

# La energía nuclear en España y su relación con la hidráulica

Por FRANCISCO JAVIER GOICOLEA ZABA  
Ingeniero de Caminos del Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas.

El desarrollo económico de un país está muy ligado al suministro y consumo de energía. Sería deseable el poder relacionar, mediante fórmulas matemáticas, los índices económicos, tales como el índice de producción industrial, la renta nacional por habitante, etc., con los del consumo de energía. Es difícil la obtención de correlaciones válidas, pero su importancia es patente, ya que, una vez supuesto un determinado desarrollo económico, nos darían inmediatamente las cifras del consumo eléctrico.

Es muy representativa del desarrollo de un país la cifra del consumo de energía eléctrica por habitante y año, así como el valor de su incremento anual.

El Consejero económico de Energía Atómica del Reino Unido, J. A. Jukes, presentó un trabajo a la Conferencia Internacional sobre "La Ciencia en el progreso de los nuevos Estados", que contenía el gráfico de la figura 1.º, representando a cada país en un curioso sistema de coordenadas, en el cual las ordenadas eran los consumos por habitante en 1958, y las abscisas, los aumentos experimentados por los consumos en 1958 con respecto a 1948.

En este dibujo los países situados en las cercanías del eje de ordenadas tienen un crecimiento del consumo relativamente bajo. Son los países de muy elevado consumo por habitante, en los que resulta difícil un aumento de su industria y de su nivel de vida, o países con industria en formación. En el gráfico se aprecian dos rectas paralelas a cada uno de los ejes. La línea vertical de puntos corresponde a la abscisa 100 por 100, y equivale a doblar el consumo cada diez años. La línea horizontal tiene de ordenada 2 Kwh./habitante día.

Se han señalado estas dos líneas porque en su intersección se halla situada la media mundial.

España se encuentra por debajo del consumo medio mundial, pero su índice de crecimiento es del 150 por 100 en la década citada, haciendo presentir un porvenir esperanzador.

La línea de flechas que se ve en el gráfico indica el proceso normal del desenvolvimiento de un país.

## Crecimiento del mercado eléctrico en España.

En los últimos años se han publicado varios estudios tratando de obtener cifras, en lo posible correctas, de la demanda futura de energía en España. Estos estudios han sido realizados por el Ministerio de Industria, TECNATOM y los Sres. Molina y Pascual en la ponencia V/13 presentada en la Conferencia Mundial de la Energía en su reunión de Madrid en 1960.

Ajustando curvas exponenciales a la evolución de la demanda de energía eléctrica, se obtienen índices de crecimiento que oscilan entre el 7 y el 10 por 100 anual. La comparación de los valores obtenidos por dicho método, con la probable evolución económica de España y con la experiencia de lo ocurrido en otras naciones extranjeras, aconseja la adopción de un índice de crecimiento anual probable del 8,3 por 100. La aplicación de este coeficiente da origen a los valores del consumo que figuran en la tabla siguiente y en la figura 2.º.

Año . . . . .	1962	1965	1970	1975	1980
Consumo en millones de Kwh . . .	21 353	27 352	40 647	59 111	84 395

De las publicaciones oficiales de los Ministerios de Industria y Obras Públicas, así como de las de U.N.E.S.A., se deducen los valores de la potencia actualmente en construcción y proyecto, que son 4.650 Mw. de origen hidráulico y 1.390 de origen térmico.

La ley de crecimiento exponencial de la potencia tiene un índice muy próximo al 9 por 100. Suponiendo que esta cifra se mantenga hasta llegar al agotamiento de las reservas hidráulicas, supuesto en 1980, tendríamos en los años futuros las potencias hidráulica y térmica que figuran en la tabla siguiente:

1970			1975			1980		
Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total'
989 000	2 987 100	12 877 100	13 187 100	2 987 100	16 174 661	15 000	2 987 100	17 987 100

La previsión de la producción hidráulica en años secos y medios da origen a las siguientes cifras del consumo en millones de Kwh.:

1970		1975		1980	
Seco	Medio	Seco	Medio	Seco	Medio
22 252	30 659	29 672	40 881	33 750	46 500

Las horas de utilización estimadas para este período son: 3 100 horas en año medio y 2 250 en año seco. La capacidad del sistema español para hacer frente a las puntas del diagrama de carga se ha estimado empleando unos coeficientes de disponibilidad de las centrales hidráulicas y térmicas, cuyo valor es, respectivamente, 0,53 y 0,80, correspondiendo el primero a un año hidráulicamente seco. Los déficits de potencia previstos son los siguientes:

Año . . . . .	1970	1975	1980
Mw. . . . .	20	1 143	4 932

El estudio anterior indica la conveniencia de disponer entre 1968 y 1970 de una central adicional de 300 Mw. Esta central y las siguientes, si se confirman nuestras previsiones, deben ser nucleares.

La potencia nuclear necesaria en 1975 para cubrir los déficits calculados es de 1 800 Mw., potencia que en 1980 deberá ser de 4 800 Mw.

### Centrales nucleares.

En el mundo, y también en España, se ha enfriado un poco el entusiasmo existente hace unos años sobre las inmediatas posibilidades de la energía nuclear. Esto no significa que ahora se desestime ésta, sino que la realización práctica de los proyectos ha hecho tomar contacto con la realidad y apreciar las verdaderas dificultades existentes para la construcción y buen funcionamiento de las centrales nucleares. El optimismo respecto a las mismas persiste, pero la fecha en que puedan entrar en servicio en condiciones de competir económicamente con las centrales térmicas clásicas, se considera hoy más remota. La opinión más compartida es que esta fecha estará comprendida entre los años 1970 y 1980, dependiendo del optimismo o pesimismo de la persona que hace la previsión. Otra razón para el retraso de la puesta en servicio de las centrales nucleares es que los trabajos y esfuerzos realizados en los últimos años han dado lugar a la evaluación de unas reservas energéticas económicamente explotables, fósiles e hidráulicas, superiores a las inicialmente previstas.

Los costes de la energía nuclear tienen una tendencia rápida a la disminución. Esto se debe a los nuevos avances técnicos, al mejor aprovechamiento del combustible en los reactores y a la desaparición de aquellas incógnitas que hicieron tomar precauciones exageradas en los

circuitos y sistemas de la central. Los costes de la energía producida por medios clásicos son susceptibles de menores disminuciones, debido a que su tecnología se halla ya muy desarrollada.

Por lo tanto, es de prever que en un futuro no lejano los costes de la energía nuclear se igualen e incluso desciendan por debajo de los de la energía térmica clásica. Esto queda reflejado en el gráfico de la figura 3," publicada en la ponencia V/13 a la que antes nos referimos.

### Potencial español.

El potencial español en energía hidráulica ha sido estudiado por Redonet, Cattáneo, Uriarte y U.N.E.S.A. Según el estudio realizado por U.N.E.S.A., el potencial neto español es de 16,5 millones de Kw., que expresados en energía dan un potencial neto de 40 000 millones de Kwh. en año seco.

El ritmo de desarrollo de las construcciones hidráulicas hace prever el agotamiento de las reservas entre los años 1975 y 1980.

España es un país en que los combustibles líquidos o sólidos son escasos y caros, bien sean de procedencia nacional o importados, siendo limitadas las posibilidades de su empleo.

Por las razones que hemos expuesto, a las que hay que unir las que diremos a continuación sobre las posibilidades para el desarrollo de la energía nuclear en España, tiene gran interés la consideración de la energía nuclear como posible solución de los problemas que el suministro de energía ha de plantear en el futuro.

### Repercusión de las centrales nucleares.

Las centrales nucleares tienen unos costes de instalación por kilowatio considerablemente superiores a los de las centrales térmicas clásicas. Este mayor coste de las centrales nucleares se mantendrá también en el futuro, puesto que, además de los gastos correspondientes a una central térmica clásica, se tienen los que corresponden a la protección contra la radiación y a las disposiciones de seguridad necesarias.

Por ello, es muy importante lograr que los costes por kilowatio de la central nuclear sean tan bajos como sea posible.

Los costes por kilowatio instalado varían con la potencia de la central según la figura 4." Hay una tendencia clara de disminución de los costes con el aumento de potencia mucho más marcada que en las centrales clásicas.

Por estas razones se tiende al proyecto y construcción de centrales nucleares muy grandes, del orden de los 250 Mw. o más.

La ventaja de las centrales nucleares estriba en que el coste de combustible puede llegar a ser muy inferior al que corresponde a una central térmica clásica.

Estos hechos tienen una consecuencia inmediata. Para que la energía de origen nuclear pueda competir en el mercado, las centrales deben de tener una utilización muy elevada, que es del orden de las 7 000 horas anuales, único medio a nuestra disposición para que los costes debidos a las cargas financieras sean pequeños. Vemos en la figura 5." cómo influyen las cargas de capital y el factor de utilización en el coste del Kwh. de las centrales nu-

cleares. Consecuencia de todo esto es que las centrales nucleares han de satisfacer a las dos condiciones siguientes:

- a) *Gran potencia por unidad.*
- b) *Elevado factor de utilización.*

Las dos condiciones anteriores repercuten en forma notable sobre la explotación del sistema eléctrico en el que las centrales nucleares vayan a estar incluidas.

