

CONTROL DE LA ADAPTACIÓN ECONÓMICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN MODELO POSIBILÍSTICO DE OPTIMIZACIÓN DINÁMICA

PARTE II: MODELO CONTROL DE LA DESADAPTACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA Y ESTUDIO DE CASO

GUSTAVO SCHWEICKARDT⁽¹⁾ - VLADIMIRO MIRANDA⁽²⁾ - JUAN MANUEL GIMENEZ⁽³⁾

(1) CONICET - Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche - ARGENTINA

(2) INESC Porto – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto and FEUP
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – PORTUGAL

(3) CONICET – Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería – Departamento de Electromecánica. San Juan - ARGENTINA

gustavoschweickardt@conicet.gov.ar - vmiranda@inescporto.pt - jgimenez@uns.edu.ar

Fecha Recepción: Febrero 2012 - Fecha Aceptación: Agosto 2012

RESUMEN

El concepto de Sistema de Distribución Económicamente Adaptado, se sustenta en el Paradigma Económico Neo-Clásico, referido en el estado del arte como dominante. Se lo vincula sólo a la eficiencia productiva que implica la expansión y operación del sistema a mínimo costo. Ignora las incertidumbres o bien se les confiere un carácter estocástico que no necesariamente exhiben. En este trabajo se presenta un modelo alternativo para evaluar el grado de desadaptación del sistema, en los períodos de control tarifario fijados regulatoriamente.

El modelo, sustentado en la optimización dinámica multicriterio bajo condiciones de incertidumbres no estocásticas, es solidario a un paradigma diferente, desde la visión de Riesgo e Incertidumbre propuesta por el Pos-Keynesianismo. Se aportan, como resultados más relevantes, una marcada diferenciación entre la Optimización Estática, sustentada en los métodos clásicos asociados al Paradigma Dominante, respecto de la Dinámica no Estocástica propuesta en el Modelo Posibilístico, así como un completo y novedoso desarrollo teórico para su aplicación sobre un estudio de caso real. En esta Segunda parte del trabajo, se presentan los desarrollos relativos al Modelo Control de Desadaptación Dinámica y la Simulación del Modelo completo sobre un Estudio de Caso.

PALABRAS CLAVE: Adaptación Económica - Análisis de Riesgo - Optimización Multicriterio - Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

ABSTRACT

The concept of Economically Adapted Distribution System, is based on the Neo-Classic Economics Paradigm.

It is related only to the productive efficiency, which implies the expansion and operation of system with a minimum cost. It ignores the uncertainties, or it renders them a stochastic nature, which they do not necessarily show to have. In this work a model to evaluate the De-adaptation System degree, in the regulatory control periods, is presented.

The model, based in Multicriteria Optimization and non stochastic uncertainties, suggest a change of paradigm from the approach of Uncertainty and Risk proposed by Pos-Keynesianism. A strong difference between Static Optimization respect to Non Stochastic Dynamic, proposed in the Possibilistic Model, and a complete and new theoretical development, for application in a real Case of Study, are presented as important results and conclusions of this work. In this Second part of work, the development of De-adaptation System Degree Control Model and a Simulation of Complete Model in a Case of Study, are presented.

KEYWORDS: ECONOMIC ADAPTATION - RISK ANALYSIS - MULTICRITERIA OPTIMIZATION - ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEMS

1. INTRODUCCIÓN

En la Primera parte del Modelo Completo, se han presentado los desarrollos vinculados a las Preferencias y Dinámica Difusas, Etapas I y II, respectivamente. Ambas abarcan la planificación del Sistema de Distribución Eléctrica (SDEE), en el Mediano/Corto Plazo, cuyo horizonte temporal coincide con el período de Control Regulatorio. La Etapa III, *trata específicamente sobre tal control en cuanto al grado de adaptación (desadaptación) dinámica que el sistema exhibe en cierta etapa o año de dicho período*. Es decir: las Etapas I y II tratan con *estados proyectados* del sistema. La Etapa III lo hace con *estados presentes*. Los desarrollo propuestos aquí, resultan novedosos aportes e introducen modificaciones sustanciales, más consistentes, respecto de los modelos presentados en trabajos previos tales como (SCHWEICKARDT y MIRANDA, 2007) y (SCHWEICKARDT y MIRANDA, 2009). Principalmente *aquellos que se relacionan con la recomposición del Vector de Prioridades en el estado presente, considerado para su control, conforme la trayectoria más satisfactoria de evolución obtenida*, TMS, desde las Etapas I y II. Las ecuaciones de la Primera parte del Modelo, se referirán aquí anteponiendo un (I) al número correspondiente, y se continuará la numeración para las nuevas.

