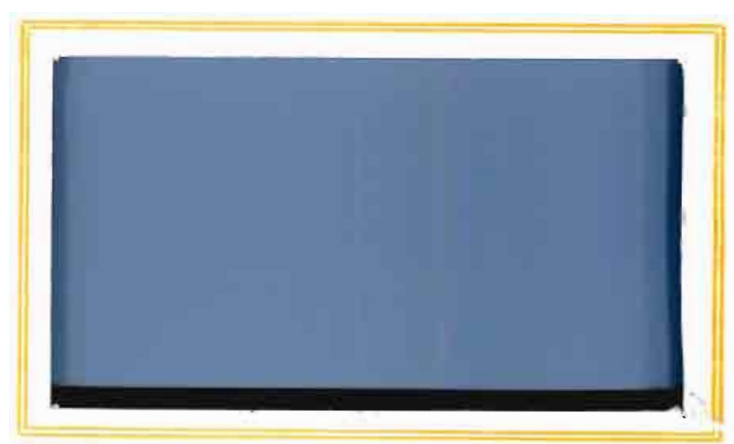
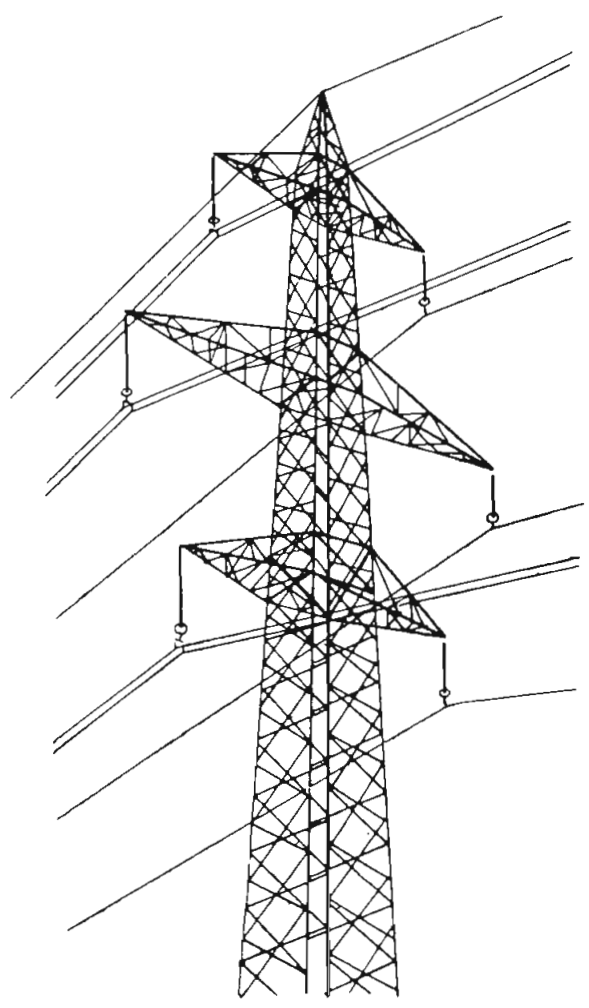


1225



REPUBLICA DEL ECUADOR
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS
INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION
INECEL

INECEL



621.319
G934

DIRECCION DE PLANIFICACION

QUITO ECUADOR

621.319
G 939

PRIMER SPISE

MODULO DE CALCULO DE FACTORES DE
FORMA DE LA CARGA DE ENERGIA
ELECTRICA

Autor: Wilson Guerra A.

EPN	Instituto Tecnológico de Electrónica y Mecánica
Nombre	R
Valor	\$ 5
Fecha	20 / 10 / 04
Comentarios	621.319 / 6939



SUBCOMITE DE PLANIFICACION E INGENIERIA DE
SISTEMAS ELECTRICOS, SPISE

Comité Nacional : Ecuador
Autor : Wilson Guerra A.
Empresa : INECEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación)
Dirección Oficina: Baucedano 222 y Reina Victoria
Postal : Casilla 565-A
Telegramas : INECEL - Quito
Teléfonos : 544-983
Telex :
Impreso
(Lugar y Fecha) : Quito, Abril 28 de 1985
Título del
Trabajo : Módulo de cálculo de Factores de Forma de la Carga de
Energía Eléctrica.

