

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS DE LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN DE VENEZUELA

Smith, A.^(p); García, M.; Póveda, R.

Abstract

This paper proposes a methodology for prioritisation of solutions to the Venezuela electrical distribution network's problems.

Venezuela electrical distribution network is mostly radial and has different kind of problems, to which multiple solutions can be found.

According to the experts, these decision-making problems, are of type multiexpert, multicriteria and intuitive, therefore, the use of a MCDA technique, such as AHP is valid. No such technique is currently being used when making investment decisions.

A methodology based on AHP is presented and to demonstrate its goodness, a case study is analyzed with the participation of four experts related to the power industry in Venezuela.

Keywords: Multicriteria, AHP, Distribution electrical network

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de metodología para la priorización de soluciones a problemas de las redes eléctricas de distribución venezolanas.

Las redes eléctricas venezolanas son radiales en su mayoría y están afectadas por problemas de distinta naturaleza como pérdida de energía por fraude, desconexión de clientes por fallas, fallas de equipos cuyos responsables son variados y múltiples.

Los procesos de toma de decisión que actualmente se llevan a cabo, de acuerdo a expertos consultados, se basan en diversos criterios (económicos, tecnológicos, etc.), involucran a varios expertos y se suelen resolver de manera intuitiva. Según estos mismos expertos, no se usa ninguna técnica de ayuda en la decisión. Por todo ello se demostrará que es un entorno adecuado para usar técnicas basadas en el análisis de decisión Multicriterio. De todas ellas, la técnica que se propone usar en el presente trabajo es AHP (Analytic Hierarchy Process).

Se presenta la metodología propuesta, se prueba en un caso de estudio con cuatro expertos del área y se comprueba la satisfacción de los expertos con los resultados obtenidos.

Palabras clave: AHP, multicriterio, multiexperto, redes eléctricas de distribución

1. Introducción

El sistema eléctrico venezolano comprende las áreas de generación, transmisión y distribución de energía y es operado por varias compañías que se conectan en la red de transmisión. La red de distribución hasta los clientes finales, que es el área de trabajo de este proyecto, es mayoritariamente radial.

La red de distribución ha tenido a la largo de los años un crecimiento irregular para las distintas regiones del país y para todas las compañías de distribución de energía eléctrica

venezolanas. Se detectan, para esta red eléctrica, muchos problemas para los cuales no es fácil encontrar la mejor solución por la naturaleza misma de los problemas, la cantidad de factores en conflicto y la integración de factores externos relacionados con el problema.

El objetivo de este trabajo es ayudar a proponer una metodología con nuevas herramientas que ayuden a priorizar una lista de soluciones a los problemas presentes en dicha red de distribución asumiendo que los recursos necesarios para estas soluciones son limitados.

Se definirá en este trabajo si el proceso de toma de decisiones tal y como se lleva a cabo actualmente, es discreto, multiexperto y multicriterio. Se definirá asimismo la tipología de las decisiones que puedan ser soportadas por la metodología a definir. Se desea demostrar en este estudio que el uso de las técnicas de Multi-Criteria Decision Analysis (o MCDA) (Barba-Romero y Pomerol,[4]) y específicamente del AHP(Saaty,[2]), se adapta en sus fundamentos al proceso intuitivo actual y puede generar mejores resultados que los que se obtienen actualmente.

Como parte del trabajo, se busca identificar la posibilidad de aceptación de nuevas técnicas de toma de decisiones en un sector que históricamente ha sido muy conservador en las herramientas de análisis, particularmente para las redes de distribución.

Se plantea una metodología para la toma de decisiones en base a una lista de problemas y sus soluciones, preliminar y consensuada con los expertos del área, que, como parte del proceso puede ser modificada con la participación de los expertos, para alcanzar al final de la metodología, una solución que es la que impacta más positivamente sobre la red eléctrica de distribución.

2. Descripción de las redes de distribución de Venezuela y su problemática

El sistema eléctrico venezolano comprende las áreas de generación, transmisión y distribución organizado en un grupo de 18 empresas, de las cuales 11 son de inversión pública y 7 de inversión privada, según www.opsis.org.ve [7].