2. ETAPA III DEL MODELO POSIBILÍSTICO: CONTROL DE LA DESADAPTACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA

2.1 La razón de desadaptación del sistema

Al sistema cuyo *mérito* o *aptitud* en la planificación, está dado por (I-28), se lo referirá como *sistema proyectado*.

En el caso de un SDEE, se han proyectado *extensiones de líneas, refuerzos y ubicación de nuevos centros de transformación*, conforme la *satisfacción de los criterios preestablecidos*. El objetivo de la Etapa III, *estriba en medir la desadaptación que el sistema real exhibe, para cierto período, discretizado en años de control regulatorio, respecto del sistema proyectado*. Este es el punto *sin solución en el estado del arte*, pues *no se tienen métodos formales para este tipo de control*.

El control se realiza siempre *al comienzo del período de tarifario (por caso, quinquenal en Argentina), ignorándose que ocurrió con las incertidumbres en las variables consideradas en la planificación*. La única variable importante, es el *costo de inversión respecto de la demanda proyectada*. Cualquier *sobrecosto* es penalizado al comienzo del período siguiente, con el argumento de que el sistema *se desadaptó respecto de su demanda*. Y cualquier *pérdida* es difícilmente reconocida, con el mismo argumento, *desadaptándose, pero en sentido opuesto*.

A efectos de lograr el objetivo, el Modelo Posibilístico *introduce una definición operacional para la desadaptación dinámica del sistema*. No *estática*, como se plantea al comienzo de cada período de control en el estado del arte. Esta definición tendrá *dos componentes*, por ello será *vectorial*. La *primera, intentará ponderar estrictamente cuánto se apartó el sistema real, en el año m, respecto del proyectado*. La *segunda, ententará evaluar qué capacidad tiene el sistema real, de seguir evolucionando, a partir del año m, por una trayectoria que no vulnere la restricción de Riesgo Extrínseco impuesta y satisfecha, según la TMS(α c), por el sistema proyectado*. En este epígrafe se trata la *primera*, referida como Razón de Desadaptación.

La construcción de tal componente, intenta medir, en última instancia, *cuán consistente se ha mantenido el sistema respecto de su proyección para el año de corte m*. Para ello, primero, se introduce un Índice de Consistencia:

$$I_{\text{con}}(m) = \left(1 - e^{-\beta \times [ALerrcpT(m)]} \right) \quad (29)$$

siendo: *m* el *estado presente* de control/año de corte; β la misma constante que en (I-24) y $ALerrcpT(m)$ es el *error total logarítmico* que se obtiene al calcular la representatividad del Vector de Prioridades relevado desde el *estado m*, $VP^{[E, m]}$, respecto de $VP^{[E]}$. Para el cálculo de (29) es necesario conocer el $VP^{[E, m]}$.

Para ello se introduce el aquí referido como Principio de Invariancia en la Aptitud Ponderada: *de existir un cambio indiferente en las preferencias entre los criterios del sistema, su aptitud (satisfacción) respecto de cada uno de ellos, ponderada a través de sus nuevos $vp_i^{[E,m]}(\alpha C)$, no debería modificarse*. Es decir, si $\{A\}$ es el conjunto de criterios, entonces. $\forall i \in [1...n] \in \{A\}$: $(\mu_{A_i}(u_i) \equiv \mu(u_i)_{[m,k^*]_{A_i}}$, para los estados m o k*)

$$\left[\mu(u_i)_{[m]_{A_i}} \right] vp_i^{[E,m]}(\alpha C) = \left[\mu(u_i)_{[k^*]_{A_i}} \right] vp_i^{[E]}(\alpha C) \tag{30}$$

siendo k* el estado proyectado por donde pasa la TMS(αC) en la etapa o año de corte m.

