



**Comisión de Regulación
de Energía y Gas**

**METODOLOGÍA Y CÁLCULO DE
LOS CARGOS MÁXIMOS EFICIENTES
DEFINIDOS EN LA RESOLUCIÓN CREG 082 DE 2003**

**DOCUMENTO CREG-029
JUNIO 19 DE 2002**

**CIRCULACIÓN:
MIEMBROS DE LA COMISIÓN
DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS**

METODOLOGÍA Y CÁLCULO DE CARGOS MÁXIMOS EFICIENTES RESOLUCIÓN CREG 082-2002

Este documento presenta la metodología y cálculo de los cargos máximos eficientes definidos en la Resolución CREG 082 de 2003, para activos de uso correspondiente a unidades constructivas diferentes a líneas radiales en nivel de tensión 4 y para los activos en los niveles de tensión 3 y 2. Se muestran las estimaciones realizadas para cada uno de los cargos previstos en la resolución y se desarrollan las consideraciones que han sido tenidas en cuenta en el cálculo de dichos cargos.

I. Introducción

En el anexo No. 8 de la Resolución CREG 082 de 2002 se definieron los siguientes criterios para determinar el cargo máximo eficiente a reconocer para los niveles de tensión 4, 3 y 2:

“ ...

1.1. Otros Activos de uso correspondientes a unidades constructivas diferentes a líneas radiales

Para activos diferentes a líneas radiales se determina un Cargo Máximo eficiente a reconocer (CME_4), el cual se calculará así:

a. Para cada uno de los Operadores de Red, se determina el Costo Medio de activos diferentes a líneas radiales del Nivel de Tensión ($CMNR_{j,4}$), así:

$$CMNR_{j,4} = \frac{\sum_{i=1}^{NNR_{j,4}} \left(CR_i * PU_i * \frac{r}{1 - (1+r)^{-Vi}} \right) + CAET_{j,4} + \frac{CASN_j}{Ns_j} * Ds_{j,4}}{Eu_{j,4}}$$

donde:

$NNR_{j,4}$: Numero total de unidades constructivas diferentes a unidades de líneas radiales, del Nivel de Tensión 4, reportados por el OR j . No se deben considerar activos las unidades constructivas asociadas con líneas “normalmente abiertas”, o con activos que usualmente no son utilizados en la prestación del servicio.

CR_i : Costo de Reposición a nuevo para la unidad constructiva i .

PU_i : Fracción del costo de la Unidad Constructiva i , que es remunerada vía cargos por uso de los STR o SDL.

- r : Tasa de Descuento reconocida, en términos constantes y antes de impuestos, para remuneración por la Metodología de Ingreso Máximo. Su valor es 14.06%.
- V_i : Vida útil en años, reconocida para la unidad constructiva i .
- $CAET_{j,4}$: Costo Anual de Terrenos para el Nivel de Tensión 4 del OR j . Aplica exclusivamente a las Unidades Constructivas de Subestaciones, y se calcula según lo dispuesto en el literal d. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.
- $CASN_j$: Costo Anual de Unidades Constructivas que no se asocian con un Nivel de Tensión específico. Este costo se determina según lo establecido en el literal e. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.
- Ns_j : Número Total de Niveles de Tensión distintos al Nivel de Tensión 1 (máximo 3), para los cuales el OR j reporta activos de uso.
- $Ds_{j,4}$: Variable que toma los valores 1 ó 0. Su valor es 1 cuando el OR j reporta activos de uso para el Nivel de Tensión 4.
- $Eu_{j,4}$: Energía útil del Nivel de Tensión 4 del Operador de Red j .

b. Para los valores calculados según el literal anterior, se lleva a cabo una prueba de normalidad.

c. En caso que la muestra sea normal, se establece el Cargo Máximo Eficiente a reconocer, considerando una probabilidad máxima de 57% de que el costo medio de cualquier OR sea inferior a este valor, así:

$$CME_4 = CM_4 + ND * DS_4$$

donde:

- CME_4 : Cargo Máximo Eficiente para activos diferentes a líneas radiales en el Nivel de Tensión 4 (\$/kWh colombianos del mes de diciembre de 2001).
- CM_4 : Promedio de la totalidad de Costos Medios, calculados según lo dispuesto en el literal a.
- ND : Número de desviaciones estándar. Para una probabilidad del 57% corresponde a 0.1764
- DS_4 : Desviación Estándar de la totalidad de Costos Medios, calculados según lo dispuesto en el literal a.

En caso que la muestra no sea normal, se normaliza utilizando la transformación Box-Cox, y se calcula el Cargo Máximo Eficiente a reconocer, así:

$$CME_4 = (1 + \lambda CME_4)^\lambda$$

donde:

CME_4 : Cargo Máximo Eficiente para activos diferentes a líneas radiales en el Nivel de Tensión 4 (\$/kWh colombianos del mes de diciembre de 2001).

λ : Parámetro de la transformación.

$CMET_4$: Cargo Máximo Eficiente Transformado para activos diferentes a líneas radiales en el Nivel de Tensión 4 (\$/kWh colombianos del mes de diciembre de 2001). Esta variable se calcula así:

$$CMET_4 = CMT_4 + ND * DST_4$$

donde:

CMT_4 : Promedio de la totalidad de Costos Medios (calculados según lo dispuesto en el literal a) Transformados.

ND : Número de desviaciones estándar. Para una probabilidad del 57% corresponde a 0.1764

DS_4 : Desviación Estándar de la totalidad de Costos Medios, (calculados según lo dispuesto en el literal a) Transformados.

