

Aplicación de Técnicas de Análisis Multivariante en la Asignación Presupuestaria para la Reducción de Pérdidas de Energía Eléctrica en Ecuador

M.A. Toledo

Universidad Politécnica Salesiana
E-mail: mtoledoorozco@hotmail.com

Resumen

La situación económica mundial lleva a las Empresas de Distribución de Energía Eléctrica – ED's-, a realizar estudios para la automatización y planificación de los sistemas de distribución priorizando sus recursos económicos a través de proyectos vinculados con la eficiencia técnica, económica y social.

En los últimos años, el Sector Eléctrico Ecuatoriano, ha dejado de lado proyectos determinantes en la eficiencia de las –ED's-, así que en la actualidad las pérdidas de energía en la etapa de distribución oscilan el 13,30%, y la última inversión realizada para mitigar dichas pérdidas de energía, en el periodo 2013 fueron de alrededor de 25,8 millones de dólares. En este sentido, el presente trabajo orienta la toma de decisiones, además de realizar un seguimiento en la eficiencia técnica económica de las ED's.

Palabras clave— Análisis de Datos Multivariante, Algoritmo k-medias, ACP (Análisis de Componentes Principales, SDCG (Suma de Cuadrados de los Grupos), G (Grupos de empresas distribuidoras), F (Test de reducción de variabilidad).

Abstract

Due to world economic situation, Distribution Companies of Electrical Power –DCs- perform studies for automation and planning of distribution systems prioritizing their economical resources through projects related with technical, economic and social efficiency.

During last years, Ecuadorian Electrical Sector has left aside determinant projects related with DCs' efficiency. In this manner, energy losses during distribution phase range around 13,30% and last inversion performed to mitigate those losses, during 2013 period, was about 25,8 millions of dollars. Thus, this paper guides how to make decisions and it follows up DCs' technical efficiency.

Index terms— Loss, Multivariate Data Analysis, k-averages Algorithm, MCA (Main Components Analysis), ASG (Addition of square groups), G (Distribution companies groups), F (Variability reduction test) , MC (Main Components)

Recibido: 12-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Toledo, M.A. (2016). "Aplicación de Técnicas de Análisis Multivariante en la Asignación Presupuestaria para la Reducción de Pérdidas de Energía Eléctrica en Ecuador". Revista Técnica "energía". N° 12, Pp. 64-73.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

Los autores son completamente responsables de la calidad de impresión de sus trabajos. Se les solicita de manera cordial observar cuidadosamente el estilo y formato del presente documento para la presentación de sus trabajos. Este documento representa por sí mismo un ejemplo de diseño para los trabajos a ser presentados.

La energía eléctrica incuestionablemente contribuye a la mejora de la calidad de vida y al desarrollo de los países, sin embargo, factores naturales, fraude de energía eléctrica, entre otros, han influido directamente en la gestión de las Empresas de Distribución de Energía Eléctrica – ED's.

En Ecuador, las –ED's realizan grandes esfuerzos para reducir sus pérdidas técnicas y no técnicas, con proyectos enfocados en la planificación, a través del uso de software y algoritmos que les permite determinar rápidamente los sectores con grandes incidencias de pérdidas. En este contexto, el Mandato Constituyente [4] Nro.15, de 2008, estableció que los recursos necesarios para cubrir las inversiones en los sistemas de distribución de energía, serán cubiertos por el Presupuesto General del Estado; así mismo, el Plan Nacional para el Buen Vivir [4] establece, que las pérdidas no deberán ser superiores al 9% a nivel nacional.

En este contexto, es de interés determinar las empresas que deben ser consideradas similares a efectos de determinar las asignaciones futuras del presupuesto general del estado.

Por ello, este trabajo, propone el agrupamiento de información para obtener una matriz [X], de dimensiones 20x16, y usando las técnicas de análisis de datos multivariantes, fundamentado en la metodología de Análisis de Componentes Principales –ACP- y de clasificación automática para el reconocimiento de patrones, conocido también como análisis de conglomerados, a través del algoritmo de k-medias, para determinar el número de grupos homogéneos, en función de la correlación entre las –ED's- o grupos de –ED's-, por su rentabilidad, eficiencia o su infraestructura.

Con el resultado de los grupos de las –ED's-, se determina el costo medio de energía perdida [KWh], este indicador permite cuantificar la inversión total requerida por cada grupo, hasta cumplir con el mínimo establecido en la normativa.

2. ALCANCE

El alcance de este trabajo, propone a través del modelo estadístico matemático, determinar las inversiones óptimas para disminuir las pérdidas de energía en las ED's, ajustándose a las metas propuestas por el ente rector del sector eléctrico ecuatoriano.

3. CONTENIDO

3.1 Pérdidas de energía en distribución

En general, las pérdidas de energía en la etapa de la distribución son las más complicadas, por su diversificación topológica y su incidencia cultural y social. En este sentido, Ecuador alcanza el 13,30% de pérdidas totales en promedio, con 4,6 millones de clientes en 20 –ED's-. Sin embargo, entre el periodo 2012-2013 incrementaron sus pérdidas 7 empresas ED's-; CNEL-Los Ríos incremento en 1.81%, E.E. Norte en 1.10%. CNEL-Sto. Domingo en 0.18%, CNEL-Bolivar en 0.25%, E.E. Azogues en 0.55%, E.E. Galápagos en 0.07%, y E.E. Sur en 1.01%. Este problema puede ser originado a causas administrativas, políticas, técnicas y sociales. En la tabla 1 se indican las pérdidas de energía de cada distribuidora [3], observando una reducción de 0,47% del total de pérdidas de energía en el último periodo.