El valor del segundo miembro es conocido, porque tanto las *funciones de pertenencia* para el estado k*, como las *componentes* del $VP^{[E]}$, fueron calculadas en la Etapa II. El valor de la *función de pertenencia* en el estado m, para cada *variable de apartamento* en el conjunto $\{A\}$, debe calcularse relevando el valor de la *variable asociada al criterio i-ésimo y, utilizando las mismas referencias que en la Etapa II*, aplicando (I-25). Por supuesto, *la característica funcional de las funciones de pertenencia para cada variable u_i , presente y proyectada, son las mismas: μ* . Despejando desde (30), el Vector de Prioridades (transformado a su *forma exponencial*, como se indicó en (I-22) y (I-23)), $VP^{[E,m]}$, tendrá las *componentes*:

$$vp_i^{[E,m]}(\alpha C) = \left(vp_i^{[E]}(\alpha C) \right) \times \frac{\log \{ \mu(u_i)_{[k^*]_{A_i}} \}}{\log \{ \mu(u_i)_{[m]_{A_i}} \}} \tag{31}$$

considerando los siguientes casos particulares:

a) si $\mu(u_i)_{[m]_{A_i}} = 1$, entonces se adopta:

$$vp_i^{[E,m]}(\alpha C) = \left(vp_i^{[E]}(\alpha C) \right) \times \mu(u_i)_{[k^*]_{A_i}} \tag{32}$$

b) si $\mu(u_i)_{[k^*]_{A_i}} = 1$, $\mu(u_i)_{[m]_{A_i}} \leq 1$, entonces se adopta:

$$vp_i^{[E,m]}(\alpha C) = vp_i^{[E]}(\alpha C) \tag{33}$$

Sin embargo, desde (32)-(33), nada garantiza que se cumpla la *condición sobre los ponderadores exponenciales*:

$$\sum_{i=1}^n vp_i^{[E,m]}(\alpha C) = n \tag{34}$$

como se observa de (I-22), dado que $vp_i^{[N]}(\alpha C) = 1$, por estar los componentes de $VP^{[N]}$ normalizados. Para ajustar óptimamente $VP^{[E, m]}$ conforme (34), se integran al Modelo los dos Programas Lineales acoplados siguientes: si ε_i es el error de ajuste en el ponderador i -ésimo, $A\varepsilon_i$ es su valor absoluto y $A\varepsilon_T$ es la suma de ambos extendida a los n ponderadores, se tiene:

Programa A: Sea $C = \{ \forall i \in [1..n] \}$

Min

$$\left\{ A\varepsilon_T = \sum_{i=1}^n A\varepsilon_i \right\} \quad (35-A)$$

Sujeto a:

[Restricción de Ponderadores Exponenciales]

$$\sum_{i=1}^n (vp_i^{[E,m]}(\alpha C) + \varepsilon_i) = n \quad (35-B)$$

[Restricciones de Valor Absoluto de los Errores de Ajuste]

$$A\varepsilon_i + \varepsilon_i \geq 0, \text{ en } C \quad (35-C)$$

$$A\varepsilon_i - \varepsilon_i \geq 0, \text{ en } C \quad (35-D)$$

$$A\varepsilon_i \geq 0, \text{ en } C \quad (35-E)$$

[Restricciones de Efecto sobre los Conjuntos Difusos]:

Se debe respetar, en cada ponderador, el efecto de *contractor* o *dilatador* sobre el Conjunto Difuso solidario al criterio correspondiente. Esto es: en C:

$$\text{si: } vp_i^{[E]}(\alpha C) \leq 1 \text{ (efecto dilatador o neutro), entonces } vp_i^{[E,m]}(\alpha C) + \varepsilon_i \leq 1 \quad (35-F)$$

$$\text{sino: (efecto contractor) } vp_i^{[E,m]}(\alpha C) + \varepsilon_i \geq \text{MinVal} \quad (35-G)$$

La variable auxiliar MinVal se define del siguiente modo:

$$\text{si: } \sum_{i=1}^n vp_i^{[E,m]}(\alpha C) < n, \text{ MinVal} = 1 \quad (35-H)$$

$$\text{si: } \sum_{i=1}^n vp_i^{[E,m]}(\alpha C) > n, \text{ MinVal} = \text{Min} \left\{ vp_i^{[E,m]}(\alpha C) \right\} \quad (35-I)$$

El caso *neutro*, se corresponde con la situación $vp_i^{[E]}(\alpha C) = 1$; el caso *contractor* contempla la *imposibilidad en la solución factible hallada, de preservar el carácter contractor* de $vp_i^{[E,m]}(\alpha C)$, interviniendo MinVal.