2. CARGO MÁXIMO EFICIENTE PARA EL NIVEL DE TENSIÓN 3 (CME_3)

El cargo máximo eficiente para el Nivel de Tensión 3 se calcula de manera análoga al procedimiento descrito en el numeral 1.2 de este Anexo, pero utilizando los Costos Medios del Nivel de Tensión 3 de cada OR ($CMNR_{j,3}$), estimados así:

$$CM_{j,3} = \frac{\sum_{i=1}^{NNR_{j,3}} \left(CR_i * PU_i * \frac{r}{1 - (1+r)^{-Vi}} \right) + CAET_{j,3} + \frac{CASN_j * DS_{j,3}}{Ns_j}}{Eu_{j,3}}$$

donde:

$NNR_{j,3}$: Numero total de unidades constructivas del Nivel de Tensión 3, reportados por el OR j . No se deben considerar activos las unidades constructivas

asociadas con líneas "normalmente abiertas", o con activos que usualmente no son utilizados en la prestación del servicio.

CR_i : Costo de Reposición a nuevo para la unidad constructiva i .

PU_i : Fracción del costo de la Unidad Constructiva i , que es remunerada vía cargos por uso de los STR o SDL.

r : Tasa de Descuento reconocida, en términos constantes y antes de impuestos, para remuneración por la Metodología de Ingreso Máximo. Su valor es 16.06%.

V_i : Vida útil en años, reconocida para la unidad constructiva i .

$CAET_{j,3}$: Costo Anual de Terrenos para el Nivel de Tensión 3 del OR j . Aplica exclusivamente a las Unidades Constructivas de Subestaciones, y se calcula según lo dispuesto en el literal d. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.

$CASN_j$: Costo Anual de Unidades Constructivas que no se asocian con un Nivel de Tensión específico. Este costo se determina según lo establecido en el literal e. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.

N_{sj} : Número Total de Niveles de Tensión distintos al Nivel de Tensión 1 (máximo 3), para los cuales el OR j reporta activos de uso.

$D_{sj,3}$: Variable que toma los valores 1 ó 0. Su valor es 1 cuando el OR j reporta activos de uso para el Nivel de Tensión 3.

$Eu_{j,3}$: Energía útil del Nivel de Tensión 3 del Operador de Red j .

3. CARGOS MÁXIMOS EFICIENTES DEL NIVEL DE TENSIÓN 2

Para este Nivel de Tensión se determinan los siguientes Cargos Máximos Eficientes:

3.1 Cargo Máximo Eficiente a reconocer para activos de uso correspondientes a líneas urbanas ($CMEU_2$)

Este Cargo Máximo Eficiente se calcula de manera análoga al procedimiento descrito en el numeral 1.2 de este Anexo, pero utilizando los Costos Medios de líneas urbanas de Nivel de Tensión 2 de cada OR ($CMU_{j,2}$), estimados así:

$$CMU_{j,2} = \frac{\sum_{i=1}^{NLU_{j,2}} \left(CR_i * \frac{r}{1 - (1+r)^{-Vi}} \right)}{Euu_{j,2}}$$

donde:

NLU_{j,2}: Número total de Unidades Constructivas correspondientes a líneas urbanas del Nivel de Tensión 2, reportadas por el OR j. No se deben considerar las unidades constructivas asociadas con líneas "normalmente abiertas".

CR_i: Costo de Reposición a nuevo para la unidad constructiva i.

r: Tasa de Descuento reconocida, en términos constantes y antes de impuestos, para remuneración por la Metodología de Precio Máximo. Su valor es 16.06%.

Vi: Vida útil en años, reconocida para la unidad constructiva i.

Euu_{j,2}: Energía útil urbana del Nivel de Tensión 2 del Operador de Red j. Esta energía se estima según lo establecido en el numeral 2 del Anexo No. 7 de la presente Resolución.

3.2 Cargo Máximo eficiente a reconocer para activos de uso correspondientes a líneas rurales (CMER₂)

Este Cargo Máximo Eficiente se calcula de manera análoga al procedimiento descrito en el numeral 1.2 de este Anexo, pero utilizando los Costos Medios de líneas rurales de Nivel de Tensión 2 de cada OR (CMR_{j,2}), estimados así:

$$CAR_{j,2} = \frac{\sum_{i=1}^{NLR_{j,2}} \left(CR_i * \frac{r}{1 - (1+r)^{-Vi}} \right)}{Eur_{j,2}}$$

donde:

NLR_{j,2}: Número total de Unidades Constructivas correspondientes a líneas rurales del Nivel de Tensión 2, reportadas por el OR j. No se deben considerar las unidades constructivas asociadas con líneas "normalmente abiertas".

CR_i: Costo de Reposición a nuevo para la unidad constructiva i.

- r: Tasa de Descuento reconocida, en términos constantes y antes de impuestos, para remuneración por la Metodología de Precio Máximo. Su valor es 16.06%.
- Vi: Vida útil en años, reconocida para la unidad constructiva i.
- Eur_{j,2}: Energía útil rural del Nivel de Tensión 2 del Operador de Red j. Esta energía se estima según lo establecido en el numeral 2 del Anexo No. 7 de la presente Resolución.