Tabla 1: Pérdidas de Energía en la ED's

EMPRESA	AÑO 2012 [%]	AÑO 2013 [%]	DIFERENCIA [%]
CNEL-Bolivar	10,28	10,53	-0,25
CNEL-Ei Oro	16,96	15,91	1,05
CNEL-Esmeraldas	23,06	21,79	1,27
CNEL-Guayas Los Ríos	20,05	17,22	2,83
CNEL-Los Ríos	25,25	27,06	-1,81
CNEL-Manabí	25,83	24,45	1,38
CNEL-Milagro	20,46	18,49	1,96
CNEL-Sta. Elena	17,22	16,69	0,53
CNEL-Sto. Domingo	10,30	10,47	-0,18
CNEL-Sucumbios	21,56	21,34	0,21
E.E. Ambato	7,48	6,20	1,28
E.E. Azogues	4,30	4,85	-0,55
E.E. Centro Sur	6,81	6,75	0,06
E.E. Cotopaxi	5,94	5,77	0,17
E.E. Galápagos	7,49	7,56	-0,07
E.E. Norte	10,06	11,16	-1,10
E.E. Quito	6,40	6,06	0,34
E.E. Riobamba	12,09	10,24	1,85
E.E. Sur	10,25	11,26	-1,01
Eléctrica de Guayaquil	13,67	12,14	1,53
Media	13,77	13,30	0,47

En la Fig. 1: Pérdidas en las Empresas de Distribución, se observa la magnitud en porcentaje de la energía perdida referida al máximo admisible (9%) de la normativa.

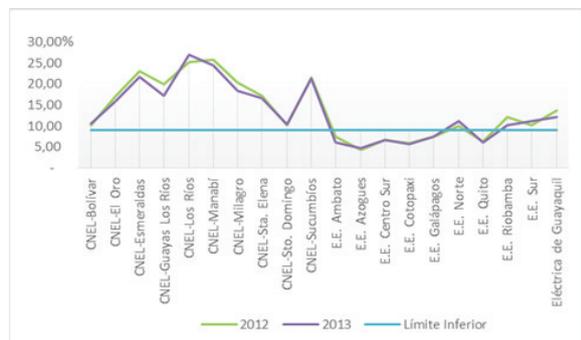


Figura 1: Pérdidas de Energía en las ED's

3.2. Inversión anual para mitigar las pérdidas

Los ingresos en el Ecuador [4] depende de la venta de petróleo, recaudación de impuestos y los provenientes de la migración, por lo que la administración debe priorizar sus gastos entre salud, educación, tecnología, etc. En este sentido, el sector eléctrico en la última asignación, recibió únicamente alrededor de 87 millones para controlar, mantener y mejorar los sistemas de distribución, de este monto destinó MUSD 25.8 para mitigar las pérdidas, distribuidas entre los n individuos del estudio como se describe en la Fig. 2.

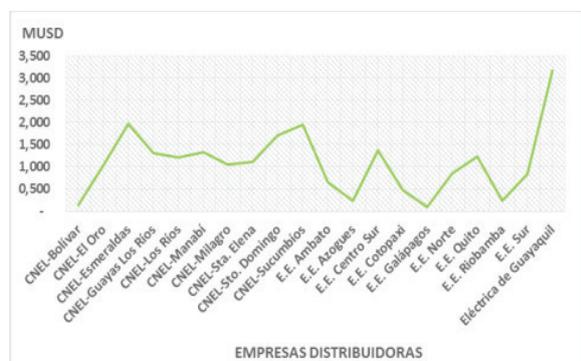


Figura 2: Asignación Económica

4. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

4.1. Matriz de Datos [X]

Está construida, en base a la planificación que realizan las -ED's-, esta consolidación define las características, técnicas, económicas y de infraestructura de las -ED's-. Inicialmente se obtuvo 29 variables [3], de las cuales se eliminaron 13, debido a que estas no aportaban con información o la información era redundante; ejemplo, los

clientes estaban segmentados en residenciales, comerciales, e industriales, en lugar de contener una sola variable con el total de clientes, caso similar fue aplicado a las demandas y energías.

Las -ED's- en el Ecuador están divididas en dos grupos, 10 que pertenecen a la Corporación Nacional de Electricidad -CNEL-, y las 11 restantes se denominan empresas eléctricas, citadas a continuación; 1) CNEL-Bolívar, 2) CNEL-El Oro, 3) CNEL-Esmeraldas 4) CNEL-Guayas Los Ríos, 5) CNEL-Los Ríos, 6) CNEL-Manabí, 7) CNEL-Milagro 8) CNEL-Sta. Elena, 9) CNEL-Sto. Domingo, 10) CNEL-Sucumbios, 11) E.E. Ambato, 12) E.E. Azogues, 13) E.E. Centro Sur, 14) E.E. Cotopaxi, 15) E.E. Galápagos, 16) E.E. Norte 17) E.E. Quito, 18) E.E. Riobamba, 19) E.E. Sur, 20) Eléctrica de Guayaquil.