Programa B: sea ϵ_{Max} una *cota de error* y $A\epsilon_{Max}$ su *valor absoluto*, entonces:

Min

$$\{A\epsilon_{Max}\} \tag{36-A}$$

Sujeto a:

[Restricciones (35-B) a 35-I)]

[Restricciones de de Límite Máximo en los Errores Individuales por Ajuste en $VP^{[E, m]j}$]

$$A\epsilon_i \leq A\epsilon_{Max} ; \text{ en } C \tag{36-B}$$

El Programa A, ajusta el vector $VP^{[E, m]}$, para que sus componentes satisfagan la condición de ponderadores exponenciales en el sistema de preferencias reconstruido a partir del estado presente (año de corte m).

El Programa B, acota el error individual de cada componente ajustada, $vp_i^{[E,m]}(\alpha C) + \epsilon_i$, para que éste se mantenga inferior a cierto error máximo, $A\epsilon_{Max}$. Luego, pueden determinarse los errores logarítmicos de inconsistencia en las prioridades para el estado presente, m, resolviendo las ecuaciones que siguen:

sea $C = \{ \forall i \in [1..n-1]; \forall j \in [i+1.. n] \}$, $Lpref_{ij}(\alpha C)$ el *logaritmo de la preferencia colapsada según* (αC), entre los criterios i y j, $Lvp_i^{[E, m]}(\alpha C)$ el *logaritmo de la componente i-ésima* (idem para la j-ésima) del Vector de Prioridades ajustado por los programas anteriores, y $Lecp_{ij}$ el *logaritmo del error de inconsistencia entre las prioridades*, entonces , en C:

$$Lvp_i^{[E, m]}(\alpha C) - Lvp_j^{[E, m]}(\alpha C) + Lecp_{ij} = Lpref_{ij}(\alpha C) \tag{37}$$

de donde:

$$Lecp_{ij} = Lpref_{ij}(\alpha C) + Lvp_j^{[E, m]}(\alpha C) - Lvp_i^{[E, m]}(\alpha C) \tag{38}$$

Si el *error multiplicativo* ecp_{ij} resultase 1, su *logaritmo* $Lecp_{ij} = 0$; significaría que *no habría cambio en las prioridades entre los criterios (i, j), pues su cociente (resta de logaritmos) conduce a la misma preferencia calculada para la Etapa I.*

Luego, el valor absoluto del logaritmo del error total por inconsistencias ente el vector de prioridades del estado presente, m , y el estado proyectado en el mismo año de corte, k^* , resulta:

$$ALerrcpT(m) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |L_{cp;ij}| \quad (39)$$

Se está, entonces, en condiciones de calcular el Índice de Consistencia dado por (29).

Finalmente, la Razón de Desadaptación es definida mediante la expresión:

$$R_D(m) = \frac{\text{Max} \{0; [I_{con}(m) - I_{inc}]\}}{I_{inc}} \quad (40)$$

$$\text{con: } R_D(m) = 0 \text{ si } I_{inc} = I_{con}(m) \quad (41)$$

Se observa que si $I_{con}(m) \leq I_{inc}$ el sistema se encuentra adaptado, dinámicamente, hasta la etapa de evaluación/año de corte m . Por ello, $R_D(m) = 0$. $I_{inc} = I_{con}(m)$ supone un sistema perfectamente adaptado en las consistencias de preferencias entre criterios. En cualquier otro caso, la desadaptación aumentará en la medida que $I_{con}(m) > I_{inc}$, siendo $R_D(m) > 0$.

Una breve digresión permitirá abonar sobre lo que se intenta captar mediante este concepto: *la desadaptación dinámica del sistema, se produce como consecuencia de los cambios en las preferencias entre los criterios de optimización*. Un ejemplo: supóngase que en un SDEE se tienen dos criterios, el Costo Global de Inversión en Redes (CG) y la Energía No Suministrada por Cortes (ENS).