El régimen más favorable de explotación es aquel en que las centrales nucleares y las hidráulicas de agua fluente cubren la base del diagrama de carga con un régimen de funcionamiento prácticamente constante. La energía hidráulica regulada cubre la parte superior del diagrama, y la térmica clásica, la parte intermedia.

Este régimen de explotación tiene como consecuencia que las centrales hidráulicas reguladas deben estar sobreequipadas para poder afrontar las puntas del sistema del diagrama de carga y que las centrales térmicas clásicas tendrán unas horas de utilización variables según se trate de año hidráulicamente seco o no.

Hay que estudiar cuidadosamente el diagrama de carga de la red que se considera, para ver si admite el funcionamiento de una gran central nuclear en régimen continuo, de manera que no haya exceso de energía en las horas de carga pequeña.

La energía sobrante en las zonas de los valles tiene una muy interesante aplicación mediante la construcción de centrales de bombeo que aprovechen la energía disponible a poco coste en las horas de bajo consumo para elevar agua a embalses reguladores, en los que puede ser utilizada para suministrar energía en las horas de punta.

### **Posibilidades nucleares de España.**

El desarrollo de la energía nuclear en España está encomendado a la Junta de Energía Nuclear (J.E.N.).

Los planes de la J.E.N. tienen como objeto la creación de una industria nuclear en España. Esta industria puede desarrollarse partiendo de los hechos siguientes:

- a) Existencia de yacimientos de uranio en España.
- b) Experiencia acumulada en diez años de funcionamiento de las fábricas piloto de concentración de mineral y de metalurgia del uranio en Madrid.
- c) Construcción y funcionamiento desde 1960 de la fábrica de concentración de uranio en Andújar, capaz para 200 toneladas de mineral por día, propiedad de la J.E.N.
- d) Vigoroso programa de investigación y puesta a punto de instalaciones en los talleres y laboratorios del Centro de Investigaciones Juan Vigón que la J.E.N. tiene en Madrid, en los cuales se están fabricando actualmente los elementos combustibles para dos reactores del tipo Argonaut totalmente contruidos en dicho Centro de Investigaciones. Se espera esté en condiciones de poder fabricar los elementos combustibles necesarios para los reactores que se vayan a construir en España.
- e) La experiencia adquirida por la J.E.N. con el funcionamiento de un reactor experimental de 3 000 Kw. de potencia del tipo piscina.

El programa arriba expuesto para la fabricación de elementos combustibles necesita, para llevarse a término, de una máquina de ensayos adecuada. Por ello es por lo que la J.E.N. ha realizado, en colaboración con Atomic International y Bechtel Corporation, el proyecto

preliminar de un reactor adecuado para dicho uso. Se ha pensado también en la utilización de dicho reactor como un prototipo de reactores de potencia que permitiera el empleo del combustible nuclear nacional y ofreciera las máximas oportunidades de participación a la industria española. El reactor, proyectado para una potencia de 30 000 Kw., está moderado por agua pesada, refrigerado por Santowax R (mezcla comercial de polifenilos) y su combustible consiste en haces de 19 barras de carburo de uranio (UC) en tubos de SAP (Sintered Aluminium Powder).

Este reactor necesita solamente un pequeño número de elementos combustibles de uranio enriquecido, siendo el enriquecimiento medio total en el isótopo 235 igual a 0,89 por 100.

El empleo de un líquido orgánico, tal como el Santowax R, se basa en una serie de razones, entre las cuales están las siguientes:

- a) Baja presión del vapor a temperaturas elevadas.
- b) Poca actividad química respecto a los materiales con los que está en contacto.
- c) Escasa actividad radiactiva después de ser sometidos a irradiación.

Las anteriores razones permiten el empleo de tuberías, válvulas, bombas, etc., muy similares a las empleadas en la tradicional industria del petróleo.

El circuito del reactor produce vapor supercalentado, de condiciones favorables para obtener un buen rendimiento en la turbina.

La central turbogeneradora no ofrece particularidades distintivas que merezcan señalarse.

Las características del reactor pueden verse en el cuadro número 1 y en la figura 6.<sup>a</sup>.

CUADRO NÚM. 1. — *Características del reactor.*

Potencia total de fisión (Mw.) .....	110
Potencia térmica en el refrigerante (Mw.) .....	102
Potencia perdida en el moderador D <sub>2</sub> O (Mw.) .....	8
Temperatura de entrada del refrigerante orgánico (°C.) .....	288
Temperatura de salida del refrigerante orgánico (°C.) .....	344
Caudal de orgánico a través del núcleo (b./sec.) .....	970
Número de circuitos de refrigeración .....	2
Número de elementos combustibles de carburo de U natural .....	96
Número de barras combustibles por elemento... ..	19
UC por elemento natural (Kg.) .....	112,47
U por elemento natural (Kg.) .....	107,06
Número de elementos combustibles enriquecidos. ..	30
U <sup>235</sup> por elemento combustible (gm.) .....	1,357
Enriquecimiento del uranio en el isótopo-235 (por ciento) .....	1,6
UC por elemento combustible enriquecido (Kg.) ..	90,24
Longitud activa del núcleo del reactor .....	3,3
Diámetro del círculo equivalente .....	2,85
Diámetro del tanque .....	3,4
Inventario total de D <sub>2</sub> O (Kg.) .....	37,200

### Características del sistema generador de vapor.

Presión a la salida del supercalentador (kilogramos/cm. <sup>2</sup> ) .....	61,5
Temperatura a la salida del supercalentador (grados centígrados) .....	321
Presión en la caldera (Kg./cm. <sup>2</sup> ) .....	62,9
Temperatura del agua de alimentación a la caldera (°C.) .....	266
Presión a la entrada del economizador (kilogramos/cm. <sup>2</sup> ) .....	64,0
Temperatura del agua de alimentación a la entrada del economizador (°C.) .....	191
Flujo máximo de vapor (Kg./h.) .....	167,790
Temperatura del agua de refrigeración (°C.)...	20

### Emplazamientos.

Se han estudiado dos emplazamientos para este reactor. El primero está a las orillas del río Alberche, aguas abajo de la presa y central de las Picadas, propiedad de Unión Eléctrica Madrileña. El agua de refrigeración está asegurada por la serie de embalses reguladores existentes aguas arriba en el río Alberche; la energía eléctrica sería absorbida en el parque de alta tensión de la central de las Picadas, siendo innecesaria la construcción de líneas de transporte de energía (véase la fig. 7.<sup>a</sup>). El segundo emplazamiento está en la central térmica de Málaga, propiedad del Instituto Nacional de Industria (I.N.I.). Esta central consta de un grupo turbogenerador de 30 000 Kw. Está prevista su ampliación mediante la adición de otros dos grupos de 30 000 Kw., uno de los cuales puede ser nuclear. El agua de refrigeración se toma del mar Mediterráneo.

Este emplazamiento ofrece el inconveniente de su cercanía a la ciudad de Málaga.

La fecha de puesta en marcha prevista para esta central es la de 1965.

El Instituto Nacional de Industria (I.N.I.) ha colaborado intensamente con la J.E.N. en el proyecto del reactor anterior. Mantiene un departamento de energía nuclear y colabora en los proyectos desarrollados por las compañías English Electric y Electricité de France. Tiene planes de instalación de centrales nucleares en España en un plazo no inmediato, ya que juzgan prematuro el momento actual para comenzar la construcción de dichas centrales.

### Programas nucleares.

#### Región Norte.

En 1957 Iberduero, S. A., y Electra de Viesgo constituyeron la sociedad denominada Nuclenor, con objeto de construir y explotar centrales nucleares en su zona de actuación.

El mercado de estas compañías, abarca gran parte de la zona Norte de España. De toda esta región destaca la que podemos llamar Vasco-Cantábrica, que está comprendida en un semicírculo de 120 Km. de radio, con centro en Bilbao. Es una zona muy industrializada, con elevados consumos específicos, grandes índices de crecimiento y situada lejos de los recursos hidráulicos y carboníferos.

### PREVISIÓN DE LA DEMANDA.

Los estudios realizados en 1957 sobre el desarrollo del mercado, hubieron de ser modificados a causa del impacto de la estabilización económica española. Su influencia puede estimarse en un retraso de la demanda sobre los valores previstos de cuatro años.

El consumo del mercado conjunto de Iberduero y Viesgo, previsto en el año 1970, es de unos 9 000 millones de Kwh.

Se ha repartido el incremento del consumo de 1957 a 1970, entre los centros de carga, obteniéndose las cifras que se ven en la figura 8.<sup>a</sup>. En este año de 1970 la demanda de la zona Vasco-Cantábrica será de 5 566 millones de Kwh.

### NECESIDADES FUTURAS.

Las necesidades futuras se han calculado a partir de las cifras anteriores, teniendo en cuenta el importante programa de construcción que tanto Iberduero como Viesgo están llevando a cabo, el cual hará pasar la potencia instalada, que en 1958 era del orden del millón de Kw., hasta la cifra de 2 150 000 Kw. en el año 1966. En estas instalaciones van incluidas las centrales térmicas de Mieres y Guardo y otras dos que estarán situadas en el litoral.