El Sistema Interconectado Nacional (SIN) comprende a nivel de las redes de transmisión cuatro empresas, cubriendo más del 98% del territorio y siendo la red eléctrica de mayor flujo de potencia a lo largo y ancho del país, según www.opsis.org.ve [7]. La coordinación de la operación del SIN recae sobre la Oficina de Planificación del Sistema (OPSIS) de acuerdo a los contratos de interconexión entre las empresas del SIN.

Estas redes eléctricas son malladas por naturaleza. La potencia nominal declarada en MW de cada empresa del SIN es mostrada en la tabla No. 1. El total de potencia declarada de las empresas del SIN es de 21.810 MW (www.opsis.org.ve [7]), La energía total consumida por el SIN durante el año 2.006 fue de 81.639,1 GWh, mientras que la potencia máxima registrada total para todo el SIN durante el mismo año fue de 15.779 MW.

Empresa de SEN	Potencia Nominal declarada en MW	Capacidad de Prueba en línea (MW)
CADAFE	3,591	1,941
EDC	2,236	1,800
Edelca	14,001	12,167
Eleval	210	0
Enelbar	127	114
Enelco	40	40

Enelven	1,336	1,174
S.P. Oriente	40	39
Semda	10	0
Seneca	219	195
TOTAL (MW)	21,810	17,470

Figura No. 1 Potencia Nominal de las empresas del SIN
Fuente: www.opsis.org.ve [7]

En ciertos puntos de la red de transmisión, las redes se separan por compañía y comienzan las redes de distribución. Las redes eléctricas de distribución (dependiendo de cada compañía) pueden estar entre niveles de tensión de 115 kV y hasta 4.8 kV. Son redes radiales que parten desde las subestación de distribución hasta los puntos de entrega en los clientes finales.

Para efectos de este trabajo se utilizará como empresa base la C.A. La Electricidad de Caracas (EDC) por ser la empresa con datos públicos más completos y más actualizados del país.

La tabla No. 2 muestra los datos de generación, capacidad instalada y demanda que permitirán al lector hacerse una idea del tamaño del sistema eléctrico de la EDC.

	Unidades	Año 2005
Capacidad Instalada	MW	2,236
Energía Generada	GWh	7260,1
Energía Intercambiada	GWh	2089,8
Energía Consumida	GWh	9742,8
Demanda Máxima	MW	2,064

Tabla No. 2. Datos generales de la red EDC
Fuente: www.opsis.org.ve [7]

La tabla No. 3 presenta datos extendidos de EDC, con el número de clientes activos por trimestre, según www.laedc.com.ve [1] para el año 2.005.

Por su parte la tabla No. 4 muestra la composición por tipo de conductor predominante en los circuitos de distribución de EDC, de acuerdo a datos publicados en los reportes estadísticos disponibles en www.laedc.com.ve [1].

Información Operativa	Unidad	5-Mar	5-Jun	5-Sep
Capacidad Instalada	MW	2316	2316	2316
Generación Bruta	GWh	2506	2464	2522
Compras de Energía	GWh	542	910	872
Demanda Máxima del Sistema	MW	1871	1937	1988
Energía Consumida	GWh	2799	3095	3120

Energía Vendida (área servida EDC)	GWh	2357	2657	2699
Residencial	GWh	842	915	922
Industrial	GWh	449	518	510
Comercial	GWh	856	986	1012
Sector Público	GWh	210	238	255
Pérdidas de Energía	%	17,66	17,79	18,00
Pérdidas Técnicas	%	7,40	7,38	7,40
Pérdidas No Técnicas	%	10,26	10,41	10,60
Clientes Activos Facturados:	#	982964	996829	1008758
Residencial	#	858914	870933	880369
Industrial	#	6065	6138	5698
Comercial	#	110682	112346	114980
Sector Público	#	7303	7412	7721

Tabla No. 3 Datos extendidos de EDC

Fuente: www.laedc.com.ve, Reportes trimestrales para 2.005 [1]