Si el segundo es más importante que el primero, se esperan inversiones que minimicen la frecuencia y duración de las interrupciones de energía. Se proyecta el sistema, y se reconocen esos costos de inversión a través de la tarifa. En cambio, se decide no invertir. Se alteran las preferencias (ENS tiene prioridad menor que CG), pues ahora, al tener menos inversiones, hay más cortes, y con mayor duración esperada.

El SDEE sufrió una desadaptación respecto de su proyección, y el regulador debería arbitrar los medios de penalización pertinentes.

2.2 La variación de aceptación de la TMS(α C)

La segunda componente, como se dijo en el epígrafe anterior, *intentará proporcionar una medida de la capacidad que tiene el sistema de evolucionar desde el estado presente, m, en adelante, sin vulnerar la restricción de Riesgo Extrínseco (satisfecha por la TMS(α C))*. Ello requiere de calcular el Riesgo Intrínseco en el estado m, como sigue: $\forall i \in [1..n]$

$$\mu_D(m) = \text{Min} \left\{ \left[\mu(u_i)_{[m]_{A_i}} \right]^{vp_i^{[E,m]}(\alpha C)} \right\} \quad (42)$$

$$\Theta_D(m) = 1 - \mu_D(m) \quad (43)$$

y se propone el indicador:

$$\Delta_{\mu_D}(m) = \text{Max} \left\{ 0 ; \frac{\{\Theta_D(m) - \Theta_{Ext}\}}{\Theta_{Ext}} \right\} \quad (44)$$

el cual se referirá como Variación de Aceptación en la trayectoria del sistema desde el estado presente, m, en evaluación.

2.3 El Vector de Adaptación Dinámica del sistema

Se introduce, entonces, el Vector de Adaptación Dinámica. A partir de (40), Razón de Desadaptación y de (44), Variación de Aceptación, se tiene:

$$V_{Din}^{Adap}(m) = \begin{bmatrix} R_D(m) \\ \Delta_{\mu_D}(m) \end{bmatrix} \quad (45)$$

$$y: V_{Din}^{Adap}(m) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (46)$$

resulta se la *condición de Adaptación Dinámica Perfecta*. El vector dado por (45) es *dinámico*, puesto que *su definición se sustenta la naturaleza histórico-evolutiva del sistema*. La autoridad regulatoria debería ser quien determine los *apartamientos permisibles* respecto de la condición (46). Esto supone definir *grados de adaptación* regulatoriamente.

3. CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO POSIBILÍSTICO DE CONTROL REGULATORIO SOBRE UN SDEE

Los desarrollos precedentes *se abordaron con abstracción del tipo de sistema objeto de estudio*, más allá de referir su aplicación a los SDEE.

A efectos de completar el modelo aplicable a un SDEE, son considerados *ocho criterios*, con el objeto de generalizar los desarrollos expuestos. Se supone que el SDEE, se emplaza en una ciudad donde se controla la Calidad Ambiental, en particular, por Impacto Visual de las Redes. Este es el caso de una ciudad turística. Se ha adoptado como referencia, el Marco Regulatorio Eléctrico vigente en Argentina. Un aspecto que debe ser destacado, estriba en el hecho de que la regulación referida, *penaliza monetizando el impacto negativo de casi la totalidad de los criterios de calidad aquí expuestos*.

Entonces: *porqué no aplicar, directamente, tales penalizaciones, sumándolas a los costos de inversión, operación y mantenimiento y planteando, como se realiza en la práctica, una optimización MonoObjetivo que minimiza el costo total?* La respuesta es que se trata, precisamente, de reconocer que los valores impuestos regulatoriamente como penalizaciones, exhiben una dudosa concepción, y no necesariamente representan el costo social de oportunidad atribuible a los aspectos de no- calidad, en general.

Por tanto, la *incertidumbre de valor es introducida en el modelo*, mediante los Conjuntos Difusos asociados a cada criterio no monetizable objetivamente. Luego, la *dinámica es extendida al dominio difuso*, tal como se presentó. Se establecerán los n criterios A_i , y su Matriz de Preferencias Difusas, **MPA**. Entonces se adopta un α -corte, y se procede a *colapsarlas*, obteniendo, finalmente, el Vector de Prioridades Exponenciales $vp_i^{[E]}(\alpha)$. Para ello se recurre a los conceptos, ecuaciones y programas de optimización presentados la Primera parte del Modelo completo.