El déficit previsto para el año 1970 es de unos 1 200 millones de Kwh., supuesto hidráulicamente seco.

### SOLUCIÓN NUCLEAR.

La importancia de las cifras de incremento de consumo en la región Vasco-Cantábrica, justifica por sí sola la instalación de una central nuclear de 250 Mw. Esta central podría tener una utilización de 5 000 horas en el mismo año de su puesta en marcha y 7 000 horas o más, en los siguientes.

La solución nuclear viene indicada por las razones que expusimos con anterioridad, y por las que proceden de las características de la región particular que estamos considerando, tales como su alejamiento de las instalaciones generadoras y falta de recursos propios. El tamaño de la central se ha fijado por tres razones, que son: el volumen de la demanda, la conveniencia de que funcione la central con un factor de utilización del 80 por 100 y las consideraciones económicas, que orientan hacia grandes centrales.

### COORDINACIÓN.

La coordinación de la central nuclear con las térmicas e hidráulicas, tanto de energía fluyente como regulada, se aprecia en los diagramas 9 y 10. Destaca la gran importancia de la energía hidráulica regulada, que cubre por sí sola la mitad del consumo. A partir de julio de 1970 la central nuclear puede trabajar a plena carga. De febrero a mayo del año 1971 se ve que la central nuclear trabaja a carga menor, ya que es la época de aguas altas. Se aprovechará este período de tiempo, cada año, para realizar las revisiones oportunas.

La energía hidráulica, mas la nuclear, no bastan para

satisfacer la demanda. La diferencia viene cubierta por la energía producida en centrales térmicas de combustible fósil. Las horas de utilización de estas centrales en los años 1970 y 1971 son 3 400 y 2 500, en año medio hidráulico, y 7 300 y 6 400 en año seco, cifras éstas muy elevadas.

Se han estudiado también las curvas para cuando en España se consuman  $90\ 000 \times 10^6$  Kwh., es decir, aproximadamente en 1980. Se ha supuesto que se dispone, de acuerdo con los planes oficiales, de una potencia térmica de 3 000 Mw. y una nuclear de 6 000 Mw. Tendremos en este caso unos gráficos como los de las figuras 11 y 12, en que la energía nuclear es aproximadamente el 50 por 100 del total, manteniendo utilizaciones de 7 000 horas. Las centrales térmicas funcionarán 1 300 horas en año medio y 6 000 en año seco.

Veamos ahora si la central nuclear puede coordinarse con las demás dentro del diagrama diario de carga.

Se han representado estos diagramas en las hipótesis de año medio y seco, correspondiendo a un día medio de agosto y de enero (figs. 12 a y 12 b).

En el caso de año medio las centrales nucleares pueden trabajar a plena carga sin interrupción.

En cambio, en año seco, durante las horas de madrugada, se produce un exceso de energía. Este exceso puede utilizarse, manteniendo así la utilización continua de las centrales nucleares, para bombear agua en los embalses reguladores. Está en estudio este sistema de explotación con bombeo, que ofrece posibilidades muy interesantes.

#### CARACTERÍSTICAS Y EMPLAZAMIENTO DE LA CENTRAL.

Tendrá una potencia de 250 Mw. producida en dos grupos turbogeneradores, alimentados por un solo reactor.

El emplazamiento se ha fijado de acuerdo con los criterios vigentes en los Estados Unidos e Inglaterra, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Seguridad, que impone entre otras condiciones un determinado alejamiento de los grandes centros de población.

b) Disponibilidad de agua de refrigeración.

c) Cercanía de los centros de carga.

Estos criterios llevan a la consideración de dos zonas, como posibles emplazamientos: Zona del litoral y zona del río Ebro. Se ha desestimado la zona litoral, por su gran densidad de población y la influencia que posiblemente tendrá una central nuclear sobre la industria pesquera y sobre el público veraneante.

Dentro de la zona del río Ebro se ha seleccionado un emplazamiento situado en las orillas del embalse de Sobrón, actualmente en construcción por Iberduero, como se ve en la figura 13.

El lugar escogido goza de muy favorables condiciones en cuanto se refiere a la demografía de la zona, como se aprecia en la figura 14.

Si se tiene en cuenta no sólo el caudal fluyente, cuyo mínimo de 20 m.<sup>3</sup>/seg. está asegurado por el embalse regulador de Reinosa, sino la capacidad disipadora del calor del mismo embalse de Sobrón, comprobamos que el emplazamiento permite la construcción de una central de 500 Mw.

El embalse de Sobrón tendrá una variación de nivel muy pequeña, que como máximo podrá ser de 2,5 m., y el lugar escogido permite una disposición de los canales de toma y descarga muy favorables y económica, que al mismo tiempo evita el riesgo de recirculación del agua sin que antes haya recorrido todo el embalse.

El lugar dista solamente unos 60 Km. de Bilbao y otros tantos de Burgos, con lo cual los costes y pérdidas de transmisión serán pequeños.

La central estará conectada por dos líneas a 220 KV., existentes en la actualidad, con las subestaciones de Villabilla, en Burgos, y Alonsótegui y Basauri, en Bilbao. Se construirá otra línea a 220 KV. que una la central con Mataporquera.

Será construida otra línea a 130 KV. que conecte la central nuclear y las hidráulicas que se están construyendo en la zona, con la subestación de Puentelarrá (figura 15).

#### Región Centro-Levante-Sur.

Las compañías Hidroeléctrica Española, Unión Eléctrica Madrileña y Compañía Sevillana de Electricidad producen y suministran energía eléctrica a una gran parte de la zona Centro-Levante-Sur de España. Entre las tres han constituido la sociedad denominada Centrales Nucleares, S. A. (CENUSA), con la finalidad de construir y explotar centrales nucleares en su ámbito de actuación.

CENUSA comenzó por estudiar las condiciones actuales y pasadas del suministro y demanda, con el objeto de obtener las bases para realizar las previsiones del futuro.

#### CRECIMIENTO DE LA DEMANDA.

El crecimiento de la demanda se ha evaluado por diversos procedimientos:

a) Teniendo en cuenta las estadísticas del consumo eléctrico y proyectándolas hacia el futuro según una curva exponencial.

b) Obteniendo relaciones entre los índices económicos y el consumo de energía eléctrica.

La discusión y comparación de los resultados de estos cálculos, junto con el estudio de los planes y previsiones estatales de desarrollo, han conducido a la adopción de un crecimiento compuesto anual probable del 8,75 por 100.

En la figura 16 se aprecia gráficamente esta demanda, junto con las que corresponden a índices de crecimiento del 10 por 100 y del 7 por 100, consideradas como hipótesis optimista y pesimista.

#### CONSUMOS ACTUALES.

El sistema CENUSA tiene tres centros principales de consumo: Madrid, Sevilla y Valencia (fig. 17). Si repartimos las evaluaciones realizadas entre las tres zonas de influencia, correspondientes a estos centros, obtenemos unas cifras de consumo para cada uno que vienen dadas en el cuadro núm. 2.

CUADRO NÚM. 2. — Centros de consumo.

AÑO	MADRID — Gwh/año	SEVILLA — Gwh/año	VALENCIA — Gwh/año	TOTAL — Gwh/año
1965 .....	2.921	2.219	2.255	7.395
1966 .....	3.183	2.417	2.458	8.058
1967 .....	3.470	2.635	2.679	8.784
1968 .....	3.781	2.872	2.920	9.573
1969 .....	4.122	3.130	3.182	10.434
1970 .....	4.495	3.413	3.470	11.378
1971 .....	4.887	3.712	3.773	12.372
1972 .....	5.326	4.045	4.113	13.484
1973 .....	5.809	4.412	4.486	14.707
1974 .....	6.338	4.814	4.894	16.046
1975 .....	6.926	5.262	5.348	17.536

Las compañías que integran CENUSA tienen instaladas actualmente potencias térmicas e hidráulicas que se ven en el cuadro núm. 3.

CUADRO NÚM. 3. — Potencias hidráulica y térmica instalada actualmente.

COMPANÍA	Potencia hidráulica en Kw	Potencia térmica en Kw	Potencia total en Kw
Hidroeléctrica Española .....	364.130	313.700	677.830
Compañía Sevillana de Electricidad.....	208.180	105.044	313.224
Unión Eléctrica Madrileña .....	251.970	—	251.970
<i>Total sistema CENUSA</i> .....	824.280	418.744	1.243.024

Dichas compañías tienen en construcción centrales térmicas e hidráulicas, de acuerdo con programas que llegan al año 1975, según se ve en el cuadro núm. 4.

CUADRO NÚM. 4. — Potencia hidráulica, térmica convencional y total, instalada en el sistema CENUSA, en los años 1965 al 1970, si se cumplen los planes previstos.

CENUSA	POTENCIAS Mw					
	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Total hidráulica .....	1.392,5	1.936,5	1.961,5	2.111,5	2.131,5	2.309,1
Total térmica .....	822,1	822,1	949,1	949,1	949,1	949,1
<i>Total</i> .....	2.214,6	2.758,6	2.910,6	3.060,6	3.080,6	3.258,2

Potencia hidráulica, térmica convencional y total, instalada en el sistema CENUSA, en los años 1971 al 1975, si se cumplen los planes previstos.