La matriz [X] de dimensiones (20x16), donde n = 20 individuos y 16 variables [3], están dispuestas de la siguiente manera; 1) Total clientes, 2) Área Km², 3) Energía disponible [MWh], 4) Energía perdida [MWh], 5) Facturación total [MUSD], 6) Asignación 2013 [MUSD], 7) Clientes consumo cero, 8) Trabajadores en pérdidas, 9) Total redes [Km], 10) Activos [MUSD], 11) Costos O&M [MUSD], 12) Costo medio [USD¢/kWh], 13) Costo energía perdida [MUSD], 14) Demanda máxima [MW], 15) Capacidad instalada S/E [MW], 16) Capacidad instalada trafos [MVA]. Esta matriz es la base del estudio, por lo que a futuro se hará referencia a su nombre [X].

4.2. Análisis de datos atípicos

Es de gran importancia detectar grupos de datos atípicos, ya que estos distorsionan la matriz de covarianzas [1], por ello se debe eliminar de la muestra todos los puntos sospechosos de ser necesario, de manera que evitemos confundir y podamos calcular el vector de medias y la matriz de covarianzas sin distorsiones. Para ello podemos utilizar los diagramas de caja, cuya regla simple es considerar sospechosas aquellas observaciones tales que $\frac{|x_i - med(X)|}{meda(X)} > 4,5$, donde $med(X)$ es la mediana de las observaciones, y $meda(X)$ es la mediana de las desviaciones absolutas $|x_i - med(X)|$, que es una medida robusta de la dispersión [1].

La matriz de datos no es grande, por lo que se recurre a este método, como se indica en la Fig. 3.

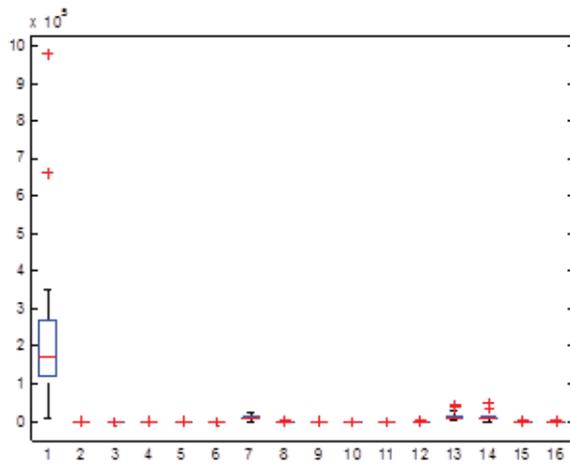


Figura 3: Diagrama de Caja de la Matriz Original

Debido a la presencia de datos atípicos en una primera observación, se presume que las medidas de asimetría y curtosis muestran un alejamiento de la distribución normal, especialmente para dos individuos que son, la E.E Quito y la E.E Pública de Guayaquil. Para aclarar este tema realizaremos un análisis univariante en la sección C de este capítulo.

4.3. Análisis univariante

El análisis descriptivo de una variable, implica calcular su media, que es el centro de gravedad de los datos, definimos la desviación típica y se calcula la medida de variabilidad con relación a la media, promediando las desviaciones entre los datos y su media. Para comparar la variabilidad de distintas variables, se construye medidas de variabilidad relativa que no dependan de las unidades de medida. Una de estas medidas es el coeficiente de variación como se observa en la ecuación 5.1

$$CV_j = \frac{s_j}{X_j}, \text{ donde } s_j^2 \text{ es la varianza y } X_j^2 \text{ es la media al cuadrado.} \quad (1)$$

Tabla 2: Análisis Descriptivo de las Variables

	Media	Error Típico	Mediana	Desv. Estándar	Curtosis	Coef. de Asimetría	Coef. Var
V1	231414,10	50555,86	172010,00	226092,67	6,16	2,35	0,98
V2	87,15	26,60	46,28	118,95	5,94	2,51	1,36
V3	11,09	3,11	5,49	13,91	5,42	2,24	1,25
V4	0,15	0,04	0,07	0,20	5,37	2,45	1,35
V5	10,58	0,36	10,15	1,63	2,30	1,56	0,15
V6	1,17	0,32	0,54	1,43	2,80	1,83	1,22
V7	10878,98	1525,76	9650,50	6823,42	-0,28	0,73	0,63
V8	163,90	41,74	104,33	186,65	13,15	3,37	1,14
V9	21,78	4,90	14,04	21,90	4,58	2,17	1,01
V10	77,33	24,33	41,86	108,81	6,20	2,57	1,41
V11	1,06	0,17	1,07	0,78	1,44	0,91	0,74
V12	559,85	105,27	414,00	470,78	4,40	2,16	0,84
V13	12858,98	2585,10	7542,65	11560,93	1,24	1,42	0,90
V14	11022,23	2587,97	7882,42	11573,75	6,44	2,50	1,05
V15	282,94	82,39	172,25	368,46	6,78	2,65	1,30
V16	450,55	140,14	243,85	626,71	5,76	2,55	1,39

En la matriz original, podemos observar datos importantes, como; 10 variables tienen un alto coeficiente de variación, esto es el 62% de los datos, 5 variables muestran una curtosis inferior al 4 y el resto mantiene un número aceptable; mientras que el 68%, es decir 11 variables presentan un coeficiente de asimetría superior a 2, lo cual indica la homogeneidad de la información. La variable V7 “Clientes con Consumo Cero”, tiene un coeficiente de asimetría de 0.73 y una curtosis de -0.28, este valor no necesariamente indica la presencia de datos atípicos por su baja magnitud, pero técnicamente no se puede despreciar porque es una medida visible de la eficiencia comercial de una -ED’s-, por ejemplo; La E.E Quito, tiene pérdidas inferiores al mínimo exigido pero también es la que más número de clientes con consumo cero tiene, técnicamente esto se debe al constante seguimiento que realiza a sus clientes.