<i>Líneas instaladas (Km)</i>	12,47kV	8,3kV	4,8kV	Total
Aéreas	5.313	190	314	5.817
Subterráneas	1.454	70	1.042	2.566
Total líneas instaladas	6.767	260	1.356	8.383
Subestaciones (#)	46	9	49	104
Capacidad Instalada (MVA)	4.154	109	1.279	5.542
Medidores (miles)				1.117

Tabla No. 4. Datos eléctricos de la red de distribución

Fuente: www.laedc.com.ve [1]

Las redes eléctricas de distribución venezolanas históricamente presentan pocas estadísticas porque en la operación misma de las redes hay carencia de datos.

Para el alcance de este trabajo se presentó a unos expertos del área de distribución de dos empresas eléctricas venezolanas, a través de entrevistas, una lista de problemas presentes en las redes de distribución, para llegar luego a una lista reducida de problemas típicos a los que suelen dedicar tiempo de discusión que se presenta a continuación:

- Fraude de energía, con índices de recuperación más bajos a los de crecimiento de la energía entregada dejada de facturar
- Interrupciones del servicio de energía por fallas en la red de alta tensión de distribución (el nivel inmediatamente superior al cliente final) que generan a su vez:
- Gastos por energía dejada de vender
- Insatisfacción de los clientes, por interrupciones no programadas y facturación deficiente

- Posibilidades de penalización con la puesta en operación de las Normas de Calidad del Servicio Eléctrico que forman parte de La Ley Eléctrica Venezolana, recientemente aprobada.
- Necesidad de aproximación de los índices de pérdidas de energía debido a la no coincidencia de las mediciones de energía entregada y energía vendida a los clientes finales.

Las soluciones que se proponen pueden diferir cada año, por empresa y por sector, y los factores de evaluación de las soluciones son de distinta índole y naturaleza, entre los que destacan:

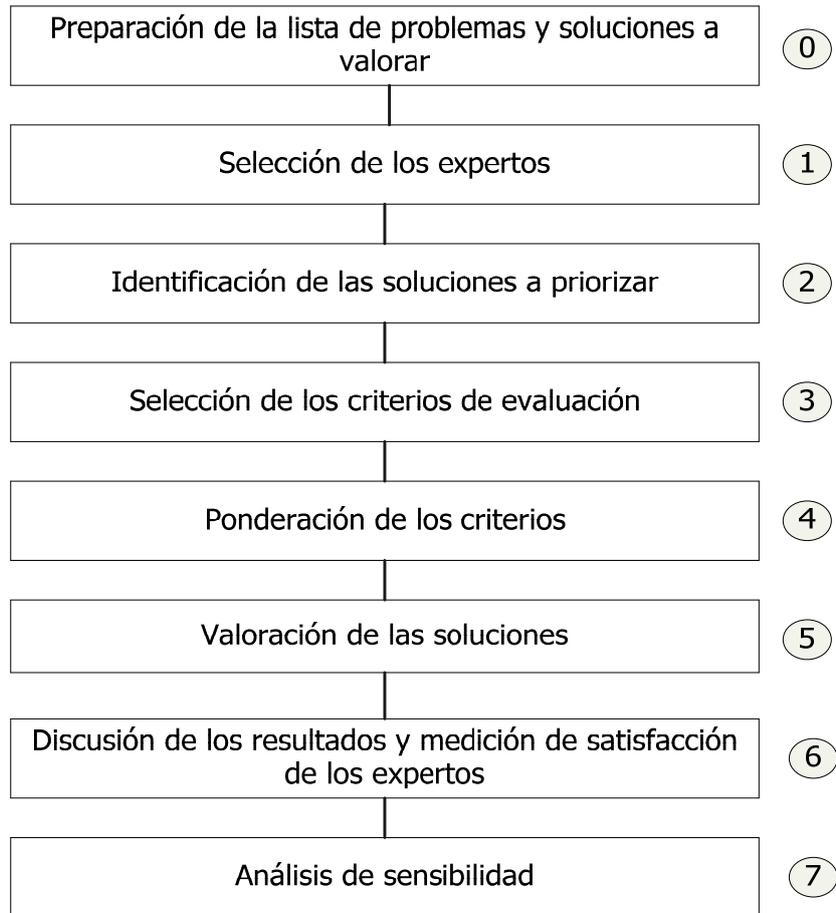
- Inversión requerida
- Impacto social de la solución (beneficio a una comunidad, un proyecto social propio o ajeno, etc.)
- Disponibilidad de equipos, partes, tecnología
- Respeto a las normas nacionales y de las empresas
- Capacidad de llevar a cabo el proyecto`
- Análisis costo-beneficio
- Entes beneficiados con la decisión
- Sectores afectados por el problema a ser solucionado

