antofagasta	Energía GWh	86.0	101.1	120.8	135.4	145.4	156.8	167.1	174.6	182.4
	D.Máx. MW	18.7	20.9	25.4	27.1	28.8	30.1	31.1	32.2	33.3
3.Huasco	Energía GWh	124.2	129.2	278.9	407.4	431.3	445.3	463.0	479.4	497.8
	D.Máx. MW	26.4	28.2	68.3	75.3	78.5	81.9	86.5	90.4	94.6
4.Sistema Interconectado	Energía GWh	6.958	7.540	8.152	8.814	9.529	10.303	11.140	12.030	13.000
	D.Máx. MW	1.300	1.410	1.525	1.650	1.780	1.928	2.080	2.250	2.430
5.Aisén	Energía GWh	13.7	15.4	16.9	18.6	20.4	22.5	24.7	27.2	30.0
	D.Máx. MW	4.1	4.6	4.9	5.4	6.0	6.6	7.1	8.0	8.8
6.Punta Arenas	Energía GWh	39.5	43.3	47.4	52.0	57.0	62.5	68.5	75.1	82.4
	D.Máx. MW	10.7	11.5	12.3	13.2	14.5	15.2	16.3	17.5	18.8

NOTA: Existen varios consumos menores no considerados, abastecidos por ENDESA con grupos pequeños o comprando energía a autoproductores: Tocopilla, Calama, **Taltal, Puerto Natales, Chile Chico y otras** menores.

Estas cifras presentan una tasa de crecimiento anual para el total del Servicio Público del país de 8.6% en el período 1974-1980. Si se considera el total de energía del país, incluyendo la generación de bs autoproductores, se llega a una tasa de crecimiento de 6,8% para el mismo período.

Si supusiéramos que el total del consumo de Servicio Público previsto para 1980 (12.107,6 millones de kWh) fuera abastecido por centrales térmicas a vapor utilizando petróleo pesado, se necesitarían 2,7 millones de toneladas de petróleo combustible.

Las cifras mostradas en la Tabla 7 son el resultado de la aplicación de una metodología determinística y por lo tanto no dan una noción de la magnitud de las variaciones que ellas pueden experimentar como resultado de factores no previsibles.

En efecto, existiendo una estrecha relación entre el consumo de energía eléctrica y el nivel de actividad económica del país, toda variación en esta actividad se refleja en los consumos y por lo tanto la previsión se verá afectada. En forma similar, el atraso de proyectos industriales importantes y la aparición de otros no

contemplados anteriormente llevan a desviaciones en los valores de consumo previstos.

Como ejemplo de la forma en que la coyuntura económica afecta al consumo de energía eléctrica se puede citar el caso del año 1971, en que el crecimiento del consumo de Servicio Público en el Sistema Interconectado fue de 16,1% con respecto a 1970. Parte de este crecimiento estaba previsto por la incorporación de nuevos consumos del cobre y la petroquímica. El resto fue debido al aumento de producción industrial imprevisible con anticipación. En cambio en 1973 hubo un decrecimiento de 0,5% del consumo de Servicio Público del Sistema Interconectado con respecto a 1972 como consecuencia de la baja de producción industrial.

Por otra parte, variaciones en la política tarifaria de la energía eléctrica puede incentivar o desalentar el consumo por parte de sectores importantes como el sector residencial.

El consumo presenta pues un carácter aleatorio. Esta característica ha sido analizada para los consumos de la zona del Sistema Interconectado. En base a la previsión resultante de un análisis de tendencia, se ha

llegado a determinar la distribución probable de los consumos en torno al valor esperado de la tendencia histórica.

Esta tendencia significa una tasa de crecimiento anual para el consumo total del Sistema Interconectado (Servicio Público y Autoproductores) de 6,2%. La dispersión es variable según el horizonte de la previsión. A dos años, la dispersión es de 4,7%, es decir, existe una probabilidad de 68% de que el consumo esté comprendido en el rango $\pm$ 4,7% en torno al valor de la tendencia. A cinco años, la probabilidad de 68% estaría comprendida en el rango de $\pm$ 7,6% en torno al valor de la tendencia.

REFERENCIAS

- "Método de selección de inversiones en el sector eléctrico chileno". Hernán Campero.
- Informes de la Oficina de Planificación de la ENDESA.

AUTORES

El presente trabajo ha sido elaborado por los señores:

Carlos Cabezas S.

Guillermo Espinoza I.

Germán Guerrero F. y

Esteban Skoknić C.