4.4. Transformación no lineal

El objetivo de aplicar esta técnica matemática es el de linealizar los datos, dado que la matriz cuenta con magnitudes en diferentes unidades, es imprescindible aplicar el logaritmo natural (ln) a cada variable, por lo que la variabilidad de la variable transformada es independiente de las unidades de medida inicialmente consideradas.

Aplicando esta técnica y graficando los datos de la matriz [X] obtenemos un diagrama de dispersión, como se muestra a continuación.

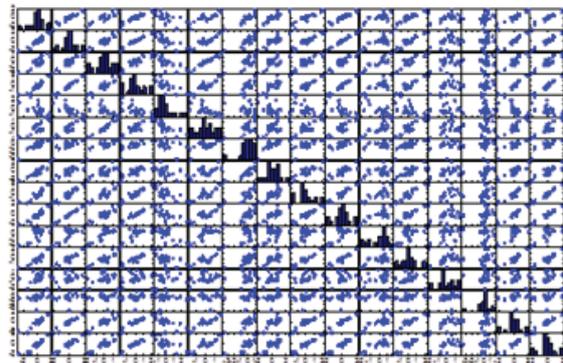


Figura 4: Diagrama de dispersión de la Matriz Linealizada

Mediante la función boxplot de matlab se realiza el diagrama de caja de los datos linealizados, los mismos presentan parámetros mejorados respecto a

los originales, su media tiene valores muy cercanos a cero, y los datos atípicos no tienen magnitudes inferiores al 3. En la Fig. 3, se observan las variables y sus datos atípicos.

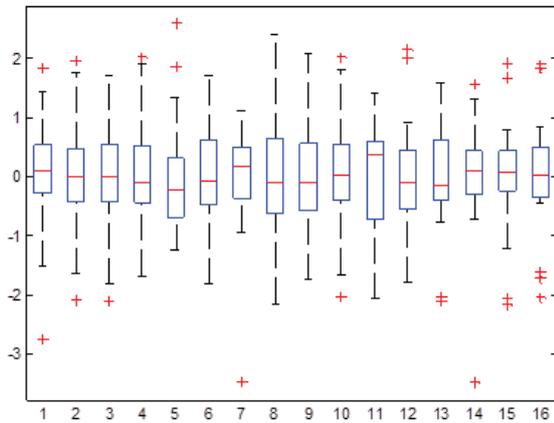


Figura 5: Diagrama de Caja de la Matriz Linealizada

4.5. Correlación de variables

El coeficiente de correlación estudia la dependencia lineal entre dos variables, en otras palabras, compara la similitud entre las variables de la matriz $[X]$, representada en la Fig. 6, mediante el diagrama de estrella, y en la Fig. 7 mediante la matriz de covarianzas. De esta forma, las variables V2, V3 y V4, tienen gran similitud, demostrando que la dimensión de la empresa, la energía disponible y las pérdidas están correlacionadas. Así también, V6 y V11, representan las características económicas y las variables V2, V4, V10, V15 y V16 representan las características físicas y técnicas de las -ED's. Sin embargo, observamos que la variable V5 (Costo medio de energía), no presenta similitud con el resto de variables, debido a que sus parámetros están en función del costo de generación.

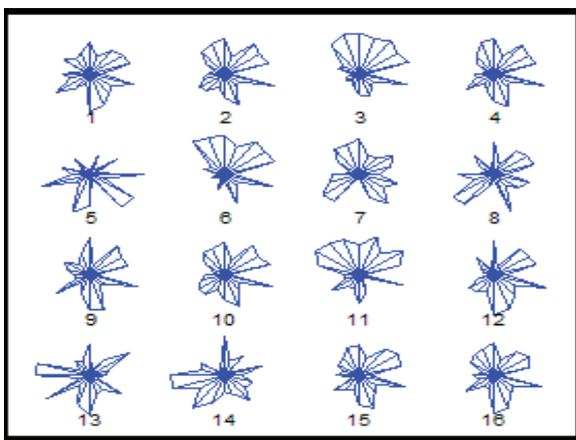


Figura 6: Diagrama de Estrella de las Variables

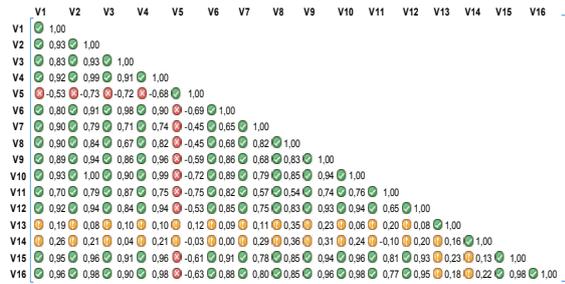


Figura 7: Matriz de covarianzas

5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES –ACP-

La técnica de -ACP- permite representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeña, observaciones de un espacio general p-dimensional con mínima pérdida de información, facilitando la interpretación de los datos. En este sentido, el estudio inicia con la selección del número de componentes para posteriormente explicar cada una.