CENUSA	POTENCIAS Mw				
	1971	1972	1973	1974	1975
Total hidráulica .....	2.309,1	2.309,1	2.353,1	2.353,1	2.381,1
Total térmica .....	949,1	949,1	949,1	949,1	949,1
<i>Total</i> .....	3.258,2	3.258,2	3.302,2	3.302,2	3.330,2

Se ha hecho una previsión de las horas de utilización de la potencia hidráulica instalada en el conjunto de la zona de CENUSA. Va desde 1.600 horas en año seco a 2.400 en año medio.

#### CÁLCULO DE LOS DÉFICITS DE ENERGÍA.

Con estas cifras podemos calcular las necesidades de energía en los años futuros. En la hipótesis de un año hidráulicamente seco, los déficits son los que se ven en el cuadro núm. 5.

CUADRO NÚM. 5.

AÑO	Déficit de energía eléctrica de origen convencional en el sistema CENUSA Kwh/año
1970 .....	1.291
1971 .....	2.285
1972 .....	3.397
1973 .....	4.550
1974 .....	5.889
1975 .....	7.323

Si los distribuimos según los centros de consumo obtenemos las cifras del cuadro núm. 6.

CUADRO NÚM. 6.

AÑOS	CENTROS DE CONSUMO			Total CENUSA Gwh/año
	Madrid Gwh/año	Valencia Gwh/año	Sevilla Gwh/año	
1969 .....	- 1 247	+ 650	- 54	- 651
1970 .....	- 1 544	+ 590	- 337	- 1 291

#### SOLUCIONES ESTUDIADAS.

Hay que hacer frente a estos déficits por medio de nuevas instalaciones generadoras.

Hemos visto que las disponibilidades hidráulicas y térmicas clásicas no permiten enjugarlos.

La participación de España en intercambios internacionales de energía, tales como el proyecto de Eurafri-gás, tiene una importancia limitada, aunque no despreciable, y no parece pueda afectar a nuestras conclusiones de una manera substancial.

#### SOLUCIÓN NUCLEAR.

Después de un estudio profundo de las razones anteriormente expuestas, queda claramente indicada la energía nuclear como el medio más adecuado para hacer frente a la demanda del mercado eléctrico en el futuro. Esta es la razón de la existencia de CENUSA y de su programa de centrales nucleares. El plan CENUSA se basa en la construcción de tres centrales nucleares de 250 Mw. cada una según el siguiente plan:

1969-1970. Funcionamiento a plena carga de una central de 250 Mw. en las inmediaciones de Madrid.

1971-1972. Entrada en servicio a plena carga de una segunda unidad de 250 Mw. en las cercanías de Sevilla.

1973-1974. Comienzo a plena carga de otra unidad de igual potencia en las inmediaciones de Madrid, en igual emplazamiento que la primera.

Si incrementamos los programas de instalaciones hidráulicas y térmicas, con las centrales nucleares anterior-

mente descritas, obtenemos unas potencias instaladas que figuran en el cuadro núm. 7.

Con estas centrales en funcionamiento, la potencia disponible en todo momento es superior a la carga máxima.

#### COORDINACIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES.

Se han estudiado las curvas de carga en los años 1970-72-73 en las hipótesis de año seco y año medio, incluyendo la energía hidráulica fluyente y regulada, térmica y nuclear. Se aprecia perfectamente en las figuras 18 y 19 que las centrales nucleares pueden trabajar en base con un factor de utilización del 80 por 100, siendo también elevado el factor de utilización de las centrales térmicas.

#### EMPLAZAMIENTOS.

En la selección se han tenido en cuenta las condiciones de seguridad vigentes en los Estados Unidos e Inglaterra.

CUADRO NÚM. 7. — Balance definitivo de la energía eléctrica en los años 1970, 1972 y 1973, en el sistema CENUSA, en el supuesto de que sean de hidráulidad media.

AÑOS	Potencia instalada, Mw			Utilización de la potencia, h			Producción anual, 10 <sup>6</sup> Kwh.			Energía adquirida 10 <sup>6</sup> Kwh. año	Producción total 10 <sup>6</sup> Kwh. año	Consumo estimado 10 <sup>6</sup> Kwh. año	Déficit o superávit 10 <sup>6</sup> Kwh. año
	Hidráulica	Térmica	Nuclear	Hidráulica	Térmica	Nuclear	Hidráulica	Térmica	Nuclear				
1970	2 309,1	949,1	250	2 354	3 575	7 000	5 435	3 393	1 750	800	11 378	11 378	0
1972	2 309,1	949,1	500	2 354	3 951	7 000	5 435	3 749	3 500	800	13 384	13 484	0
1973	2 353,1	949,1	750	2 354	3 981	6 120	5 539	3 778	4 590	800	14 707	14 707	0

terra, que imponen para este tipo de centrales distancias de 32 Km. a las grandes ciudades y 16 Km. a los núcleos de población de cierta importancia.

En la zona de Madrid, teniendo en cuenta las condiciones anteriores y las necesidades de agua de refrigeración, que son de unos 20 m.<sup>3</sup>/seg., para cada central de 250 Mw., resulta que su posible emplazamiento ha de buscarse a orillas del Tajo, al sur de la población.

En la zona Sur, la comparación de los diversos emplazamientos posibles, aconsejan una ubicación a orillas del Guadalquivir, en la zona de las Marismas.

#### CENTRAL MADRID-TAJO.

Después de la comparación realizada entre los diversos emplazamientos estudiados, se ha seleccionado uno situado en un meandro del embalse de Castrejón, actualmente en construcción por Unión Eléctrica Madrileña. Las posibilidades de refrigeración en este emplazamiento son magníficas, ya que se puede contar con un caudal mínimo de 40 m.<sup>3</sup>/seg. Aparte de ello, el embalse ofrece posibilidad para disipar la energía correspondiente a otra central a 500 Mw. Por lo tanto, las posibilidades de re-

frigeración admiten en este lugar la construcción de una central de 1 000 Mw. El terreno es adecuado y capaz para dicha central. Las obras de toma y descarga son de tamaño y coste reducido.

La distancia al centro de carga es de 88 Km. en promedio.

Por último, la distribución demográfica es también favorable (véanse las figuras 20 y 21).

#### TRANSPORTE DE LA ENERGÍA.

Se ha proyectado una línea de doble circuito duplex, a 220 KV. Un circuito irá a la subestación de Villaverde, perteneciente a Hidroeléctrica Española, y otro a la de Loeches, de Unión Eléctrica Madrileña.

#### CENTRAL SEVILLA-GUADALQUIVIR.

La central de Sevilla estará emplazada al Sur de dicha población, a orillas del Guadalquivir, en zona de Marismas (fig. 22).

Aunque el caudal del río es insuficiente para la refrigeración de la central, hay que tener en cuenta las marismas, que alcanzan al lugar donde ha de emplazarse, por lo que se dispone de agua marina en abundancia.

La central dista 44 Km. del centro de carga.

La distribución demográfica es muy favorable, como se ve en la figura 23.

Se ha proyectado una línea a 220 KV. que unirá la central con el centro de carga de Santiponce, propiedad de la Compañía Sevillana de Electricidad.

\* \* \*

Es ésta, en líneas generales, la labor desarrollada en los últimos años en España, tanto por la industria privada como por los organismos oficiales, con vistas al desarrollo de un programa nuclear, tendiendo a la aplicación en la construcción de centrales para producción de energía eléctrica y preparando técnicos y desarrollando planes de investigación y trabajo.

Finalmente deseamos expresar nuestro agradecimiento a las Entidades que nos han facilitado datos para la confección de este trabajo: JEN, CENUSA, NUCLEONOR, INI y TECNATOM.

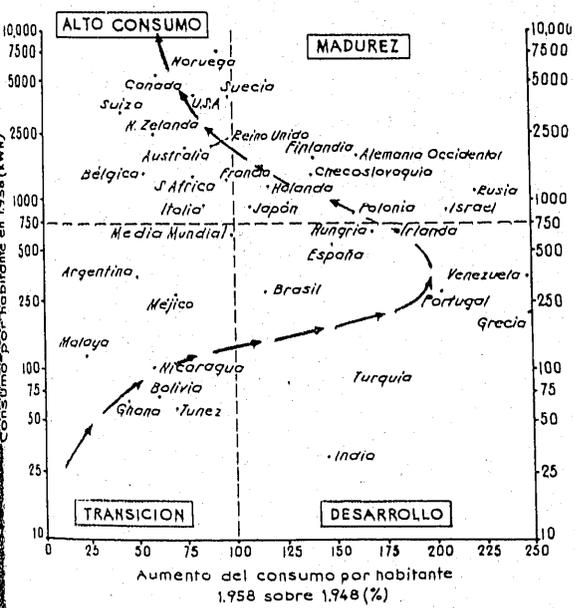


Fig. 1.ª — El crecimiento de la demanda de electricidad.