En el proceso de toma de decisiones participan varios actores como apoyo a la toma de decisión, prevaleciendo en la mayoría de los casos la opinión del encargado de la ejecución del presupuesto requerido. Los participantes pueden ser de distinto nivel en la jerarquía de las empresas y con distinto perfil para una decisión particular, según lo que se concluyó de las entrevistas realizadas.

La naturaleza de las decisiones en las empresas eléctricas de distribución, cuando se trata de soluciones relacionadas con inversiones, son de naturaleza multiexperto y multicriterio por lo anteriormente expuesto. Una vez que se reconoce que la naturaleza de las decisiones a ser valoradas, se procede a diseñar la metodología basada en el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para apoyar el proceso de toma de decisiones en la búsqueda de la mejor solución a los problemas de las redes eléctricas de distribución venezolanas.

3. Metodología propuesta

La metodología consta de ocho pasos propuestos, como muestra en la gráfica No. 1.



Gráfica No. 1: Metodología propuesta
Fuente: elaboración propia

Paso 0: Preparación de la lista de problemas y soluciones a valorar: Se elabora en este paso previo. La lista preliminar de soluciones a ser sometida a la metodología es elaborada. Para generar la lista de soluciones se debe partir de un problema a resolver.

Paso 1: Selección de los expertos: Recomienda Belton,[3] y León, [5] que en los problemas de decisión participen varios expertos para la búsqueda de la mejor solución.

La selección de expertos debe hacerse tomando en cuenta varios factores entre los que destacan:

- Los expertos deben conocer parte o todo el problema a resolver
- Deben tener interés en participar por la decisión
- Se debe tener confianza en que la participación de cada experto será valiosa
- La gerencia debe estar convencida de su participación

Paso 2: Identificación de soluciones a priorizar: En este paso, se parte de una lista de soluciones a un problema preexistente que es sometida al juicio de los expertos o decisores de manera que se obtenga una lista consensuada de soluciones a ser valoradas por la metodología.

Paso 3. Selección de los criterios de evaluación: Se crea la lista de criterios y se descomponen en subniveles de ser necesario. En este punto se recomienda que se alcance un consenso entre los participantes.

Paso 4. Ponderación de criterios: Asignación de pesos a los criterios propuestos por cada participante. Este paso se llevará a cabo individualmente con cada experto bien mediante entrevistas o por cuestionarios a distancia, en las comparaciones por pares, tal y como lo propone el AHP. Se llevarán a cabo $n(n-1)/2$ preguntas, siendo n el número de criterios establecidos. Una vez que todos los participantes han sido entrevistados, se mostrarán los resultados del grupo a todos.

Cada experto participa sin el conocimiento de la valoración del grupo. Una vez obtenidas todas las valoraciones, se calcula la valoración del grupo que será utilizada en los pasos siguientes.

Paso 5. Valoración de las soluciones: Última entrevista con los participantes para la asignación de preferencias a las alternativas en base a cada criterio de manera análoga al paso anterior. Al finalizar la asignación de preferencias por criterio, la consistencia debe ser chequeada y corregida si hiciera falta. Los resultados del grupo serán presentados a los participantes.

Paso 6. Discusión de resultados y medición de la satisfacción de los expertos: Una vez calculadas las valoraciones del grupo, los resultados se presentan a los expertos individualmente o en grupo. Cada experto debe recibir sus valoraciones individuales y las del grupo.