5.1. Selección del número de componentes

El criterio para seleccionar la cantidad de Componentes Principales –CP-, está dado por el valor que explique más del 90% de la variabilidad de los datos originales, debido a este criterio, el estudio analizará las cuatro primeras –CP-, ya que estas tienen una participación del 93,90 %, esta información es corroborada con el criterio de la caída de capacidad predictiva de los autovalores crecientes indicados en la Fig. 8.

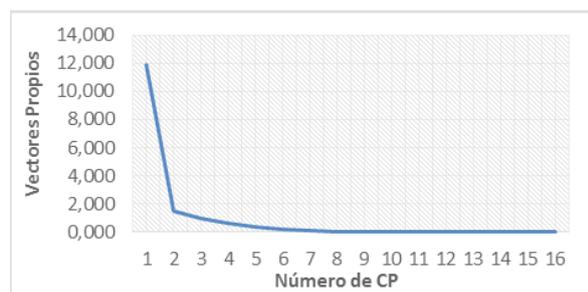


Figura 8: Capacidad Predictiva de los Auto valores

Los autovalores definen los coeficientes de las combinaciones lineales de la matriz original que forman las cuatro primeras –CP- como se indica en la Tabla 4.

Tabla 3: Auto valores Propios de la Matriz

	λ_h	Ph	$\sum \lambda_h$
CP1	11,88	74,27	73,63
CP2	1,51	9,43	83,70
CP3	1,01	6,30	90,01
CP4	0,62	3,89	93,90

Las cuatro primeras -CP- explican el 93,90% de la variabilidad de los datos, el resto de componentes principales explican individualmente menos del 0,5% de la variabilidad, de tal forma que la reducción de la dimensión permite proyectar los datos en la dirección de las primeras cuatro componentes. En la Tabla 4: Variables y Coeficientes de CP Se indican los coeficientes de las cuatro primeras componentes principales junto a las variables de la matriz [X].

Tabla 4: Variables y Coeficientes de CP

VARIABLE	COEF CP1	COEF CP2	COEF CP3	COEF CP4
V1 TOTAL CLIENTES	0,276	0,139	-0,034	0,219
V2 ENERGÍA DISPONIBLE GWh	0,288	-0,042	-0,083	-0,028
V3 ENERGÍA PERDIDA GWh	0,271	-0,191	0,084	-0,058
V4 DEMANDA MÁXIMA GW	0,284	-0,017	-0,067	-0,007
V5 COSTO MEDIO €/USD/kWh	-0,201	0,359	0,122	0,583
V6 COSTO ENERGÍA PERDIDA MUSD	0,266	-0,201	0,095	-0,014
V7 CLIENTES CONSUMO CERO	0,237	0,173	-0,137	0,303
V8 ACTIVOS MUSD	0,250	0,302	0,023	0,150
V9 COSTOS O&M MUSD	0,276	0,091	0,018	-0,080
V10 FACTURACIÓN TOTAL MUSD	0,286	-0,016	-0,117	-0,022
V11 ASIGNACIÓN 2013 MUSD	0,235	-0,278	0,290	-0,256
V12 NÚMERO DE TRABAJADORES	0,273	0,047	-0,099	0,236
V13 ÁREA Km ²	0,048	0,444	0,793	-0,222
V14 TOTAL REDES Km	0,061	0,605	-0,435	-0,549
V15 CAPACIDAD INSTALADA S/E MW	0,284	0,009	0,105	0,109
V16 CAPACIDAD INSTALADA TRAFOS MVA	0,286	0,037	0,003	0,047

Las -CP- se interpretan de tal forma que, cuando existe una alta correlación positiva entre todas las variables, el primer -CP- tiene todas sus coordenadas del mismo signo y puede interpretarse como un promedio ponderado de todas las variables, que es un factor global de tamaño; Los restantes componentes son factores de forma, estos tienen coordenadas positivas y negativas, esto implica que se contraponen unos a otros en el grupo de variables.

5.2. Primera Componente Principal

Es la combinación lineal de las variables originales que tiene varianza máxima asociada a un vector propio λ_1 , esta componente es una media de las características técnicas, económicas y de dimensión física de las ED's-, tiene un peso del 74,27% respecto de las otras, quince coordenadas son de signo positivo y solamente una de signo negativo (-0,201) que corresponde a (V5) "Costo Medio de la energía eléctrica" y se debe a que el cálculo depende de varios factores asociados

fuertemente al costo de generación, debido a que, las empresas manejan los contratos de compra de energía directamente con el generador. Así también, los coeficientes correspondientes a las variables, área de concesión (V13) y redes en kilómetros (V14), contienen valores muy pequeños que en la primera -CP- serán ignorados. La Fig. 9 muestra la correlación directa existente entre la variable y el coeficiente de la componente.