Síntesis del Trabajo

La demanda de energía eléctrica no es homogénea a través del tiempo, fluctúa según sea el mes del año, el día de la semana y la hora del día en que transcurre; razón por la que es muy importante conocer el comportamiento de la misma para definir entre otros aspectos: tipo de equipamiento, criterios de operación, períodos de mantenimiento, etc.

Se presenta un método que, en base a valores históricos de carga de energía, establece un conjunto de parámetros llamados "Factores de Forma de la Carga" (FFC) que permiten dar a las previsiones de demanda de energía eléctrica, un detalle de modulación a través del tiempo; esto es determinar variaciones estacionales, fluctuaciones entre días festivos y de trabajo y "forma de las curvas de carga horarias.

1. PRESENTACION DEL PROBLEMA

El problema radica básicamente en la determinación de los parámetros o factores de forma de la carga tanto históricos de la serie estadística de cargas; como futuros, del período de proyección de la carga anual.

Para ello se definen los factores de forma de la carga de cada año de la serie histórica de cargas y se estiman los valores futuros en función de la tendencia que muestren los históricos.

Los FFC estimados para el período de proyección de la carga de energía anual se utilizan para establecer los niveles de carga del sistema eléctrico en diferentes instantes (en general horas de carga mínima, media y máxima). Información necesaria para los estudios eléctricos de la red.

Los FFC futuros también permiten la desagregación de la carga anual prevista de modo de conformar una serie sintética de valores horarios que sirven de base para la elaboración de curvas de carga anuales, mensuales y diarias. Estas curvas son requeridas para los estudios de operación simulada del sistema eléctrico en los años futuros.

2. DEFINICION DE LOS FACTORES DE FORMA DE LA CARGA (FFC)

Con disponibilidad de facilidades computacionales es posible determinar parámetros tales como:

- Días útiles de trabajo
- Factores de carga
- Relación de cargas
- Factores de tendencia de crecimiento
- Factores de variación estacional
- Factores de ponderación de días típicos
- Factores de distribución horaria.

A continuación se presentan estos factores en su definición:

- Días útiles de trabajo (DUT_t). 1/

Se definen como la relación entre la carga de energía obtenida en el intervalo de tiempo "t" y la carga de energía media diaria de los días reales 2/ de trabajo contenidos en "t" (año, mes). Es decir estára dado por:

$$DUT_t = \frac{1000 \times CE_t}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n CDE_i}$$

donde:

CE_t = carga de energía (GWh) en el período "t"

CDE_i = carga diaria de energía de un día de trabajo i (MWh)

n = número de días reales de trabajo en "t"

t = tiempo (mes o año)

- Factor de Carga (FC_t) 1/

Es la relación entre la carga media de energía en el intervalo de tiempo "t" (año, mes, día) y la carga máxima registrada en dicho período "t".

$$FC_t = \frac{1000 \times CE_t}{h_t \times CM_t}$$

donde:

CM_t = carga máxima en "t" (MW medio horario)

CE_t = carga de energía en el período "t"

h_t = número de horas en "t"

1/ Que pueden ser: anuales, mensuales o diarios

2/ Se denominan a los días laborables o de trabajo del año; esto es que no sean feriados, sábados y domingos.

- Relación de Cargas Máximas (RCM_t) 1/

Es la relación entre la carga máxima registrada en el intervalo de tiempo "t" y la media de las cargas máximas de los días reales de trabajo de "t".

$$RCM_t = \frac{CM_t}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n CMDi}$$

donde:

CMDi = carga máxima diaria del día i en el tiempo "t" (MW medio horario)

- Factor de Tendencia (FT_t) 2/.