Se evalúa la satisfacción de los expertos con la solución obtenida a través de un cuestionario que debe incluir la medición de satisfacción con los pasos 2, 3, 4 y 5.

Paso 7. Análisis de sensibilidad: Se evalúa la sensibilidad de cada criterio en los siguientes aspectos:

- La participación de cada alternativa en el problema global en relación a cada criterio
- El porcentaje de participación global de cada criterio para el grupo de criterios y de cada alternativa con respecto al conjunto de éstas.
- Comparativa entre alternativas agrupadas en pares para cada criterio

4. Caso de estudio

Para el estudio práctico del uso de las herramientas de análisis multicriterio y multiexperto, específicamente del AHP que forma parte del alcance de este trabajo, se consideró un problema de la toma de decisiones de las empresas eléctricas de distribución venezolanas, específicamente en la EDC.

Se presentan a continuación los pasos propuestos en la metodología seguidos paso a paso.

Paso 0. Preparación de la lista de problemas y soluciones a valorar

La lista preliminar a utilizar en el modelo para este trabajo fue inicialmente a por las autoras y sometida a discusión entre expertos de EDC. La lista preliminar se presenta en la descripción del Paso 0 en el apartado anterior

Paso 1. Selección de expertos

El modelo planteado para los efectos de esta investigación es un problema general, relacionado con la elaboración de los presupuestos anuales que debe ser resuelto a niveles de gerencia media y alta de la empresa bajo estudio. Se usó, además el criterio de

seleccionar el personal con base técnica sólida y demostrado interés por nuevas propuestas, pero tradicionales en la ejecución de los análisis técnicos.

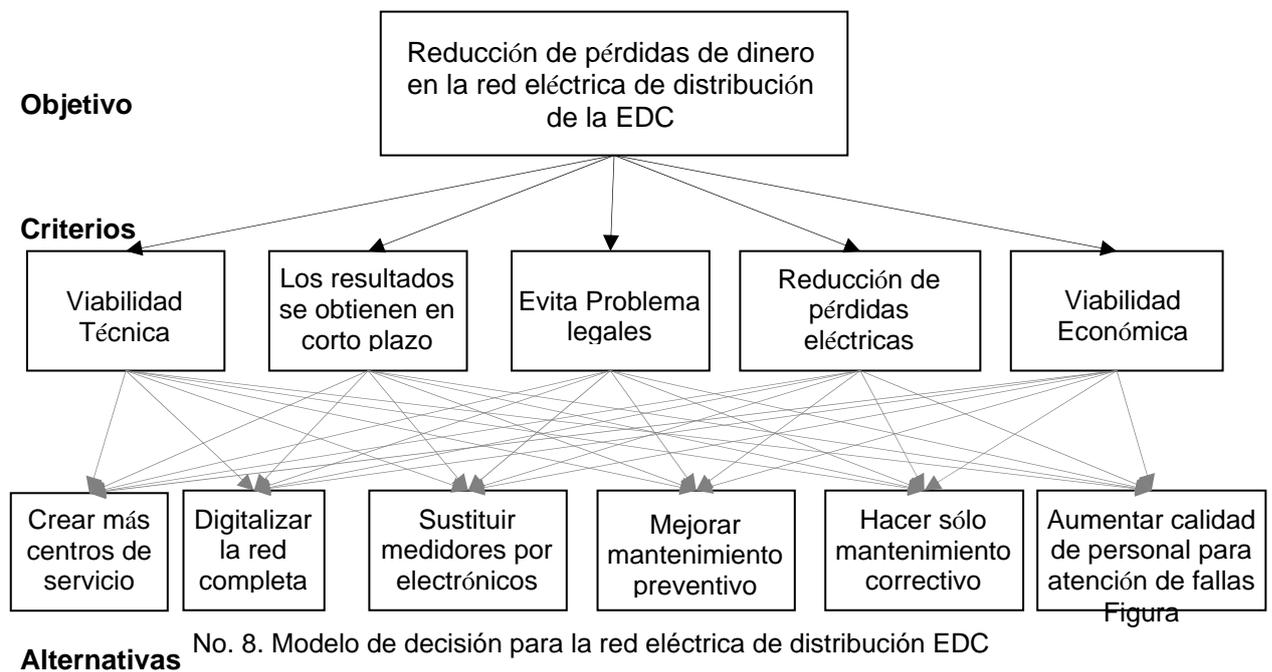
La participación de los expertos en el proceso de toma de decisiones de este estudio no incluyó ninguna diferencia en peso entre ellos.