3.3 Cargo Máximo eficiente a reconocer para activos de uso diferentes a líneas urbanas y rurales (CMEO₂)

Este Cargo Máximo Eficiente se calcula de manera análoga al procedimiento descrito en el numeral 1.2 de este Anexo, pero utilizando los Costos Medios de activos diferentes a líneas urbanas y rurales de Nivel de Tensión 2 de cada OR (CMO_{j,2}), estimados así:

$$CMO_{j,2} = \frac{\sum_{i=1}^{NNL_{j,2}} \left(CR_i * PU_i * \frac{r}{1 - (1+r)^{-Vi}} \right) + CAET_{j,2} + \frac{CASN_j * Ds_{j,2}}{Ns_j}}{Eu_{j,2}}$$

donde:

- NNL_{j,2}: Número total de Unidades Constructivas correspondientes a activos de uso diferentes a líneas urbanas y rurales, del Nivel de Tensión 2, reportadas por el OR j. No se deben considerar las unidades constructivas asociadas con líneas "normalmente abiertas" o con activos que usualmente no son utilizados en la prestación del servicio
- CR_i: Costo de Reposición a nuevo para la unidad constructiva i.
- r: Tasa de Descuento reconocida, en términos constantes y antes de impuestos, para remuneración por la Metodología de Precio Máximo. Su valor es 16.06%.
- Vi: Vida útil en años, reconocida para la unidad constructiva i.
- CAET_{j,2}: Costo Anual de Terrenos para el Nivel de Tensión 2 del OR j. Aplica exclusivamente a las Unidades Constructivas de Subestaciones, y se calcula según lo dispuesto en el literal d. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.

- CASN_j: Costo Anual de Unidades Constructivas que no se asocian con un Nivel de Tensión específico. Este costo se determina según lo establecido en el literal e. del numeral 1.1 del Anexo No. 1.
- N_{sj}: Número Total de Niveles de Tensión distintos al Nivel de Tensión 1 (máximo 3), para los cuales el OR *j* reporta activos de uso.
- D_{sj,2}: Variable que toma los valores 1 ó 0. Su valor es 1 cuando el OR *j* reporta activos de uso para el Nivel de Tensión 2.
- Eu_{j,2}: Energía útil del Nivel de Tensión 2 del Operador de Red *j*. Esta energía se estima según lo establecido en el numeral 2 del Anexo No. 7 de la presente Resolución.

“

II. Metodología de Cálculo

De acuerdo con la información presentada por los operadores de red para la aprobación de los cargos por uso y aplicando la metodología descrita en el capítulo anterior, se presentan los siguientes resultados:

Las empresas que se mencionan a continuación se excluirán de la estimación de los niveles de eficiencia establecidos en la Resolución CREG 082 de 2003:

1. La Empresa de Energía del Bajo Putumayo S.A. E.S.P., la cual no ha enviado a la fecha de esta estimación las aclaraciones solicitadas por la CREG mediante Radicado S-2003-001646 de 14 de mayo de 2003. Dichas aclaraciones son requeridas para continuar con el proceso de estimación de los cargos por uso de los STR y SDL de la empresa.
2. Codensa S.A. E.S.P. fue excluida de este cálculo ya que mediante resolución CREG 028 de 2003 se rechazó la información para el establecimiento de cargos por uso de los STR y SDL de la empresa.
3. La empresa Ruitoque E.S.P. fue excluida de este cálculo debido a que se requiere aclarar la ubicación de los activos de la empresa que se remunerarán a través de cargos por uso, con el fin de determinar su calidad urbana o rural. Para este efecto la CREG mediante comunicación S-2003-001891 de 4 de junio de 2003 solicitó a la Alcaldía del Municipio de Floridablanca la certificación al respecto.

2.1 Nivel 4: Costos medios de otros Activos de uso correspondientes a unidades constructivas diferentes a líneas radiales

En la siguiente tabla se muestra el costo medio de activos diferentes a líneas radiales del nivel de tensión 4 ($CMNR_{j,4}$) obtenidos a partir de la información revisada de los Operadores de Red.

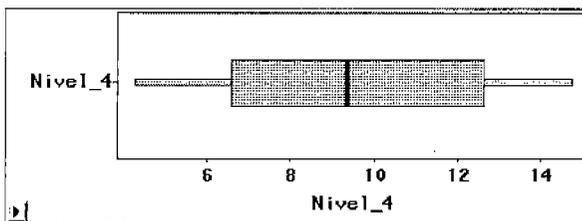
Para el cálculo del Cargo Máximo Eficiente no se incluyen los Operadores de Red cuyos activos de Nivel de Tensión 4 correspondan principalmente a líneas radiales y utilicen en gran parte activos de Nivel de Tensión 4 de otros Operadores de Red.

Operador de red	CMNR _{j,4}
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	10.6276
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P	13.1029
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	11.7331
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	12.6514
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P	9.3437
Electrificadora de la Costa Atlántica S.A. E.S.P.	12.8712
Empresa Antioqueña de Energía S.A. E.S.P.	14.8072
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	6.5851
Empresas Publicas de Medellín E.S.P.	8.3190
Electrificadora de Santander S.A.	8.2299
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	5.7498
Empresa de Energía del Pacifico S.A. E.S.P	6.5260
Electrificadora del Tolima S.A. E.S.P.	4.2957

Tabla 1. Costos medios diferentes a líneas radiales del nivel de tensión 4

Para los valores presentados en la tabla anterior se realizó una prueba de normalidad usando el estadístico de Shapiro – Wilk. El valor crítico utilizado para la prueba es 0.01.

La hipótesis nula es que los datos provienen de una población normal, por lo tanto si el p-valor es menor que 0.01 la hipótesis nula es rechazada y se concluye que la población no es normal.