Esta dado por la relación entre las cargas en el intervalo de tiempo "t" y el correspondiente valor anterior o sea de "t-1"

$$FT_t = \frac{CE_t}{CE_{t-1}}$$

- Factor de Variación Estacional (FVE)

Estos índices traducen el efecto del ritmo estacional sobre el consumo de energía eléctrica de cada mes.

Normalmente este índice se suele expresar como la proporción que significa la generación real de cada mes con respecto a la generación promedio mensual.

Se calcula por dos métodos alternativos, ambos basados en un modelo multiplicativo de demanda, transformado en modelo aditivo a través de la aplicación de logaritmos.

El primer método considera factores constantes a través del tiempo, es decir calcula 12 factores, uno para cada mes, invariables a través de los años del histórico.

1/ Es un valor anual

2/ Puede ser anual o mensual

El segundo método considera factores variables a través del tiempo, es decir 12 factores mensuales para cada año del histórico.

El primer modelo está representado por:

$$E_t = \bar{E}_t \times S_j \times \epsilon_t$$

donde:

E_t = energía mensual del mes histórico "t"

\bar{E}_t = componente de tendencia de E_t

S_j = factor de variación estacional del mes j

ϵ_t = residuo del mes histórico "t" (componente aleatoria)

El correspondiente modelo aditivo será:

$$\text{LOG}(E_t) = \text{LOG}(\bar{E}_t) + \text{LOG}(S_j) + \text{LOG}(\epsilon_t)$$

El segundo modelo (estacionalidad dinámica) es dado por:

$$E_t = \bar{E}_t \times \text{FVE}_{i,j} \times \epsilon_t$$

donde:

$\text{FVE}_{i,j}$ = factor de variación estacional del año i del mes j.

A su vez el FVE está dado por:

$$\text{FVE}_{i,j} = a_j \times i^{bj}$$

correspondiendo al siguiente modelo lineal:

$$\text{LOG}(E_t) = \text{LOG}(\bar{E}_t) + \text{LOG}(a_j) + b_j \text{LOG}(i) + \text{LOG}(\epsilon_t)$$

donde: a_j, b_j = son componentes de estacionalidad

. Factor de Ponderación de Días Típicos (FPD)

Son calculados como la relación entre la carga media de los días de un cierto tipo (sábado, domingo, lunes, feriado, semiferiado y día medio de trabajo) y la carga media de los días medios de trabajo.

El cálculo se hace en base a la expresión:

$$FPD_k = \frac{\frac{1}{n_k} \sum CDE_k}{\frac{1}{n} \sum CDE_{\bar{c}}}$$

donde:

CDE = carga diaria de energía (MWh)

n = número de días reales

k = indicadores de tipo de día (k = semiferiado o feriado)

\bar{c} = indicador de día de trabajo

. Factores de Distribución Horaria (FDH)

Determinan las oscilaciones de la carga horaria que se suscitan en el transcurso de un día típico.

Se calculan por la relación entre la carga media horaria de una cierta hora i, en un período de tiempo determinado, y la carga media horaria del día típico representativo de dicho período.

Se calculan para los días típicos de cada año

Para cada día típico el cálculo se hace mediante la siguiente expresión (para cada hora i).

$$FDH_i = \frac{CMH_i}{\frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} CMH_j}$$

donde:

CMH = carga media horaria (MW)

3. APLICACION DE LOS FFC A LAS PREVISIONES DE CARGA ANUAL DE ENERGIA.

La utilización de los FFC definidos en el Capítulo precedente puede hacerse de diferentes maneras: aunque, las más usuales son las siguientes:

- . Determinación de Cargas de Energía mensual, diaria y horaria a partir de las Previsiones de Carga de Energía Anual de cada año futuro (CPEA), estimadas en el estudio de Mercado del Sistema Eléctrico.

Se asume que las previsiones de carga de energía está expresada en GWh/año y que las cargas previstas son dadas en MWh/mes, MWh/día, y MWh/h, respectivamente.