Luego, para cada criterio, se define una *variable* y un *valor de referencia pertinente*. Así se construye la *variable de apartamiento* correspondiente, u_i , dada por (I-25). Son, así, definidas las *funciones de pertenencia* de cada Conjunto Difuso asociado a las mismas. Estas serán *funciones exponenciales*, de la forma genérica:

$$\mu_{A_i}(u_i) = e^{-u_i \times vp_i^{[E]}(\alpha)} \quad (47)$$

en la cual se observa que se ha *ponderado la importancia* de cada Conjunto Difuso. Se aborda así la Etapa II de planificación, mediante los métodos desarrollados. Los criterios y sus *variables de apartamiento*, son los que siguen. Se refieren a cada estado j de cada etapa k , $[j, k]$ (k , año de corte del horizonte de planificación) en el Espacio de Búsqueda, para la PDD. Todos los desarrollos a continuación presentados, son propuestos por los autores del presente trabajo.

Costo Global (CG):

$$u_{CG[j,k]} = \frac{AC_{v[j,k]} - \text{Min} \{ AC_{v[j,k]} \}_{k-1}}{\text{Min} \{ AC_{v[j,k]} \}_{k-1}} \quad (48)$$

donde: $AC_{v[j,k]}$ es el *costo anual de inversión más el costo anual de operación y mantenimiento* del SDEE, correspondiente a la *variante de equipamiento v*, en el estado j de la etapa k; $\text{Min} \{ AC_{v[j,k]} \}_{k-1}$ es el *mínimo costo de transición*, entre las etapas k-1 y k aplicando Programación Dinámica Clásica, y resulta ser el *valor de referencia*, CGRef, para cada etapa k.

Energía No Suministrada (ENS):

$$u_{ENS[j,k]} = \text{Max} \left\{ 0; \frac{\left(ENS_{[j,k]} - ENS_{[k]}^{Ref} \right)}{ENS_{[k]}^{Ref}} \right\} \quad (49)$$

donde: $ENS_{[k]}^{Ref}$ es un *límite externamente fijado* para cada etapa k, *función de la demanda*. Es un porcentaje pequeño de la demanda esperada.

Índice de Interrupción del Servicio (FI):

$$u_{FI[j,k]} = \text{Max} \left\{ 0; \frac{\left(FI_{[j,k]} - FI_{[k]}^{Ref} \right)}{FI_{[k]}^{Ref}} \right\} \quad (50)$$

donde: $FI_{[k]}^{Ref}$ es un *límite de número de interrupciones de servicio por semestre*. Es *externamente impuesto*, para cada etapa k, *por la autoridad regulatoria*. Difiere si se trata de *zonas urbanas o rurales*. La Frecuencia de Interrupción:

$$FI_{[j,k]} = \sum_{i \in NInt} \left(\frac{Q_{CTInst[j,k]}^{fs}}{Q_{CTInst[j,k]}} \right) \quad (51)$$

tiene una estructura de *cálculo sustentada en exigencias regulatorias*:

$Q_{CT_{[j,k]}}^{fs}$ es cada Centro de Transformación, CT MT/BT (Media Tensión/Baja Tensión), que, se estima, saldrá fuera de servicio fs veces por semestre en el estado $[j, k]$; N_{int} , es el número total de CT MT/BT, que estarán fuera de servicio fs veces en el mismo semestre para $[j, k]$, y $Q_{CTInst_{[j,k]}}$ es el número

total de CT MT/BT instalados, en la variante de equipamiento correspondiente al estado $[j, k]$. La estimación se realiza sobre la base de los denominados Modelos de Confiabilidad del SDEE, de naturaleza Estocástico-Difusa, y fs es una *tasa de falla estadística*, dato para el Modelo propuesto.