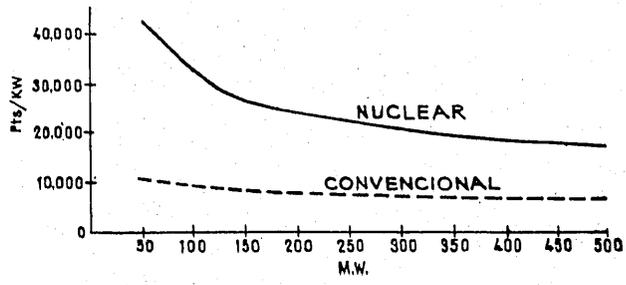
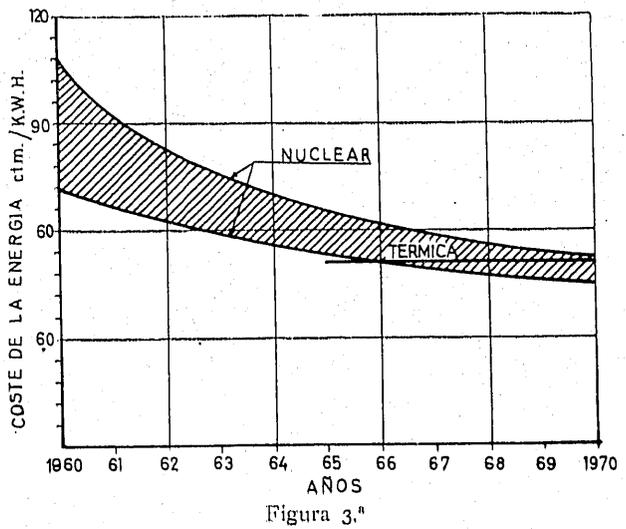


Fig. 4.ª — Coste de capital por Kw. instalado.

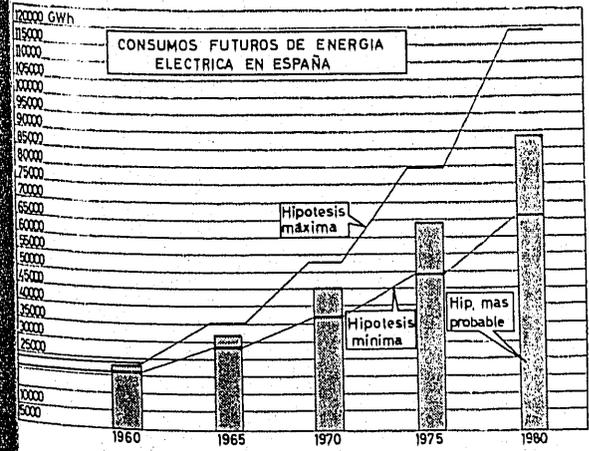


Figura 2.ª

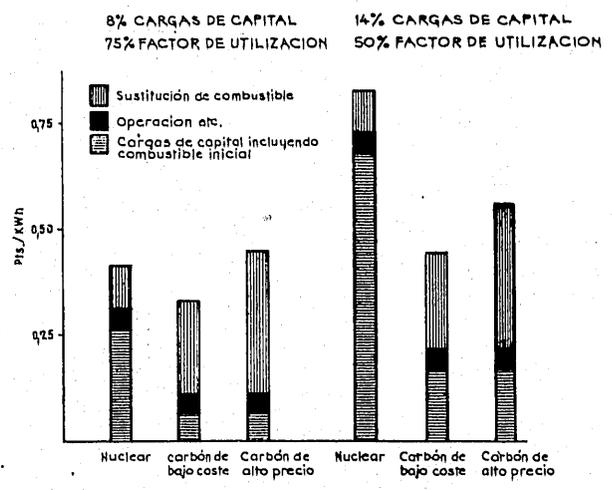


Fig. 5.ª — Efecto de las variaciones de las cargas de capital y factor de utilización.



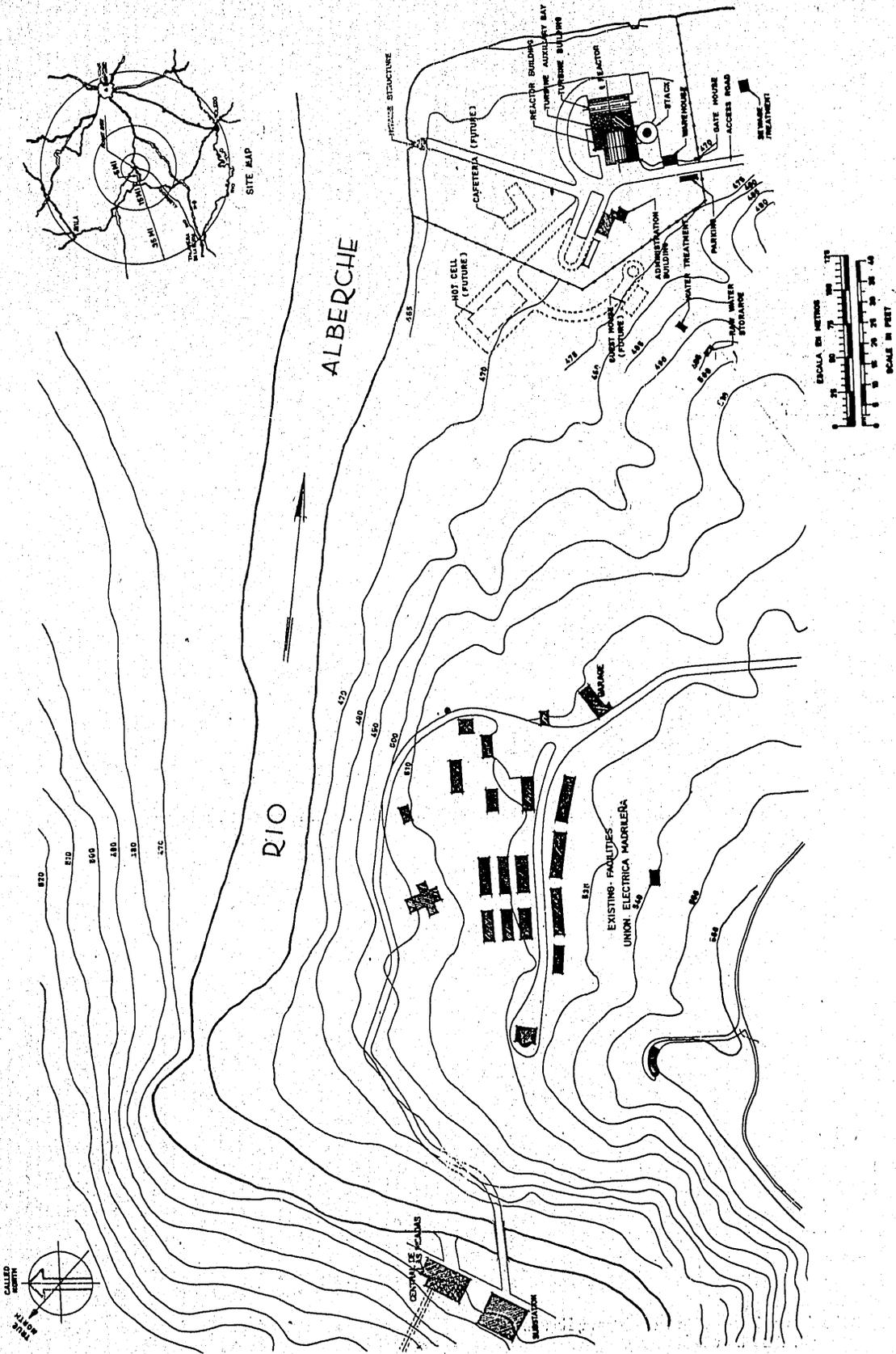


Figura 7.