Paso 3. Selección de los criterios

El problema a resolver presentado a los participantes es la reducción de pérdidas de dinero en la red eléctrica de distribución.

A los expertos que participaron en el proceso de validación del modelo, se les hizo llegar vía correo electrónico una encuesta con preguntas indirectas para la validación del modelo preliminar.

La Figura No. 8 presenta el modelo de decisión para la red eléctrica de distribución de EDC.



No. 8. Modelo de decisión para la red eléctrica de distribución EDC

Figura

Fuente: Elaboración Propia

Paso 4. Ponderación de criterios por parte de los expertos

Previo a este paso, el modelo (objetivo, criterios, alternativas y participantes) fue trabajado mediante AHP, a través de la herramienta EC-2000® (Expert Choice,[8]).

En este paso, los expertos fueron consultados uno a uno bajo el mismo esquema haciendo todas las comparaciones por pares de los criterios entre sí.

Los resultados obtenidos de forma combinada para todos los participantes con igual peso, son los que se muestran en la Tabla 8.

Criterios	Valoración combinada para el grupo
La solución es factible	0.275
Los resultados se obtienen en corto plazo	0.194
Evita problemas legales	0.158
Permite una disminución importante de las pérdidas eléctricas	0.189
La inversión es menor que el dinero recuperado	0.184

Tabla No. 8: Valoración combinada de los criterios para el grupo
Fuente: Elaboración Propia

El criterio con mayor valoración es el de que, cualquiera que sea la alternativa mejor valorada, la solución tiene que ser factible y reproducible en la red de distribución. El resto de los criterios son similares en importancia entre sí, sin incluir el de evitar problemas legales. Según el grupo de expertos participantes, la normativa a entrar en vigor no representa en este momento una amenaza para las empresas eléctricas de distribución.

Paso 5. Valoración de las alternativas

Los resultados obtenidos para el grupo son los que se muestran en la Tabla No. 9.

Alternativas	Valoraciones obtenidas para el grupo
Crear más centros de servicio	0.158
Digitalizar la red eléctrica completa	0.177
Sustituir medidores existentes por medidores electrónicos con mayores prestaciones	0.184
Mejorar el mantenimiento preventivo	0.180
Dedicar todo el esfuerzo en sólo mantenimiento correctivo	0.156
Aumentar la cantidad de personal para la atención de fallas en la red eléctrica	0.145

Tabla No. 9. Valoraciones combinadas de alternativas
Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran la preferencia de los expertos por la sustitución de medidores electrónicos con mayores prestaciones como medida para reducir las pérdidas de

dinero en la red eléctrica de distribución. Luego destacan la necesidad de mejorar el mantenimiento preventivo de la red, seguida de la digitalización de la red completa

Paso 7. Discusión de resultados y medición de la satisfacción de los expertos

Una vez terminado el proceso de comparaciones del Paso 6 se le hizo llegar a los expertos vía correo electrónico la encuesta de medición de satisfacción con la metodología, la priorización del grupo y los tiempos invertidos. Los resultados indican que los expertos quedaron satisfechos tanto con la metodología propuesta, aún cuando las valoraciones obtenidas para el grupo no coinciden con los resultados individuales. Se sienten satisfechos y seguros con los resultados y la metodología propuesta y usada.