Tests for Normality		
Test Statistic	Value	p-value
Shapiro-Wilk	0.956307	0.6960
Kolmogorov-Smirnov	0.130409	>.1500
Cramer-von Mises	0.041929	>.2500
Anderson-Darling	0.265535	>.2500

Moments			
N	13.0000	Sum Wgts	13.0000
Mean	9.6033	Sum	124.8426
Std Dev	3.2925	Variance	10.8405
Skewness	-0.0286	Kurtosis	-1.2305
USS	1328.9841	CSS	130.0857
CV	34.2850	Std Mean	0.9132

Quantiles			
100% Max	14.8072	99.0%	14.8072
75% Q3	12.6514	97.5%	14.8072
50% Med	9.3437	95.0%	14.8072
25% Q1	6.5851	90.0%	13.1029
0% Min	4.2957	10.0%	5.7498
Range	10.5116	5.0%	4.2957
Q3-Q1	6.0662	2.5%	4.2957
Mode	.	1.0%	4.2957

La prueba de Shapiro – Wilk nos entrega un p-valor de 0.6960 el cual es mayor que 0.01, aceptándose la hipótesis de normalidad.

Como la muestra es normal, se establece el cargo máximo eficiente a reconocer, considerando una probabilidad máxima de 57% de que el costo medio de cualquier OR sea inferior a este valor, así:

$$CME_4 = CM_4 + ND * DS_4$$

donde:

CME₄: Es el cargo máximo eficiente para activos diferentes a líneas radiales en el Nivel de Tensión 4 (10.1841)

CM₄: Es el promedio de la totalidad de costos medios (9.6033).

ND: Es el número de desviaciones estándar (0.1764).

DS₄: Es la desviación estándar de la totalidad de costos medios (3.2925).

2.2 Nivel 3: Costos medios del nivel de tensión 3

En la siguiente tabla se muestra el costo medio del nivel de tensión 3 ($CM_{j,3}$) obtenido a partir de la información revisada de los Operadores de Red.

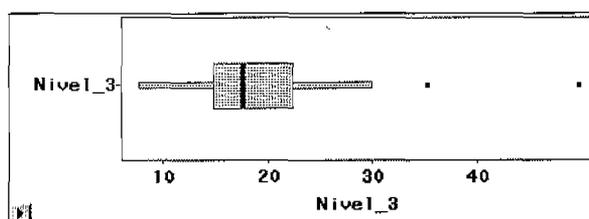
Operadores de red	$CM_{j,3}$
Empresa de Energía de Arauca E.S.P	49.7990
Electrificadora del Caquetá S.A. E.S.P	15.9810
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	15.3331
Empresas Municipales de Cartago S.A. E.S.P.	18.1205
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P	28.3585
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	7.9815
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	17.2653
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P	16.4903
Electrificadora de la Costa Atlántica S.A. E.S.P.	22.2289
Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P	16.7881
Distribuidora del Pacífico S.A. E.S.P	27.2048
Empresa Antioqueña de Energía S.A. E.S.P.	18.1505
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	28.4729
Empresas Municipales de Cali Eice	10.7879
Empresas Municipales de Energía Eléctrica S.A. E.S.P.	16.5893
Empresas Publicas de Medellín E.S.P.	9.3395
Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.	7.7646
Electrificadora de Santander S.A. E.S.P	14.8605
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	21.5131
Empresa de Energía del Pacífico S.A. E.S.P	29.9615
Electrificadora del Meta S.A. E.S.P	18.9520
Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P.	22.0186

Operadores de red	CM _{j,3}
Compañía de Electricidad de Tulúa S.A. E.S.P	22.3953
Empresa de Energía del Valle de Sibundoy S.A. E.S.P.	35.2250

Tabla 2. Costos medios del nivel de tensión 3

Para los valores presentados en la tabla anterior se realizó una prueba de normalidad usando el estadístico de Shapiro – Wilk . El valor crítico utilizado para la prueba es 0.01.

La hipótesis nula es que los datos provienen de una población normal, por lo tanto si el p–valor es menor que 0.01 la hipótesis nula es rechazada y se concluye que la población no es normal.



Tests for Normality		
Test Statistic	Value	p-value
Shapiro-Wilk	0.894635	0.0119
Kolmogorov-Smirnov	0.157367	0.0947
Cramer-von Mises	0.115415	0.0690
Anderson-Darling	0.725682	0.0512

Moments			
N	26.0000	Sum Wgts	26.0000
Mean	19.7226	Sum	512.7867
Std Dev	9.4049	Variance	88.4527
Skewness	1.3930	Kurtosis	2.9398
USS	12324.7857	CSS	2211.3177
CV	47.6861	Std Mean	1.8445

Quantiles			
100% Max	49.7990	99.0%	49.7990
75% Q3	22.3953	97.5%	49.7990
50% Med	17.6929	95.0%	35.2250
25% Q1	14.8605	90.0%	29.9615
0% Min	7.7646	10.0%	9.3395
Range	42.0344	5.0%	7.9815
Q3-Q1	7.5347	2.5%	7.7646
Mode	.	1.0%	7.7646

La prueba de Shapiro – Wilk nos entrega un p- valor de 0.0119 el cual es mayor que 0.01, aceptándose la hipótesis de normalidad.

Como la muestra es normal, se establece el cargo máximo eficiente a reconocer, considerando una probabilidad máxima de 57% de que el costo medio de cualquier OR sea inferior a este valor, así:

$$CME_3 = CM_3 + ND * DS_3$$

donde:

CME₃: Es el cargo máximo eficiente para activos de nivel de tensión 3 (21.3816).

CM₃: Es el promedio de la totalidad de costos medios (19.7226).

ND: Es el número de desviaciones estándar (0.1764).

DS₃: Es la desviación estándar de la totalidad de costos medios (9.4049).