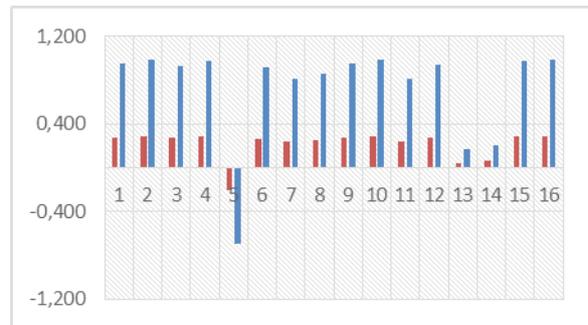


Figura 9: Coeficientes de la Primera CP

5.3. Segunda Componente Principal

Esta componente aporta con el 9,43% de la información, las variables positivas son V1, V5, V7, V8, V13 y V14, de magnitud importante respecto a la primera componente, estas variables hacen referencia a la dimensión física, topológica y de clientes de las -ED's-. Mientras que las magnitudes negativas V3, V6 y V11 indican la razón económica de sus pérdidas e ingresos. En la Fig. 7: Coeficientes de la segunda CP, se observan el cambio de sentido que adoptan las variables físicas y económicas.

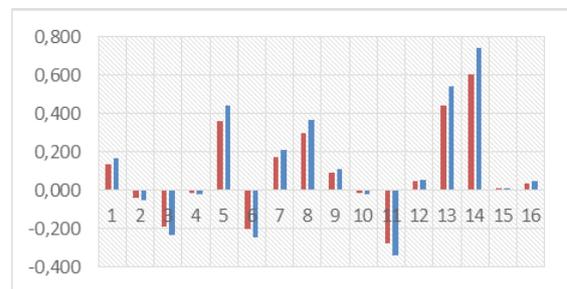


Figura 10: Coeficientes de la segunda CP

5.4. Tercera Componente Principal

El aporte de información es del 6,30%, las variables, V11, V13 y V14, representan los ingresos económicos respecto de la dimensión y cantidad de redes existentes. Mientras que las variables V7 y V10 de signo negativo dan mayor peso a las características de pérdidas propias de

cada empresa. En la Fig. 11 se observa a detalle el comportamiento de la variable en la Tercera -CP-.



Figura 11: Coeficientes de la Tercera CP

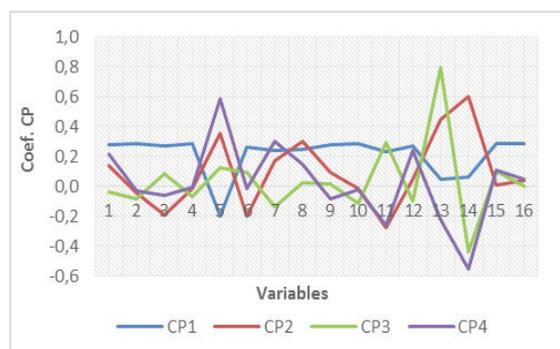


Figura 13: Resumen de las 4 CP

5.5. Cuarta Componente Principal

La Fig. 12: Coeficientes de la Cuarta CP, muestra la correlación entre las variables administrativas y las variables económicas positivas V1, V5, V7, V8, V12 de las -ED's-, y se contraponen con el promedio ponderado de las variables negativas de características físicas grandes como son V11, V13 y V14. Esta componente aporta con el 3,89%.



Figura 12: Coeficientes de la Cuarta CP

De lo anteriormente expuesto, la Tabla V y la Fig. 13 Resumen las 4 -CP-, estas indican cómo se vinculan las m variables con los n individuos a través del -ACP-.

Tabla 5: Resumen de CP - Variables – Individuos

	VARIABLES (+)	INDIVIDUO (+)	VARIABLES (-)	INDIVIDUO (-)	CARACTERÍSTICA
CP1	V1, V2, V3, V4, V6, V8, V7, V9, V10, V11, V12, V15, V16	Todos los individuos	V5		Administrativas, Comerciales, Económicas, Técnicas, Dimensión
CP2	V1, V5, V7, V8, V13, V14	E.E. Centro Sur, E.E. Ambato, E.E. Quito, E.E. Riobamba, E.E. Sur	V3, V6, V11	CNEL-Miagro, CNEL-Sta. Elena, E.E. Azogues, Eléctrica de Guayaquil, CNEL-Los Ríos, CNEL-Esmeraldas	Administrativas, Comerciales, Dimensión
CP3	V5, V11, V13	CNEL-Sucumbios, CNEL-Esmeraldas	V7, V14	E.E. Cotopaxi, E.E. Riobamba, Eléctrica de Guayaquil, E.E. Azogues	Económicas, Dimensión
CP4	V1, V5, V7, V8, V12	CNEL-Esmeraldas, CNEL-Bolívar, E.E. Riobamba, E.E. Sur	V11, V13, V14	CNEL-Sucumbios, E.E. Ambato, E.E. Galápagos, CNEL-Manabí	Administrativas, Comerciales, Económicas

6. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO K-MEDIAS

Uno de los objetivos de esta investigación, es agrupar las -ED's- según sus características similares, para clasificar automáticamente las observaciones realizadas por el análisis de conglomerados mediante el algoritmo de k-medias. Primeramente en Matlab, se corre el algoritmo para identificar el número de grupos que serán formados, estos son estimados en relación a los grupos deseados, tomando el criterio y la experiencia del investigador, en donde cada -ED's- ocupara un solo grupo, conforme las similitudes y homogenización de las variables.