Índice de Tensión Fuera de Tolerancia (TF):

$$u_{TF_{[j,k]}} = \text{Max} \left\{ 0; \frac{\left(ITF_{[j,k]} - ITF_{[k]}^{Ref} \right)}{ITF_{[k]}^{Ref}} \right\} \quad (52)$$

La definición de este índice requiere algo de detenimiento: $ITF_{[k]}^{Ref}$ es un

índice/valor límite, para cada etapa k , cuya construcción requiere de las siguientes consideraciones y pasos: **a)** existen *penalizaciones impuestas por la autoridad regulatoria*, para la Energía Suministrada en Malas Condiciones de Calidad (ESMCC). Dependen de *dos factores*: 1) Densidad de Distribución (Urbana, Ur, o Rural, Ru) y 2) Máxima Caída de Tensión en los alimentadores de la red de Media Tensión. Tal caída, por unidad, se define en términos relativos a la tensión nominal: $\Delta u = (u - uNom) / uNom$, siendo u la tensión registrada.

En el Modelo propuesto, el *perfil de tensiones*, u , en cada *nodo* surge de simular un *flujo de potencias*. Las *penalizaciones aumentan por escalones*, definidos mediante *rangos de apartamientos de u respecto de $uNom$* ; **b)** a partir de tales *penalizaciones*, se construye un Índice de Referencia por área (Ur/Ru), y estado $[j, k]$. Pondera la ESMCC, en cada *nodo* i -ésimo, sobre un *factor de valorización promedio*, expresado mediante:

$$f_{[Ru/Ur]} = \frac{\$p_{[1erEsc][Ru/Ur]}}{\$p_{[1erEsc]Ru} + \$p_{[1erEsc]Ur}} \quad (53)$$

siendo $\$p_{[1erEsc][Ru/Ur]}$ la *penalización aplicada para el primer escalón* según el *segmento Ur/Ru*.

$$ITF_{[j,k][Ru/Ur]}^{Ref} = f_{[Ru/Ur]} \times \frac{\sum_{i=1}^{nNTF_{[j,k][Ru/Ur]}} ESMCC_{[j,k][Ru/Ur]}^i}{E_{[j,k][Ru/Ur]}^{Total}} \quad (54)$$

siendo: $nNTF_{[j,k][Ru/Ur]}$ el número de nodos en el área Ru o Ur, respectivamente,

en los que se han detectado violaciones de tensión, $ESMCC_{[j,k][Ru/Ur]}^i$ la

ESMCC en cada uno de tales nodos y $E_{[j,k][Ru/Ur]}^{Total}$ la energía total suministrada

en el área respectiva, en [j, k]; c) con el mínimo de los índices obtenidos, según todos los estados j de la etapa k y para cada área, Ur/Ru, se compone el Índice de Referencia requerido en la ecuación (52). Entonces: $\forall j \in k$:

$$ITF_{[k]}^{Ref} = \text{Min} \left\{ ITF_{[j,k]Ur}^{Ref} \right\} + \text{Min} \left\{ ITF_{[j,k]Ru}^{Ref} \right\} \quad (55)$$

d) entonces, el Índice $ITF_{[j,k]}$ se establece siguiendo dos pasos: 1ro) Se considera el número de nodos, en cada área (Ur/Ru), su variación de tensión, $[\Delta u^u]^i$, y la penalización correspondiente. Se calculan:

$$ITF_{[j,k][Ur]} = \frac{\sum_{i=1}^{nNTF_{[k,j][Ur]}} ESMCC_{[j,k][Ur]}^{Ref,i} \times \$p_{[\Delta u^u]^i}[Ur]}{E_{[j,k][Ur]}^{Total} \times [\$p_{[1erEsc]Ru} + \$p_{[1erEsc]Ur}]} \quad (56)$$

$$ITF_{[j,k][Ru]} = \frac{\sum_{i=1}^{nNTF_{[k,j][Ru]}} ESMCC_{[j,k][Ru]}^{Ref,i} \times \$p_{[\Delta u^u]^i}[Ru]}{E_{[j,k][Ru]}^{Total} \times [\$p_{[1erEsc]Ru} + \$p_{[1erEsc]Ur}]} \quad (57)$$

y 2do) se suman ambos Índices dados por (56) y (57):

$$ITF_{[j,k]} = ITF_{[j,k][Ur]} + ITF_{[j,k][Ru]} \quad (58)$$

Finalmente, mediante (54) y (58) se calcula (52). Puede observarse que son aceptadas, sin aplicación de penalidad, violaciones de tensión en el primer escalón. Esto es así en la práctica, y ha sido respetado, construyendo un Índice de Referencia consecuente.