- . Carga Propia de Energía Mensual (CPEM):

$$CPEM(i,j) = \frac{CPEA(i)}{DUA(i)} \times FVE(i,j) \times FCT(i,j) \times DUM(i,j)$$

donde: DUA = días útiles anuales

DUM = días útiles mensuales

- . Carga Propia de Energía Diaria (CPED): 1/

$$CPED(i,j,k) = \frac{1000 \times CPEM(i,j)}{DUM(i,j)} \times FPD(i,j,k)$$

- . Carga Propia de Energía Horaria (CPEH): 1/

$$CPEH(i,j,k,l) = \frac{CPED(i,j,k)}{24} \times FDH(i,j,k,l)$$

donde:

i = indicador de años futuros

j = indicador de meses

k = indicador de tipos de días

l = indicador de las horas del día

1/ Se calcula para todos los días típicos considerados: (sábado, domingo, lunes, feriado, semiferiado, etc).

. Determinación de Cargas de Punta Máxima Anual, Mensual y Diaria

Las cargas de punta expresadas en MWh/h, son estimadas en base a las siguientes relaciones, asumiéndose conocidas las cargas propias de energía, determinadas como se indicó en los items precedentes.

. Carga de Punta Máxima Diaria (CPMD) 1/:

$$CPMD(i,j,k) = \text{máx} (CPEH(i,j,k,p))$$

. Carga de Punta Máxima Mensual (CPMM) 2/:

$$CPMM(i,j) = RCMAX(i) \times CPMD(i,j,k)$$

. Carga de Punta Máxima Anual (CPMA) 2/:

$$CPMA(i) = \text{máx}_j (CPMM(i,j))$$

. Determinación de Factores de Carga Anual, Mensual y Diario.

Los factores de carga están dados por las expresiones siguientes:

. Factor de Carga Anual (FCA):

$$FCA(i) = \frac{1000 \times CPEA(i)}{CPMA(i) \times NHA(i)}$$

. Factor de Carga Mensual (FCM)

$$FCM(i,j) = \frac{CPEM(i,j)}{CPMM(i,j) \times NHM(i,j)}$$

. Factor de Carga Diario (FCD):

$$FCD(i,j,k) = \frac{CPED(i,j,k)}{24 \times CPMD(i,j,k)}$$

1/ Se calcula para todos los días típicos considerados: (Sábado, domingo, lunes, feriado, semiferiado, etc).

2/ Se calcula solamente con los días típicos de trabajo.

En las expresiones indicadas arriba NHA y NHM representan el número de horas anuales y mensuales respectivamente, los cuales dependerán de si el año del período de previsión es o no bisiesto.

En general se prefiere calcular los factores de carga a través de estas expresiones y no con base en lo histórico, ya que por ser valores obtenidos en función de la carga en la hora de máxima demanda están muy influenciadas por anomalías puntuales ocurridas en estas horas.

. Determinación de Cargas Mínimas Anuales, Mensuales y Diarias

La definición de estos valores, expresados en MWh/h, se estiman en forma similar a lo indicado para las cargas de punta máxima.

. Cargas Mínimas Horarias del Día (CMHD):

$$CMHD(i,j,k) = \min(CPEH(i,j,k,l))$$

. Cargas Mínimas Horarias del Mes (CMHM):

$$CMHM(i,j) = RCMIN(i,5) \times CMHD(i,j,5)$$

. Carga Mínimas Horarias del año (CMHA):

$$CMHA(i) = \min_j (CMHM(i,j))$$

Se asume que el indicador K=5 corresponde a días feriados, donde se deberá tener la carga mínima.

4. APLICACION DEL METODO PROPUESTO

Cálculo de Factores de Forma de la Carga del S.N.I.

Los factores de forma de la carga que se han calculado, y se presentan en este estudio corresponden a los del S.N.I., es decir: INECEL y las empresas interconectadas hasta 1983 1/; debido a que la demanda del S.N.I. representó hasta la fecha el 95% de la demanda total del Sector Eléctrico del País, y en razón de que tales datos son de interés para otros trabajos de INECEL.