Mediante la prueba del Test de reducción de variabilidad F, comparando la Suma de Cuadrados Dentro de los Grupos -SDCG-, y calculando la reducción relativa de la variabilidad al aumentar un grupo adicional[1], mediante la ecuación (7.1)

$$F = \frac{SCDG(G) - SCDG(G+1)}{SCDG(G+1) / (n - G - 1)} \quad (2)$$

Obtenemos que 8 grupos son los óptimos, debido a que el test de reducción de variabilidad tiene un valor de $F = -0,48$, y relaciona los n individuos conforme la experticia del investigador. Sin embargo, el análisis también podría haber concluido con 5, 6 y 7 grupos, debido a que estos presentan un test de reducción de variabilidad inferior a 1. En la Tabla 6: Análisis del Número de Grupos, se resume la adopción y criterio del grupo.

Tabla 6: Análisis del Número de Grupos

η POR GRUPO	ANÁLISIS
5	La división en 5 grupos presenta características atípicas; Incluye en un grupo a la E.E Centrosur de nivel de eficiencia por debajo del límite con empresas que presentan valores de pérdidas superiores al 15%.
6	Este grupo incluye a la E.E Quito, que es la mas grande y eficiente del estudio, con empresas grandes pero que no presentan indicadores similares.
7	Este grupo presenta alta homogeneidad entre sus empresas, sin embargo asocia empresas pequeñas de buenos y medianos indicadores, que para el estudio son aceptables.
8	La investigación considera que este es el grupo más homogéneo, dado que agrupa las distribuidoras según sus características de infraestructura, económicas, sociales y técnicas.

En la Tabla 7: Grupos de Empresas Distribuidoras, se observa la distribución de los 8 grupos, al aplicar el algoritmo de K-medias a la matriz de datos [X] en las 4 primeras -CP-.

Tabla 7: Grupos de Empresas Distribuidoras

N° GRUPO	CANTIDAD	EMPRESAS DISTRIBUIDORAS
G1	3	CNEL-EI Oro, CNEL-Guayas-Los Ríos, CNEL-Manabí
G2	3	E.E. Cotopaxi, E.E. Riobamba, E.E. Sur
G3	2	E.E. Ambato, E.E. Centro Sur
G4	1	CNEL-Esmeraldas
G5	2	CNEL-Bolívar, E.E. Azogues
G6	2	E.E. Quito, Eléctrica de Guayaquil
G7	6	CNEL-Los Ríos, CNEL-Milagro, CNEL-Sta. Elena, CNEL-Sto. Domingo, CNEL-Sucumbios, E.E. Norte
G8	1	E.E. Galápagos

La estructura en bloques de las -ED's- mostradas en el espacio tridimensional mediante la Fig. 14, indica cómo fueron determinados los grupos de acuerdo a las similitudes de sus características.

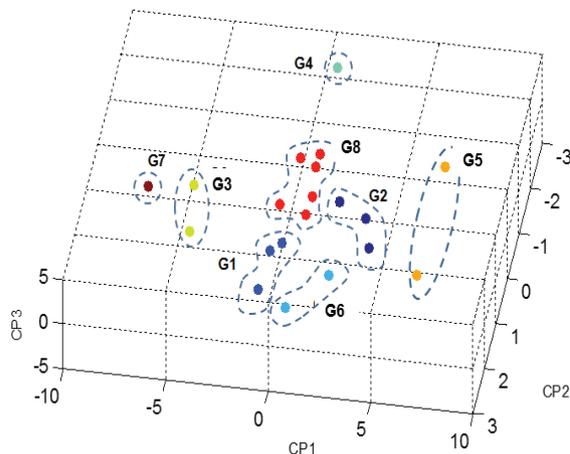


Figura 14: Distribución de las ED's

6.1. Resultados de aplicar k-Medias

El grupo G1, formado por 3 -ED's- son similares por sus características de número de clientes, costo medio, pérdidas de energía (media 19,19%) y una gestión administrativa por mejorar.

G2, está formado por 3 -ED's- consideradas medianas respecto del total de los n individuos estudiados, entre las principales características similares están: Energía disponible, demanda máxima, clientes con consumo cero y número de trabajadores.

G3, está formado por 2 -ED's-, según sus indicadores son consideradas, eficientes, con pérdidas bajo en mínimo establecido, y su costo medio es muy similar.

G4, contiene a la tercera empresa con mayores pérdidas del grupo, está ubicada en la zona fronteriza del país, sus indicadores socioeconómicos no son alentadores debido a que sus ingresos dependen de la pesca.

G5, corresponde a -ED's- relativamente pequeñas, densamente pobladas y sin mayor expansión en el área rural, su demanda, energía y facturación son muy similares.

G6, está formado por las dos empresas más grandes del país, no difieren considerablemente en sus características técnicas, administrativas, económicas.

G7, vincula a 6 -ED's-, estas son similares en características administrativas, pérdidas, área de concesión, costo medio.

G8, corresponde a la Empresa Eléctrica Galápagos, esta difiere del resto principalmente por su ubicación, cuenta con generación propia tipo isla, es la más pequeña en número de cliente y tiene el costo medio de energía entre los más altos.

7. INVERSIONES REQUERIDAS PARA PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El Sector Eléctrico Ecuatoriano en el último año invirtió MUSD 28,8 para reducir únicamente el 0,47% de las pérdidas de energía, esto se debe a que algunas empresas hicieron uso eficiente del valor asignado mientras que otras incrementaron sus pérdidas aun considerando las inversiones.

Con este antecedente, esta investigación cuantifica los valores requeridos por las -ED's- en

función de los grupos obtenidos. Es así, con las metas y el costo medio por cada kWh de energía pérdida se obtiene el monto requerido por grupo de las -ED's- para mejorar sus pérdidas.