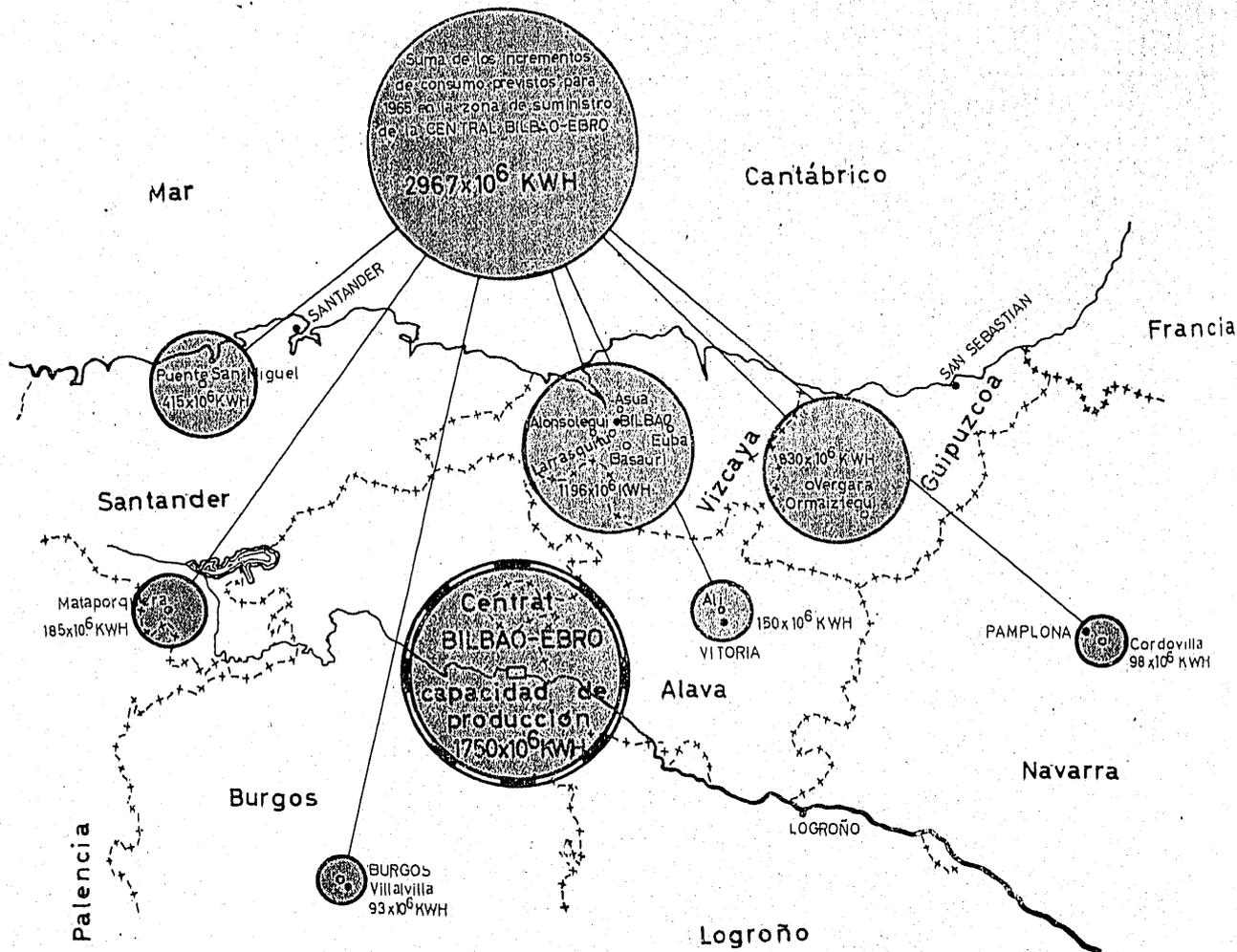


Fig. 8.ª — Distribución de los incrementos de consumo entre los centros de carga.

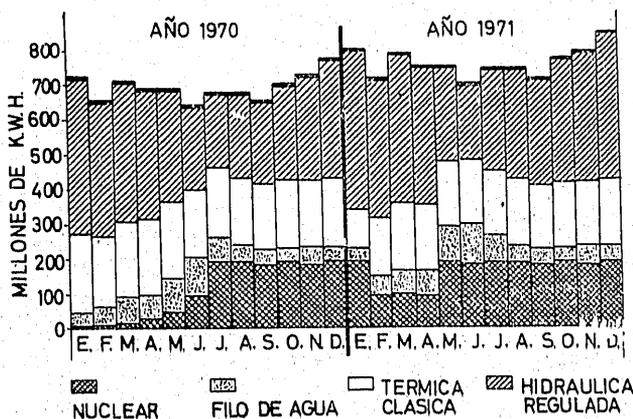


Fig. 9.ª — Previsión de producciones en el sistema Iberduero-Viesgo. Año hidráulico seco.

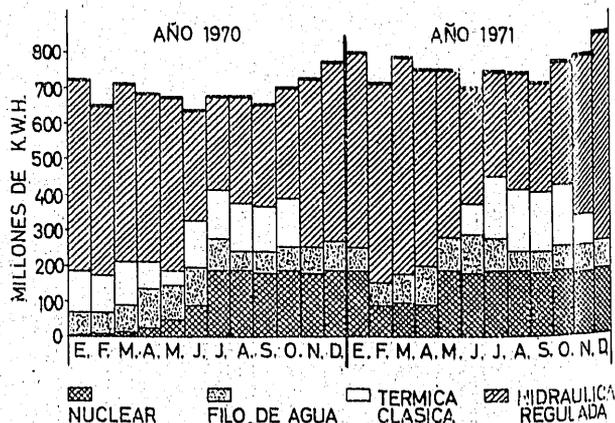


Fig. 10.ª — Previsión de producciones en el sistema Iberduero-Viesgo. Año hidráulico medio.

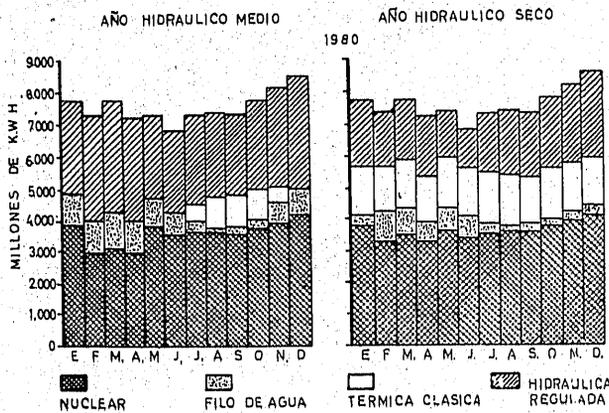


Fig. 11. — Consumo en España, 90 000 millones de Kw./h.; previsión de producción de energía.

Fig. 12, a. — Consumo en España, 90 000 millones de Kw./h.

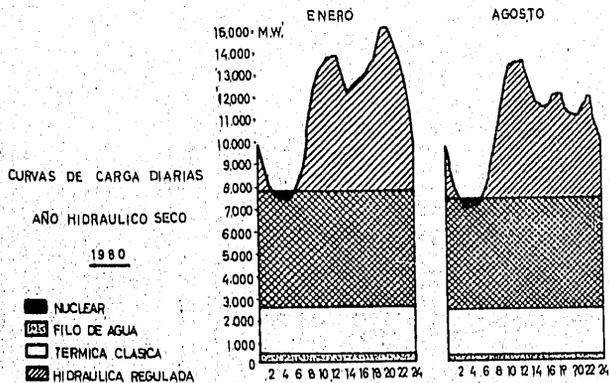
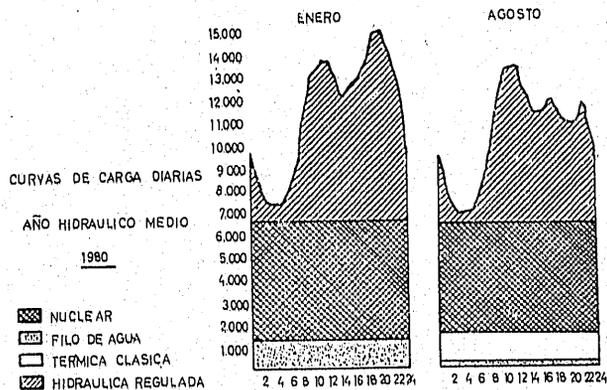


Fig. 12, b. — Consumo en España, 90 000 millones de Kw./h.

1. Reactor, Generadores de vapor e instalaciones anejas
2. Sala de turboalternadores.
3. Instalación de transformación.
4. Sala de mandos y control.
5. Sala de servicios auxiliares de los turboalternadores.
6. Transformadores elevadores.
7. Sala de montajes.
8. Tailerces.
9. Sala de bombas de agua de refrigeración.
10. Toma de agua de refrigeración.
11. Desagüe de agua de refrigeración.
12. Almacén de combustible fresco e irradiado.
13. Instalaciones de tratamiento y descontaminación de agua de 12.
14. Planta de tratamiento de líquidos radiactivos.
15. Estación de descontaminación.
16. Cementerio de cenizas radiactivas.
17. Laboratorios de control de contaminación y vestuario
18. Estación meteorológica.
19. Chimenea.
20. Edificio de administración.
21. Garajes.
22. Servicios contra incendios.
23. Zona de aparcamiento de vehículos.
24. Valla aisladora de la zona activa.
25. Guardería y recepción.