2.3 Costos de Nivel 2

2.3.1 Costos medios de líneas urbanas de nivel de tensión 2 de cada operador de red

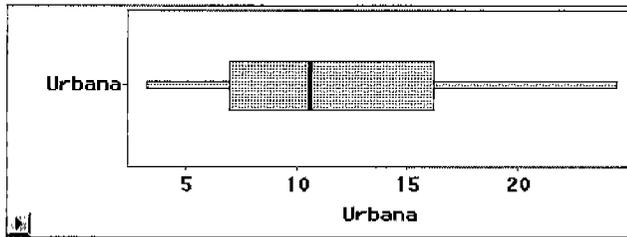
En la siguiente tabla se describe el costo medio de líneas urbanas del nivel de tensión 2 ($CMU_{j,2}$) obtenido a partir de la información revisada de los Operadores de Red.

Operadores de red	$CMU_{j,2}$
Empresa de Energía de Arauca E.S.P	17.0140
Electrificadora del Caquetá S.A. Esp.	11.7789
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	4.4895
Empresas Municipales de Cartago S.A. E.S.P.	5.7726
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P	16.2743
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	10.6257
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	8.8605
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P	17.2320
Electrificadora de la Costa Atlántica S.A. E.S.P.	6.2059
Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P	14.4288
Distribuidora del Pacifico S.A. E.S.P	3.2641
Empresa Antioqueña de Energía S.A. E.S.P.	19.8116
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	13.3468
Empresas Municipales de Cali Eice	6.5574
Empresas Publicas de Medellín E.S.P.	11.7031
Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.	5.5284
Electrificadora de Santander S.A.	9.4242
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	7.0000
Empresa de Energía del Pacifico S.A. E.S.P	12.7566
Electrificadora del Meta S.A. Esp.	7.1567
Empresa de Energía del Putumayo S.A E.S.P.	16.7102
Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P.	16.2202
Electrificadora del Tolima S.A. Esp	9.0549
Compañía de Electricidad de Tulúa S.A. Esp.	9.5024
Empresa de Energía del Valle de Sibundoy S.A. E.S.P.	24.5707

Tabla 3. Costos medios de líneas urbanas del nivel de tensión 2

Para los valores presentados en la tabla anterior se realizó una prueba de normalidad usando el estadístico de Shapiro – Wilk . El valor crítico utilizado para la prueba es 0.01.

La hipótesis nula es que los datos provienen de una población normal, por lo tanto si el p–valor es menor que 0.01 la hipótesis nula es rechazada y se concluye que la población no es normal.



Tests for Normality		
Test Statistic	Value	p-value
Shapiro-Wilk	0.957933	0.3748
Kolmogorov-Smirnov	0.119306	>.1500
Cramer-von Mises	0.054006	>.2500
Anderson-Darling	0.360416	>.2500

Moments			
N	25.0000	Sum Wgts	25.0000
Mean	11.4116	Sum	285.2895
Std Dev	5.3538	Variance	28.6632
Skewness	0.5719	Kurtosis	-0.1518
USS	3943.5199	CSS	687.9168
CV	46.9155	Std Mean	1.0708

Quantiles			
100% Max	24.5707	99.0%	24.5707
75% Q3	16.2202	97.5%	24.5707
50% Med	10.6257	95.0%	19.8116
25% Q1	7.0000	90.0%	17.2320
0% Min	3.2641	10.0%	5.5284
Range	21.3066	5.0%	4.4895
Q3-Q1	9.2201	2.5%	3.2641
Mode	.	1.0%	3.2641

La prueba de Shapiro – Wilk nos entrega un p-valor de 0.3748 el cual es mayor que 0.01, aceptándose la hipótesis de normalidad.

Como la muestra es normal, se establece el cargo máximo eficiente a reconocer, considerando una probabilidad máxima de 57% de que el costo medio de cualquier OR sea inferior a este valor, así:

$$CMEU_2 = CMU_2 + ND * DSU_2$$

$CMEU_2$: Es el cargo máximo eficiente para líneas urbanas del nivel de tensión 2 (12.3560).

CMU_2 : Es el promedio de la totalidad de costos medios (11.4116).

ND : Es el número de desviaciones estándar (0.1764).

DSU_2 : Es la desviación estándar de la totalidad de costos medios (5.3538).

2.3.2 Nivel 2: Costos medios de líneas rurales de nivel de tensión 2 de cada operador de red

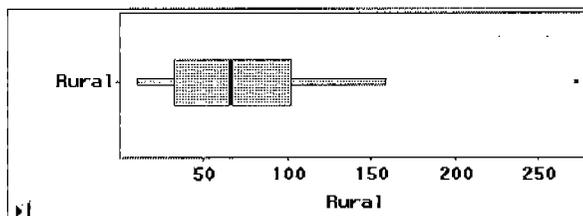
En la siguiente tabla se describe el costo medio de líneas rurales del nivel de tensión 2 ($CAR_{j,2}$) obtenidos a partir de la información revisada de los Operadores de Red.

Operadores de red	$CAR_{j,2}$
Empresa de Energía de Arauca E.S.P	157.8197
Electrificadora del Caquetá S.A. E.S.P	102.6780
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	30.1211
Empresas Municipales de Cartago S.A. E.S.P.	30.4887
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P	87.1001
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	65.1124
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	99.5407
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P	55.7874
Electrificadora de la Costa Atlántica S.A. E.S.P.	32.7928
Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P	68.3802
Distribuidora del Pacifico S.A. E.S.P	85.8904
Empresa Antioqueña de Energía S.A. E.S.P.	156.6853
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	152.3399
Empresas Municipales de Cali Eice	22.5978
Empresas Municipales de Energía Eléctrica S.A. E.S.P.	53.0767
Empresas Publicas de Medellín E.S.P.	30.9326
Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.	24.2771
Electrificadora de Santander S.A. E.S.P	63.3893
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	74.4574
Empresa de Energía del Pacifico S.A. E.S.P	42.6302
Electrificadora del Meta S.A. E.S.P	272.3367
Empresa de Energía del Putumayo S.A E.S.P.	101.7820
Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P.	55.0350
Electrificadora del Tolima S.A. E.S.P	102.4961
Compañía de Electricidad de Tulúa S.A. E.S.P	11.0053
Empresa de Energía del Valle de Sibundoy S.A. E.S.P.	95.5129

Tabla 4. Costos medios de líneas rurales del nivel de tensión 2

Para los valores presentados en la tabla anterior se realizó una prueba de normalidad usando el estadístico de Shapiro – Wilk . El valor crítico utilizado para la prueba es 0.01.