Una vez determinados los FFC históricos, la estimación de la proyección de los mismos fue hecha para cada uno de los siguientes factores:

Factores Anuales:

- . Días útiles anuales (DUA)
- . Factores de carga anual (FCA)
- . Relación de cargas máximas anuales (RCA)

Factores Mensuales:

- . Días útiles mensuales (DUM)
- . Factor de carga mensual (FCM)
- . Factor de variación estacional (EVE)

Factores Diarios:

- . Factor de carga diaria (FCD)
- . Factor de ponderación de días típicos (FPD)
- . Relación de cargas diarias (RCD)

Factores Horarios:

- . Factor de distribución horaria (FDH)

1/ Se excluyen: El Oro, Sta. Elena, Sur y Oriente

Los factores de forma de carga futuros son extrapolados, para el horizonte de estudio (último año de proyección) a partir de los FFC estadísticos, en base a criterios: media del histórico, extrapolación lineal y extrapolación geométrica. La utilización de este último ajuste está condicionado a que el valor horizonte sea el promedio de los valores obtenidos con los dos primeros criterios, debido a que el ajuste geométrico es un tanto inestable y tiende a hacer incrementar excesivamente las tasas en el futuro.

En el modelo "MCFFC" el usuario podrá escoger uno de los tres resultados obtenidos, o bien, estimar su propio valor horizonte. En este caso el programa calculará los valores intermedios mediante la extrapolación geométrica condicionada a pasar por el punto extremo.

Para determinar los FFC del S.N.I. se fijó como meta para el horizonte de estudio, el criterio de la media del histórico de los FFC, debido a la corta extensión del período estadístico.

Los resultados de los factores de forma de carga constan en el Anexo adjunto siendo conveniente efectuar las siguientes acotaciones:

- En cuanto a los factores históricos anuales se pudo observar que 1983, fue el año en el que el peso del consumo de los días de trabajo, frente al consumo total fue el más bajo de los años históricos, debido fundamentalmente al problema de las inundaciones de dichos años, se aprecia además un mejoramiento en el factor de carga.
- En lo relacionado a los factores históricos mensuales, se observa que las variaciones son pequeñas, ya que éstas no superan en general el 5%, en relación a la media mensual; notándose que el mes más estable es abril, que el de menor consumo es febrero, y el de mayor consumo es diciembre.
- Para los factores históricos diarios, se ha encontrado que la ponderación del consumo medio de días feriados y semiferiados, se incrementaron apreciablemente en el año 1983, a causa de los problemas climáticos comentados a tal punto que en dicho año superaron el consumo medio de un día de trabajo.
- En lo referente a los factores históricos horarios las cifras son causísticas con el tipo de actividad desarrollada en las diferentes horas, con la circunscritancia algo sorprendente pero totalmente explicable que en las horas de pico se

obtiene mayor nivel de consumo en los días feriados y semiferiados que en los días de trabajo, lo cual normalmente no debería suceder pero ocurre que el período histórico analizado, tiene serias deformaciones en este aspecto, por las causas señaladas anteriormente.

En resumen los resultados logrados para el período histórico son representativos del mismo, y lo explican con bastante idoneidad, sin embargo las proyecciones de diversos factores, muestran resultados que naturalmente deberán ser ajustados en la medida que se vaya completando la información estadística pertinente, ya que dichas previsiones, que están basadas en el comportamiento histórico de los correspondientes factores están extrapolando las situaciones observadas en el período analizado, el cual, como se ha comentado, soportó diversas circunstancias que lo hacen no muy representativo para fines de proyección, por lo cual en futuras actualizaciones y con mayor disponibilidad de datos se procederá a revisar las previsiones efectuadas.