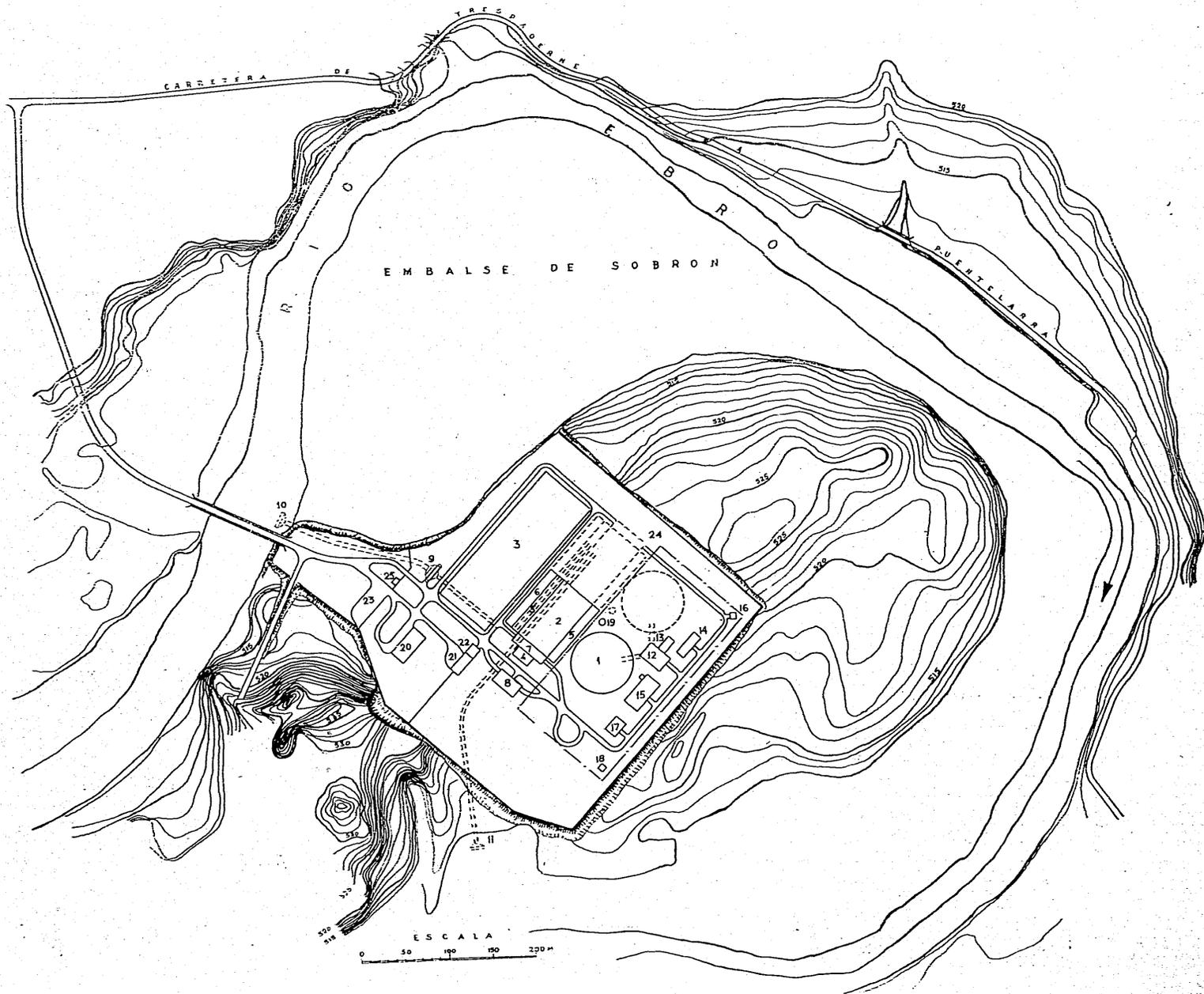


Fig. 13. — Disposición general de la planta.

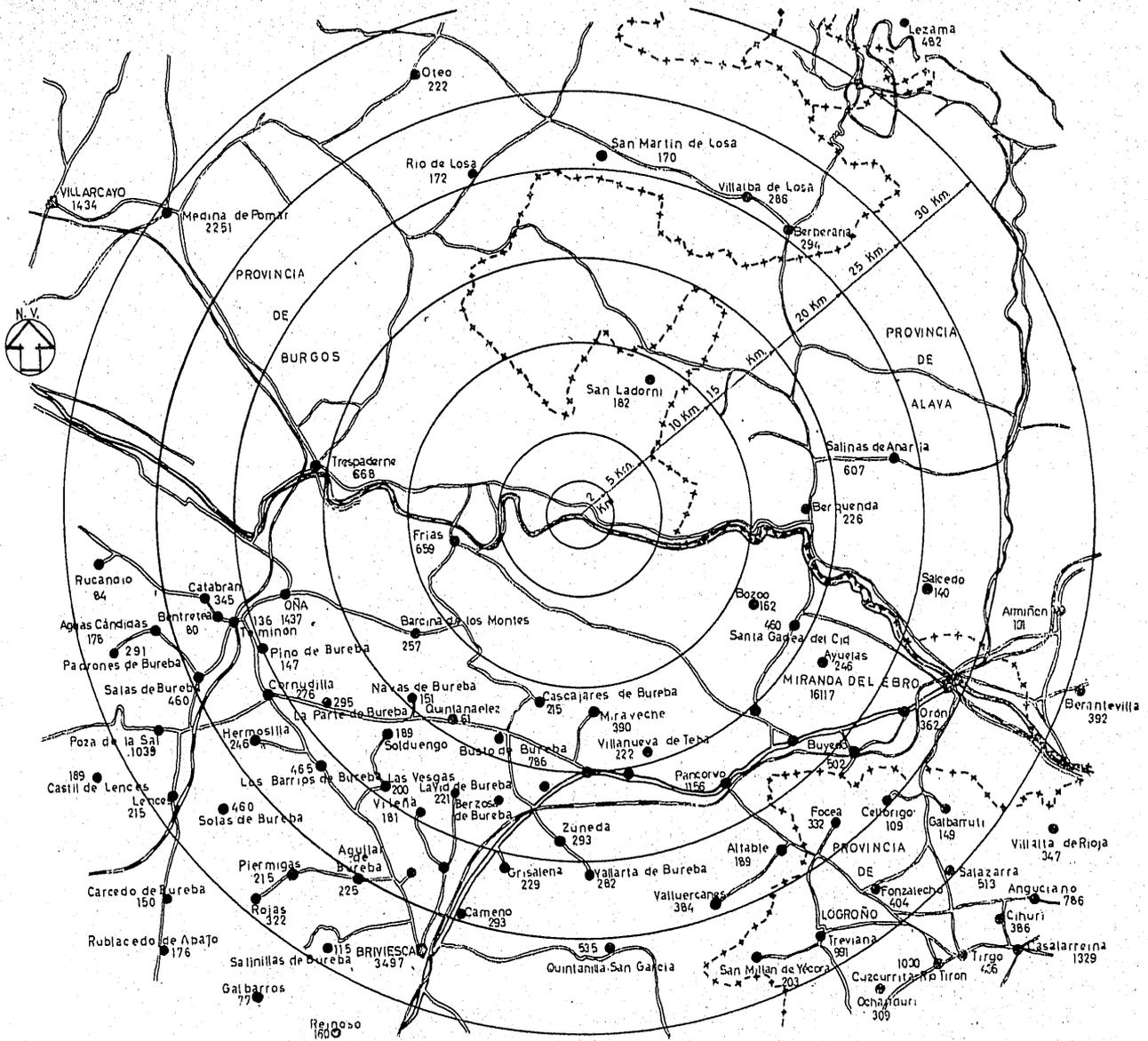


Figura 14.

DISTRIBUCION DEMOGRAFICA ALREDEDOR DE LA FIANTA

	Poblaciones	Habitantes
Dentro de un radio de 2 Km . . .	5	410
» » » » » 5 » . . .	15	1 247
» » » » » 10 » . . .	44	4 624
» » » » » 15 » . . .	104	13 382
» » » » » 20 » . . .	162	23 343
» » » » » 25 » . . .	250	51 831
» » » » » 30 » . . .	339	73 273

MAR CANTABRICO

FRANCIA

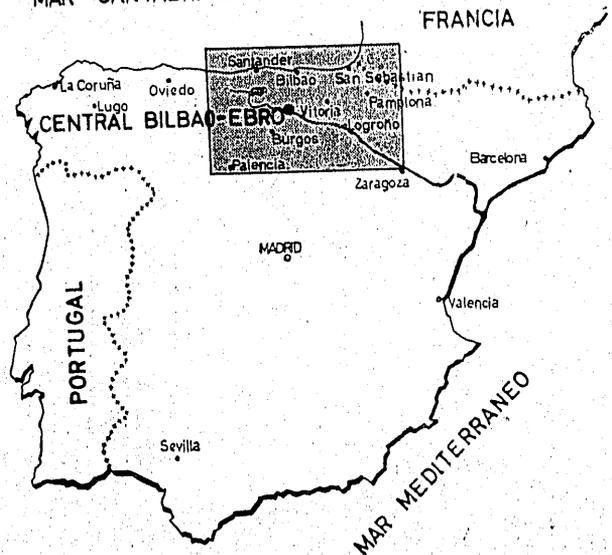
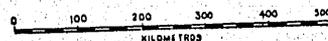


Fig. 15.—Zona de suministro de la central Bilbao-Ebro.



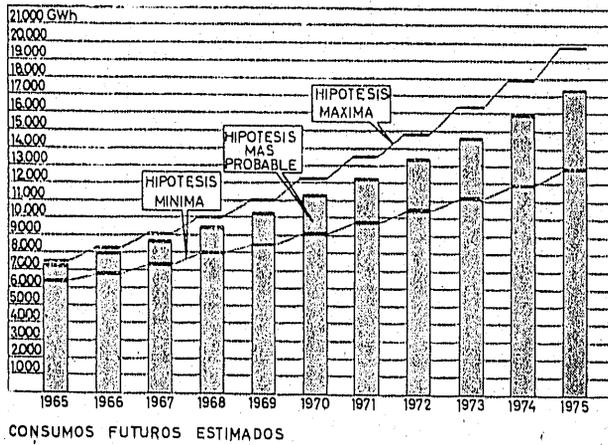


Figura 16.