La hipótesis nula es que los datos provienen de una población normal, por lo tanto si el p–valor es menor que 0.01 la hipótesis nula es rechazada y se concluye que la población no es normal.



Tests for Normality		
Test Statistic	Value	p-value
Shapiro-Wilk	0.854698	0.0018
Kolmogorov-Smirnov	0.189977	0.0169
Cramer-von Mises	0.146937	0.0241
Anderson-Darling	0.983873	0.0118

Moments				Quantiles			
N	26.0000	Sum Wgts	26.0000	100% Max	272.3367	99.0%	272.3367
Mean	79.7795	Sum	2074.2661	75% Q3	101.7820	97.5%	272.3367
Std Dev	56.9540	Variance	3243.7616	50% Med	66.7463	95.0%	157.8197
Skewness	1.6992	Kurtosis	4.0676	25% Q1	32.7928	90.0%	156.6853
USS	246577.885	CSS	81094.0396	0% Min	11.0053	10.0%	24.2771
CV	71.3893	Std Mean	11.1696	Range	261.3314	5.0%	22.5978
				Q3-Q1	68.9893	2.5%	11.0053
				Mode	.	1.0%	11.0053

La prueba de Shapiro – Wilk nos entrega un p-valor de 0.0018 el cual es menor que 0.01, no aceptándose la hipótesis de normalidad.

En este caso la muestra no es normal, para normalizarla se utiliza la transformación Box-Cox:

$$CAR_{j,2}^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(CAR_{j,2}^{\lambda} - 1)}{\lambda} & \text{cuando } \lambda \neq 0 \\ \log(CAR_{j,2}) & \text{cuando } \lambda = 0 \end{cases}$$

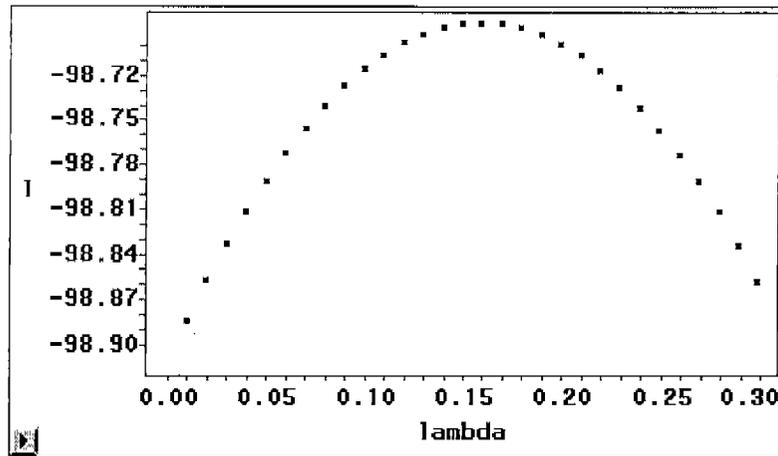
La selección del valor λ se obtiene maximizando la función¹:

$$L(\lambda) = -\frac{n}{2} \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j^{\lambda} - \bar{x}^{\lambda})^2 \right] + (\lambda - 1) \sum_{j=1}^n \ln x_j$$

con \bar{x}^{λ} definido como el promedio aritmético de las observaciones transformadas:

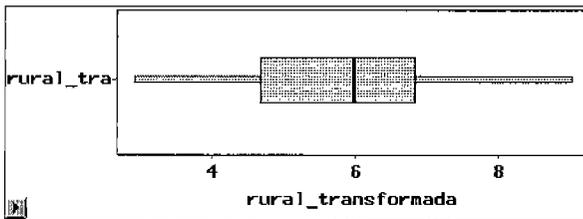
$$\bar{x}^{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j^{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j^{\lambda} - 1}{\lambda} \right)$$

¹ Ioannis C. Dimakos, Syracuse University, Computing & Media Services. Power Transformations Using SAS/IML® Software (<http://www2.sas.com/proceedings/sugi22/CODERS/PAPER95.PDF>)



Gráfica de los lambda VS $L(\lambda)$

El valor de λ que maximiza la función $L(\lambda)$ es $\lambda = 0.16$, seleccionando este valor los resultados son:



Tests for Normality		
Test Statistic	Value	p-value
Shapiro-Wilk	0.983443	0.9373
Kolmogorov-Smirnov	0.104711	>.1500
Cramer-von Mises	0.035603	>.2500
Anderson-Darling	0.235303	>.2500

Moments			
N	26.0000	Sum Wgts	26.0000
Mean	5.9596	Sum	154.9503
Std Dev	1.3952	Variance	1.9466
Skewness	-0.0085	Kurtosis	0.0070
USS	972.1097	CSS	48.6643
CV	23.4108	Std Mean	0.2736

Quantiles			
100% Max	9.0784	99.0%	9.0784
75% Q3	6.8451	97.5%	9.0784
50% Med	5.9897	95.0%	7.7971
25% Q1	4.6746	90.0%	7.7809
0% Min	2.9235	10.0%	4.1615
Range	6.1549	5.0%	4.0427
Q3-Q1	2.1705	2.5%	2.9235
Mode	.	1.0%	2.9235

Se calcula el cargo máximo eficiente a reconocer, así:

$$CMER_2 = (1 + \lambda * CMERT_2)^{\lambda}$$

donde:

$CMER_2$: Es el cargo máximo eficiente para líneas rurales del nivel de tensión 2 (74.4404).