MERCADO ELECTRICO

FACTORES DE FORMA DE LA CARGA

DATOS: SISTEMA NACIONAL
INTERCONECTADO

FACTORES HORARIOS

(PROMEDIOS HISTORICOS)

COEFICIENTES DE DISTRIBUCION HORARIA

HORA	DIA DE TRABAJO	DIA FERIADO	DIA SEMIFERIADO
1	0.77	0.77	0.82
2	0.73	0.73	0.78
3	0.71	0.71	0.76
4	0.71	0.71	0.75
5	0.71	0.72	0.76
6	0.77	0.77	0.79
7	0.82	0.81	0.81
8	0.91	0.89	0.88
9	1.02	1.00	0.96
10	1.07	1.04	1.01
11	1.10	1.08	1.04
12	1.11	1.09	1.07
13	1.07	1.06	1.04
14	1.07	1.05	1.02
15	1.08	1.06	1.02
16	1.09	1.05	1.01
17	1.06	1.14	1.10
18	1.13	1.43	1.42
19	1.39	1.44	1.44
20	1.39	1.34	1.36
21	1.30	1.19	1.21
22	1.15	1.00	1.03
23	0.98	-	-
24	0.85	0.87	0.90

MERCADO ELECTRICO

FACTORES DE FORMA DE LA CARGA

DATOS: SISTEMA NACIONAL
INTERCONECTADO

FACTORES DIARIOS

<u>TIPO DE DIA</u>	<u>FACTOR</u>	<u>1981*</u>	<u>1982*</u>	<u>1983*</u>	<u>1984</u>	<u>1985</u>	<u>1990</u>	<u>1995</u>	<u>2000</u>	<u>2005</u>	<u>2010</u>
TRABAJO	PONDERACION	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	RELAC.DE CARGA MIN/MAX	0.39	0.44	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
	FACTOR DE CARGA (%)	63.0	62.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	62.0	62.0	62.0
FERIADO	PONDERACION	0.77	0.99	1.08	1.07	1.07	1.04	1.02	1.00	0.97	0.95
	RELAC.DE CARGA MIN/MAX	0.50	0.42	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46
	FACTOR DE CARGA (%)	59.0	62.0	67.0	67.0	67.0	66.0	65.0	64.0	64.0	63.0
SEMIFERIADO	PONDERACION	0.86	0.82	1.03	1.02	1.02	0.99	0.97	0.95	0.92	0.90
	RELAC.DE CARGA MIN/MAX	0.46	0.46	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.45
	FACTOR DE CARGA (%)	58.0	53.0	65.0	65.0	65.0	63.0	62.0	61.0	60.0	59.0