Paso 8: Análisis de sensibilidad

Se obtienen los siguientes datos para el análisis:

- El criterio que más influye en todas las alternativas es “La solución es factible”. Un cambio del 10% de la valoración combinada para este criterio genera cambios de menos de 0.5% en la alternativa más afectada.
- Las valoraciones de los criterios no establecen grandes diferencias entre éstos. No existe algún criterio que no contribuya en las alternativas ni alguno que domine las preferencias.
- La desviación estándar de las preferencias de los criterios es de 4.12
- Cambios significativos de hasta un 25% más en las valoraciones del criterio más influyente no afecta el ordenamiento de las alternativas

5. Conclusiones y trabajos futuros

- El problema planteado, las herramientas y metodología presentados a los participantes crearon un espacio importante de aceptación para la inclusión de nuevas herramientas en el análisis de evaluaciones técnico-económicas y la toma de decisiones en la empresa eléctrica venezolana.
- La propuesta presentada como metodología de toma de decisiones en las empresas eléctricas venezolanas tiene aplicabilidad en los casos de tomas de decisiones en las que se requiere inversión de dinero por parte de la empresa y sólo en aquellas en las que se presenta más de una alternativa válida, en primer lugar porque se demuestra que las decisiones son multicriterio, multiexperto y discretas previas a la aplicación de la metodología.
- El proceso de comparación por pares creó expectativas en la metodología porque, según manifestaron los expertos, permite ordenar la subjetividad considerando todos los criterios y todas las alternativas. Este proceso requirió de alrededor de 75 minutos en promedio por experto.
- La validez de resultados se comprobó sólo desde el punto de vista de satisfacción de los expertos con las respuestas obtenidas.
- Aún cuando se planteó un problema de toma de decisiones muy general, los participantes fueron muy consistentes en sus valoraciones tanto para los criterios como para las alternativas, haciendo la solución muy robusta.
- Dado que el contexto para la metodología, todas las decisiones a ser tomadas en este contexto tendrán, al menos, dos criterios: un del tipo técnico y otro económico. Resalta la importancia de la incorporación de criterios no cuantificables tales como

opinión con respecto a experiencias anteriores en casos similares, satisfacción de clientes internos o externos, entre otros.

- Se propone incorporar técnicas de toma de decisiones para el Paso 0 de la metodología, de manera de darle solidez a la escogencia de las soluciones a ser valoradas por los expertos. Esto en sí mismo será un problema de toma de decisiones.
- Se propone la aplicación del Analytic Network Process o ANP (Saaty [6]) que permitirá establecer interdependencias entre criterios, alternativas y criterios con alternativas, más acorde con la realidad de los escenarios de toma de decisión en las empresas eléctricas.

Referencias

- [1] La Electricidad de Caracas. Corporación AES. “*Reportes estadísticos 2005, [en línea]*”. Caracas, Venezuela. Recuperado el 17 de Junio de 2006 de <http://www.laedc.com.ve>
- [2] Saaty T., “*Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. Vol VI of the AHP Series*”, RWS Publications, 2000.
- [3] Belton, V., Stewart, T. “*Multiple Criteria Decision Analysis, An integrated Approach*”, Kluwer Academic Publications, 2002.
- [4] Barba-Romero, S., Pomerol J., “*Decisiones Multicriterio Fundamentos teóricos y Utilización Práctica*”. Colección de economía Universidad de Alcalá, 1997
- [5] León, O. “*Tomar decisiones difíciles*” Segunda Edición. Universidad Autónoma de Madrid, 2000.
- [6] Saaty, T., “*Theory and applications of the Analytic Network Process: Decision making benefits, Opportunities, Costs and Risks*”. RWS Publication, 2005.
- [7] www.opsis.org.ve
- [8] Team Expert Choice. User Manual, Expert Choice Inc., Pittsburg, PA (1998)

Agradecimientos

Se agradece a La Electricidad de Caracas (EDC) por permitir acceder a sus gerentes y personal técnico que participó en este trabajo de investigación, especialmente a Antonio Martínez, quien impulsó y apoyó esta idea desde el comienzo.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Aidaelena Smith Perera asmith@unimet.edu.ve
Mónica García Melón mgarciam@dpi.upv.es
Rocío Póveda Bautista ropobau@upvnet.upv.es