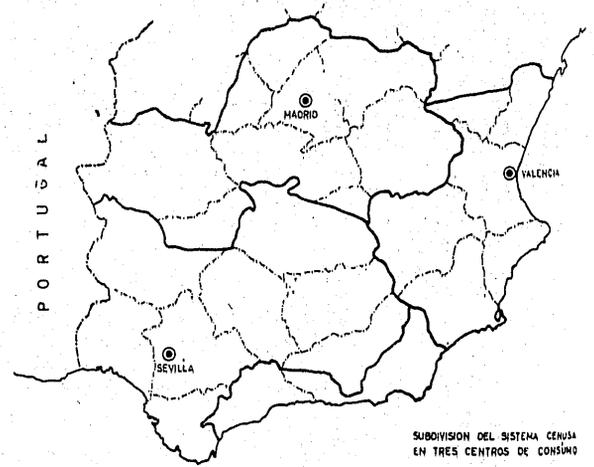


Figura 17.

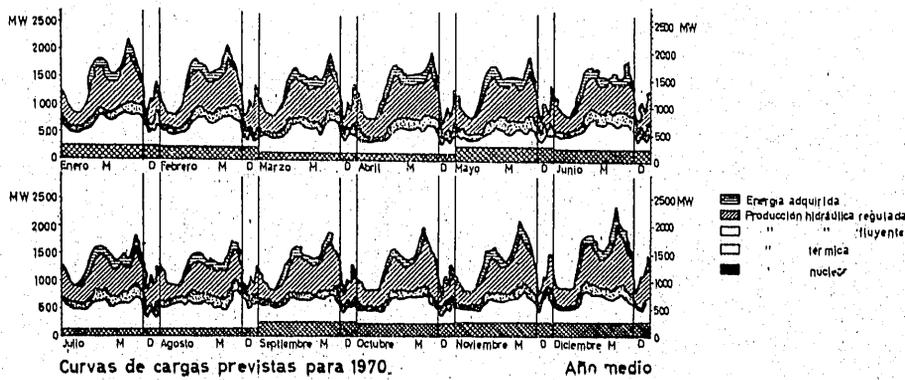
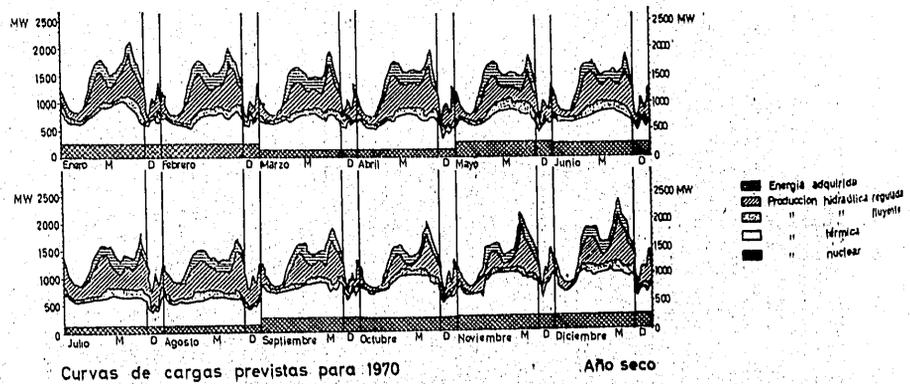


Figura 18.

Figura 19.





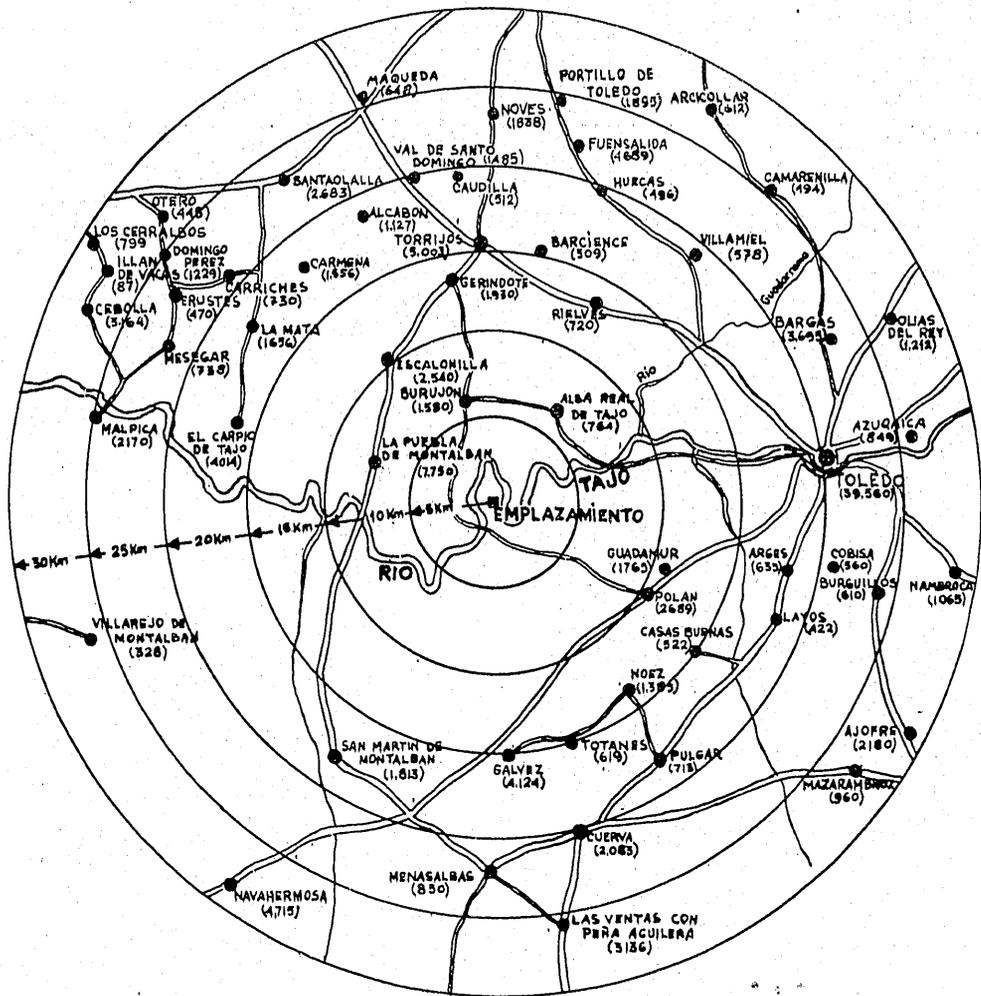


Figura 21.

DISTRIBUCION DEMOGRAFICA ALREDEDOR DE LA CENTRAL

	Pobla- ciones	Habitantes
Dentro de un radio de 5 Km. . . .	0	0
» » » » » 10 » . . .	3	10 494
» » » » » 15 » . . .	9	21 524
» » » » » 20 » . . .	26	47 107
» » » » » 25 » . . .	41	110 938
» » » » » 30 » . . .	56	131 603

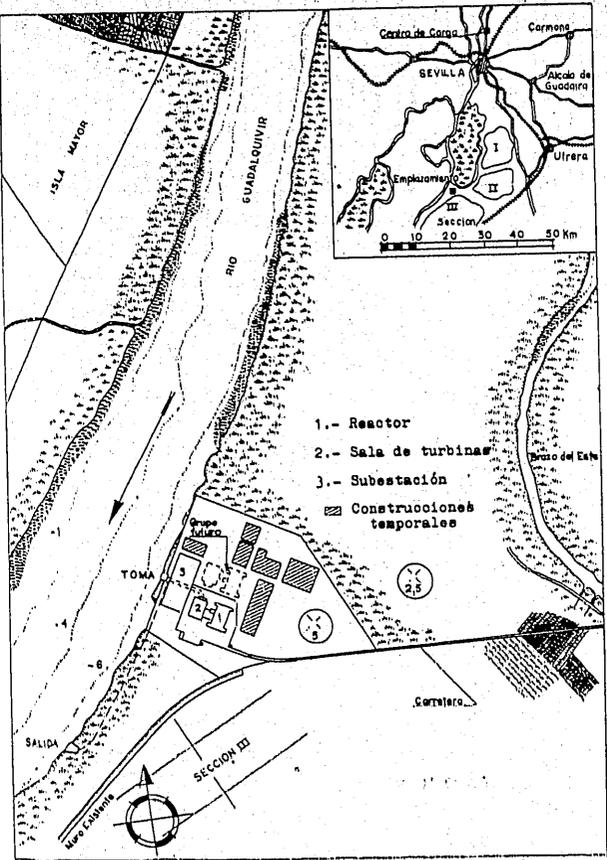


Fig. 22. — Emplazamiento Sevilla-Guadalquivir.

Fig. 23. — Poblaciones y habitantes dentro de un radio de 30 Km.