* HISTORICOS

MERCADO ELECTRICO
FACTORES DE FORMA DE LA CARGA
FACTORES MENSUALES

AÑO	FACTOR	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1981	DE CARGA (%)	59.6	59.9	60.2	60.6	59.5	61.0	60.3	57.9	59.8	58.9	59.1	57.4
	VARIAC.ESTAC.(%)	103.6	93.4	104.8	99.8	100.6	97.9	99.4	97.0	98.7	101.1	99.4	105.0
	DIAS UTILES	29.5	26.4	29.4	28.4	29.2	28.4	29.4	29.2	28.4	29.3	28.5	30.2
1982	DE CARGA (%)	61.6	62.3	63.3	62.1	61.2	62.3	62.8	61.4	61.4	60.9	60.7	60.9
	VARIAC.ESTAC.(%)	103.7	93.5	104.6	100.3	102.9	100.0	100.3	98.7	97.2	99.1	97.1	103.2
	DIAS UTILES	30.0	27.0	30.0	29.3	29.8	29.1	30.1	29.9	29.1	29.9	29.1	30.6
1983	DE CARGA (%)	61.3	62.3	61.7	62.7	61.6	62.8	61.8	63.4	63.1	60.9	60.0	61.4
	VARIAC.ESTAC(%)	103.9	93.7	104.4	100.9	105.2	102.1	101.2	100.5	95.6	97.0	95.0	101.5
	DIAS UTILES	31.4	28.1	31.7	30.5	31.5	30.4	31.5	31.7	30.6	31.5	31.1	31.8
1984	DE CARGA (%)	61.3	62.3	61.7	62.7	61.6	62.8	61.8	63.3	63.0	60.9	60.0	61.3
	VARIAC.ESTAC (%)	103.9	93.7	104.4	100.9	105.1	102.0	101.2	100.4	95.7	97.1	95.1	101.6
	DIAS UTILES	31.3	28.1	31.6	30.4	31.4	30.3	31.4	31.6	30.5	31.4	31.0	31.8
1985	DE CARGA (%)	61.3	62.2	61.7	62.6	61.5	62.7	61.8	63.2	63.0	60.8	60.0	61.3
	VARIAC.ESTAC (%)	103.9	93.7	104.4	100.9	105.0	101.9	101.1	100.4	95.7	97.2	95.2	101.6
	DIAS UTILES	31.3	28.0	31.6	30.4	31.4	30.3	31.4	31.6	30.5	31.4	30.9	31.7
1990	DE CARGA (%)	61.2	62.1	61.7	62.5	61.4	62.6	61.7	62.7	62.7	60.7	60.0	61.0
	VARIAC.ESTAC (%)	103.8	93.6	104.5	100.7	104.6	101.6	101.0	100.0	96.0	97.5	95.6	101.9
	DIAS UTILES	31.0	27.8	31.3	30.1	31.1	30.0	31.1	31.3	30.2	31.1	30.5	31.6
1995	DE CARGA (%)	61.1	61.9	61.7	62.3	61.2	62.4	61.7	62.3	62.3	60.6	60.0	60.7
	VARIAC.ESTAC (%)	103.8	93.6	104.5	100.6	104.2	101.2	100.8	99.7	96.3	97.9	96.0	102.3
	DIAS UTILES	30.8	27.6	30.9	29.8	30.8	29.8	30.8	30.9	29.9	30.8	30.1	31.4
2000	DE CARGA (%)	61.0	61.8	61.7	62.1	61.1	62.3	61.7	61.8	62.0	60.5	59.9	60.5
	VARIAC.ESTAC (%)	103.8	93.6	104.5	100.5	103.7	100.8	100.6	99.4	96.6	98.3	96.4	102.6
	DIAS UTILES	30.5	27.4	30.6	29.5	30.5	29.5	30.5	30.6	29.6	30.5	29.8	31.3
2005	DE CARGA (%)	60.9	61.6	61.7	62.0	60.9	62.1	61.6	61.4	61.7	60.3	59.9	60.2
	VARIAC.ESTAC (%)	103.7	93.5	104.6	100.4	103.3	100.4	100.5	99.0	96.9	98.7	96.8	102.9
	DIAS UTILES	30.3	27.2	30.3	29.3	30.3	29.3	30.3	30.3	29.3	30.3	29.4	31.1
2010	DE CARGA (%)	60.8	61.5	61.7	61.8	60.8	62.0	61.6	60.9	61.4	60.2	59.9	59.9
	VARIAC.ESTAC (%)	103.7	93.5	104.6	100.4	102.9	100.0	100.3	98.7	97.2	99.1	97.2	103.2
	DIAS UTILES	30.0	27.0	30.0	29.0	30.0	29.0	30.0	30.0	29.0	30.0	29.0	31.0

MERCADO ELECTRICO

FACTORES DE FORMA DE LA CARGA

DATOS: SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

FACTORES ANUALES

<u>AÑO</u>	<u>DIAS UTILES ANUALES</u>	<u>FACTOR DE CARGA ANUAL (%)</u>	<u>RELACION DE CARGAS MAXIMAS</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
1981	345	54.0	1.23	Datos Históricos
1982	352	57.0	1.21	" "
1983	370	60.0	1.20	" "
1984	369	60.0	1.20	Datos Proyectados
1985	369	60.0	1.20	" "
1990	366	60.0	1.20	" "
1995	364	60.0	1.20	" "
2000	361	60.0	1.21	" "
2005	358	60.0	1.21	" "
2010	356	60.0	1.21	" "