El porcentaje de pérdidas por grupo se indica en la siguiente tabla. , mismas que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Porcentaje de Pérdidas de ED's

Nº GRUPO	EMPRESAS DISTRIBUIDORAS	% PÉRDIDAS
G1	CNEL-EI Oro, CNEL-Guayas-Los Ríos, CNEL-Manabí	19,19
G2	E.E. Cotopaxi, E.E. Riobamba, E.E. Sur	9,09
G3	E.E. Ambato, E.E. Centro Sur	6,48
G4	CNEL-Esmeraldas	21,79
G5	CNEL-Bolívar, E.E. Azogues	7,69
G6	E.E. Quito, Eléctrica de Guayaquil	9,1
G7	CNEL-Los Ríos, CNEL-Milagro, CNEL-Sta. Elena, CNEL-Sto. Domingo, CNEL-Sucumbíos, E.E. Norte	17,54
G8	E.E. Galápagos	7,56

Tomando los valores estadísticos de las inversiones, se proyecta la curva de pérdidas de energía versus el costo medio por grupo de ED's tomando en consideración las metas impuestas por el ente rector.

En la siguiente figura se indica el costo por kWh perdido.

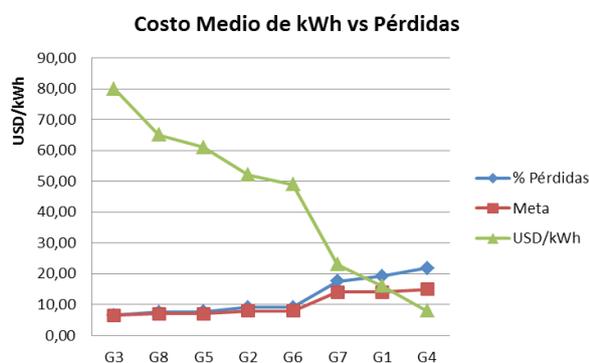


Figura 15: Costo Medio de kWh de Pérdidas

Con este análisis, se determina las inversiones requeridas en el sector eléctrico para reducir las pérdidas de energía.

Tabla 9: Inversiones en el Plan de Reducción de Pérdidas

Grupo	Costo Medio	% Pérdidas	Meta	USD/kWh	MUSD
G3	21,79	6,48	6,5	80	53.106.453
G8	6,79	7,56	7	65	251.501.580
G5	70,67	7,69	7	61	133.888.377
G2	11,56	9,09	8	52	122.449.867
G6	32,36	9,10	8	49	12.074.713
G7	199,79	17,54	14	23	101.964
G1	7,56	19,19	14	16	74.676
G4	33,00	21,79	15	8	367.874
TOTAL					573.565.503

8. CONCLUSIONES

Las características propias de cada empresa forman parte esencial en el análisis, estas permiten estudiar matemáticamente su correlación para agruparles según sus similitudes.

La técnica de -CP- reduce la base de datos de dieciséis variables a 4 componentes principales, con un porcentaje de participación del 93,90%.

La formación de los 8 grupos a través del algoritmo de K-medias muestra la clara similitud de las características técnicas, administrativas, económicas y sociales de cada -ED's-.

La variable “Costo medio de la energía” se contraponen con el resto de variables, esto es debido a la relación directa que mantiene con el costo de generación y no con las variables vinculadas a las pérdidas, pero es de gran utilidad para cuantificar las asignaciones por grupo.

Las asignaciones económicas a las -ED's- tendrán seguimiento mediante la técnica aplicada, con la finalidad que mejoren sus indicadores.

La mecánica del modelo puede ser usado para diferentes planes de inversión vinculados al sector eléctrico.

El Sector Eléctrico Ecuatoriano requiere invertir más de 573 MUSD para reducir sus pérdidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Peña, Análisis de Datos Multivariante, 2da. Edición, Madrid, McGraw-Hill/ Interamericana de España, S.A.U., 2002 pp. 13-243.
- [2] J.Cepeda, N. Furlan, C. Tascheret, A. Andreoni, Automatic clustering of Electricite Utilities Using Multivariate Data Análisis, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, 2012.

- [3] Consejo Nacional de Electricidad “ Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano”- Año 2013, Capítulo 7: Distribución de Energía Eléctrica.
- [4] Consejo Nacional de Electricidad “ Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, Ecuador, Diciembre 2013.
- [5] Revista Web, Afinidad Eléctrica, Pérdidas No Técnicas 2011, Venezuela, disponible en:<http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=269>



Marco Toledo Orozco.-

Ingeniero Eléctrico -
Universidad Politécnica
Salesiana sede Cuenca. Trabaja
en la Empresa Eléctrica
Regional CENTROSUR
desde 2002, en las áreas de

comercialización, Laboratorio de Medidores y en los departamentos Control de Pérdidas, Instalación de medidores, Dirección de distribución de Energía Zona II de CENTROSUR, Director Comercial de la Corporación Nacional de Electricidad -CNEL- Regional Los Ríos, Director de Facturación de -CNEL-, Especialista Técnico en la Dirección de Gestión Estratégica del Consejo Nacional de Electricidad -CONELEC-. Actualmente Jefe del departamento de Control de la Medición de la CENTROSUR, sus áreas de interés son: Planificación de la Distribución de Energía, Eficiencia Energética, Redes Inteligentes.