λ : Es el parámetro de la transformación (0.16).

$CMERT_2$: Es el cargo máximo eficiente transformado para líneas rurales del nivel de tensión 2 (6.2057) y su calculo es:

$$CMERT_2 = CMRT_2 + ND * DSRT_2$$

donde:

CMERT₂: Es el promedio de la totalidad de costos medios transformados (5.9596)

ND: El número de desviaciones estándar (0.1764).

DSRT₂: Es la desviación estándar de la totalidad de costos medios transformados (1.3952).

2.3.3 Nivel 2: Costos medios de activos diferentes a líneas urbanas y rurales de nivel de tensión 2.

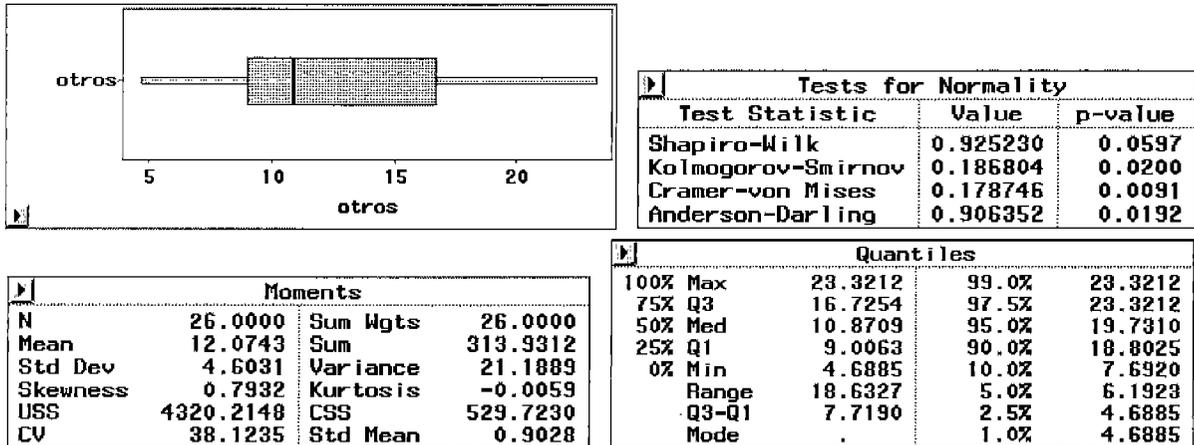
En la siguiente tabla se describe el costo medio activos diferentes a líneas urbanas y rurales de nivel de tensión 2 ($CMO_{j,2}$) obtenidos a partir de la información revisada de los Operadores de Red.

Operadores de red	$CMO_{j,2}$
Empresa de Energía de Arauca E.S.P	19.7310
Electrificadora del Caquetá S.A. E.S.P	9.0063
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	6.1923
Empresas Municipales de Cartago S.A. E.S.P.	10.3743
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P	11.3704
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	9.6034
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	8.8762
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P	12.9072
Electrificadora de la Costa Atlántica S.A. E.S.P.	7.7724
Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P	12.1378
Distribuidora del Pacifico S.A. E.S.P	4.6885
Empresa Antioqueña de Energía S.A. E.S.P.	18.0429
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	10.1074
Empresas Municipales de Cali Eice	8.1932
Empresas Municipales de Energía Eléctrica S.A. E.S.P.	23.3212
Empresas Publicas de Medellín E.S.P.	7.6920
Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.	9.5227
Electrificadora de Santander S.A.	9.7190
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	11.4963
Empresa de Energía del Pacifico S.A. E.S.P	17.1275
Electrificadora del Meta S.A. E.S.P	10.2000
Empresa de Energía del Putumayo S.A E.S.P.	18.8025
Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P.	17.0241
Electrificadora del Tolima S.A. E.S.P	11.9296
Compañía de Electricidad de Tulúa S.A. E.S.P	16.7254
Empresa de Energía del Valle de Sibundoy S.A. E.S.P.	11.3675

Tabla 5. Costos medios de activos diferentes a líneas urbanas y rurales del nivel de tensión 2

Para los valores presentados en la tabla anterior se realizó una prueba de normalidad usando el estadístico de Shapiro – Wilk . El valor crítico utilizado para la prueba es 0.01.

La hipótesis nula es que los datos provienen de una población normal, por lo tanto si el p–valor es menor que 0.01 la hipótesis nula es rechazada y se concluye que la población no es normal.



La prueba de Shapiro – Wilk nos entrega un p-valor de 0.0597 el cual es mayor que 0.01, aceptándose la hipótesis de normalidad.

Como la muestra es normal, se establece el Cargo Máximo Eficiente a reconocer, considerando una probabilidad máxima de 57% de que el costo medio de cualquier OR sea inferior a este valor, así:

$$CMEO_2 = CMO_2 + ND * DSO_2$$

CMEO₂: Es el cargo máximo eficiente para líneas urbanas del nivel de tensión 2, (12.8863)

CMO₂: Es el promedio de la totalidad de costos medios (12.0743).

ND: Es el número de desviaciones estándar (0.1764)

DSO₂: Es la desviación estándar de la totalidad de costos medios (4.6031)

III. Pruebas de normalidad

A continuación se describen las pruebas de normalidad analizadas y se describen sus principales características, para efectos de mostrar las consideraciones teóricas que ha tenido en cuenta la CREG cuando determinó la aplicación de la prueba de normalidad Shapiro Wilk.

1. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

Esta prueba calcula el estadístico W , la cual permite determinar si una muestra aleatoria proviene de una distribución normal. Esta prueba es aplicable para muestras con tamaños de entre 10 y 2000 observaciones.

El estadístico W calculado es como sigue:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

donde los $x_{(i)}$ son los valores de la muestra ordenada ($x_{(1)}$ es el más pequeño) y los a_i son las constantes generadas de las medias, varianzas y covarianzas de las estadísticas de orden de una muestra de tamaño n proveniente de una distribución normal.

El estadístico W tiene sensibilidad a no normalidad en un rango ancho de distribuciones alternativas, simétricas, asimétricas, de colas cortas y largas; y para diferentes tamaños de muestra.

2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es usada para decidir si una muestra proviene de una población con una distribución específica. Esta basada en la función de distribución empírica. Dado N datos ordenados Y_1, Y_2, \dots, Y_N , la función de distribución empírica es definida como:

$$E_N = n(i)/N$$

donde $n(i)$ es el número de puntos menores de Y_i y los Y_i son los valores ordenados de menor a mayor.

la hipótesis nula es: Los datos siguen la distribución especificada.

La prueba es definida como:

$$D = \max_{1 < i < N} \left| F(Y_i) - \frac{i}{N} \right|$$

donde F es la distribución acumulada teórica de la distribución probada la cual debe estar completamente especificada.

Esta prueba es más sensitiva en la parte central de la distribución que en las colas y es aplicable para más de 2000 observaciones.

3. Prueba de Cramer-von Mises

La prueba de Cramer-Von Mises tiene las mismas aplicaciones que la prueba de Kolmogorov. La diferencia radica en que la prueba de Kolmogorov únicamente toma en consideración los máximos cambios entre la distribución empírica y la distribución ajustada, mientras la prueba de Cramer-Von Mises tiene en cuenta todas las diferencias de los datos. La prueba de Kolmogorov es mucho más sensitiva a la existencia de puntos anormales en la muestra.

$$W^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} (F_n(x) - F(x))^2 dF(x)$$

y es calculada como:

$$W^2 = \sum_{i=1}^n \left(U_{(i)} - \frac{2i-1}{2n} \right)^2 + \frac{1}{12n}$$

donde $U_{(i)} = F(y_{(i)})$, es la función de distribución acumulada hasta el valor $y_{(i)}$, el i -ésimo valor ordenado.

4. Prueba de Anderson-Darling

La prueba de Anderson-Darling es usada para probar si una muestra viene de una distribución específica. Esta prueba es una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov donde se le da más peso a las colas de la distribución que la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

El estadístico de Anderson - Darling (A^2) se define como:

$$A^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} (F_n(x) - F(x))^2 \{F(x)(1 - F(x))\}^{-1} dF(x)$$

y es calculado como:

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ (2i-1) \log(U_{(i)}) + (2n+1-2i) \log(1-U_{(i)}) \right\}$$

donde $U_{(i)} = F(y_{(i)})$, es la función de distribución acumulada hasta el valor $y_{(i)}$, el i -ésimo valor ordenado.

De las anteriores pruebas de normalidad se escogió la prueba de Shapiro-Wilk para el análisis de normalidad de los datos, debido a que provee el mejor indicador de no

normalidad en un rango ancho de distribuciones alternativas, simétricas, asimétricas, de colas cortas y largas.²

Otra prueba utilizada para verificar normalidad de un conjunto de datos es:

5. Prueba de Jarque-Bera

La prueba de Jarque-Bera evalúa la hipótesis de que x tiene una distribución normal con media y varianza no especificada, contra la alternativa de que x no tiene una distribución normal. Esta prueba está basada en la simetría y curtosis de la muestra x . Para una distribución normal la simetría de la muestra estaría cercana a 0 y la curtosis de la muestra estaría cercana a 3. La prueba de Jarque-Bera determina si la curtosis y la simetría muestral son diferentes de los valores esperados, lo cual se mide con un estadístico chi-square.

El estadístico de prueba es:

$$JB = \frac{n}{6} \left[S^2 + \frac{(K-3)}{4} \right]$$
 el cual se distribuye como Chi-square con dos grados de libertad.

Donde **S** es la medida de simetría, **K** es la medida de curtosis y **n** es el tamaño de la muestra.

Esta prueba es válida únicamente de forma asintótica, es decir, se debe utilizar cuando se dispone de más de 100 observaciones.

IV. Propuesta a la comisión

De acuerdo con el Anexo 8 de la Resolución CREG-082 de 2002 y lo analizado en este documento, se propone a la Comisión aprobar los siguientes Cargos Máximos Eficientes:

- Cargo Máximo Eficiente para activos diferentes a líneas radiales del nivel de tensión 4 (CME4): 10.1841 \$/kWh.
- Cargo Máximo Eficiente para el nivel de tensión 3 (CME3): 21.3816 \$/kWh.
- Cargo Máximo Eficiente para activos de uso correspondientes a líneas urbanas de nivel 2 (CMEU2): 12.3560 \$/kWh.
- Cargo Máximo Eficiente para activos de uso correspondientes a líneas rurales de nivel 2 (CMER2): 74.4404 \$/kWh.
- Cargo Máximo Eficiente para activos de uso diferentes a líneas urbanas y rurales de nivel 2 (CMEO2): 12.8863 \$/kWh.

² Shapiro, S. S. And Wilk, M. B. (1968). "A Comparative study of varios test for normality", American Statistical Assiciación Journal, 63, pp1343 – 1372.