Por otro lado, el número de nodos en los que se detectan violaciones de tensión, $n_{NTF_{[j,k][Ru/Ur]}}$, surge de simular un flujo de potencia. En la simulación sobre un sistema real, se analiza el subsistema de Media Tensión, por lo cual cada nodo i -ésimo, resultará ser un CT MT/BT. Adicionalmente, estos CT MT/BT, tienen asociadas Curvas Típicas de Carga, como funciones horarias. Así puede estimarse la ESMCC.

Pérdidas Globales de Potencia (PG)

$$u_{PG_{[j,k]}} = \frac{PG_{v_{[j,k]}} - \text{Min}\{PG_{v_{[j,k]}}\}_{k-1}}{\text{Min}\{PG_{v_{[j,k]}}\}_{k-1}} \quad (59)$$

donde: $PG_{v_{[j,k]}}$ son las Pérdidas Activas Globales del SDEE, correspondientes

a la variante de equipamiento v , en el estado $[j, k]$; $\text{Min}\{PG_{v_{[j,k]}}\}_{k-1}$ son las mínimas PG de transición, entre las etapas $(k-1, k)$ aplicando Programación Dinámica Clásica, y resulta ser el valor de referencia, PG_{Ref} , para la etapa k .

Calidad Ambiental: Impacto Visual por Construcción de Líneas fuera del Típico Constructivo establecido según Zonas (IALin):

Aquí se asume, para la construcción de la variable de apartamiento asociada a este criterio de Calidad Ambiental, que la regulación fija un Vector de Índices de Impacto. El mismo se compone de ponderadores lineales, asociados a una Matriz de Preferencias sobre impactos, para cada típico constructivo de las líneas aéreas.

La hipótesis es que esa matriz es dato. Tal impacto es considerado según zonas, y se produce cuando se emplazan en las mismas, típicos constructivos de mayor impacto que el establecido en cada una. Un típico constructivo, consistiría en una línea aérea, preensamblada o subterránea, pues los accesorios necesarios para su instalación, se definen por normas constructivas. Se consideran, a efectos de la simulación presentada en el Estudio de Caso, cinco zonas, y se tendrá un Vector de Índices de Impacto como el siguiente (Ae: Aéreo, Pr, Preensamblado y Sb: Subterráneo):

$$[P]_{\{Ae,Pr,Sb\}}^{[Z]} = \begin{bmatrix} [zA, \{Ae, Pr, Sb\}] \\ P_{ILin} & [zB, \{Ae, Pr, Sb\}] \\ P_{ILin} & [zC, \{Ae, Pr, Sb\}] \\ P_{ILin} & [zD, \{Ae, Pr, Sb\}] \\ P_{ILin} & [zE, \{Ae, Pr, Sb\}] \\ P_{ILin} \end{bmatrix} \quad (60)$$

Entonces es propuesto el siguiente Índice de Impacto Zonal:

$$I_{IALin}^z = \text{Max} \left\{ 0; \left(\frac{\sum_{t=t_{Malmp}}^{t=t_{Melmp}} \left(p_{IALin}^{[z,t]} \times \frac{km^{[z,t]}}{km^{z, \text{Totales}}} \right) - p_{IALin}^{[z,Est]}}{p_{IALin}^{[z,Est]}} \right) \right\} \quad (61)$$

donde: t_{Melmp} , t_{Malmp} : refieren los *típicos constructivos de menor y mayor impacto en la zona z considerada*, y son los límites entre los que varía el típico t ; $p_{IALin}^{[z,Est]}$ es el *ponderador de impacto para el típico establecido para la zona z*; $p_{IALin}^{[z,t]}$ idem para otro típico t , diferente; $km^{[z,t]}$ son los *kilómetros de línea en la zona z, tendidos con el típico t*, y $km^{z, \text{Totales}}$ son la *totalidad de kilómetros tendidos en z*. Se observa que si todos los tendidos de líneas en cada zona, respetasen el típico establecido, el Índice de Impacto Zonal resultaría nulo. Finalmente, el Índice Global de Impacto, resulta, calculando (61) en cada estado $[j, k]$: $\forall z \in Z$ (Z , es el número de zonas, cinco, en este caso):

$$I_{IALin [j, k]}^z = \sum_Z I_{IALin [j, k]}^z = u_{IALin [j, k]} \quad (62)$$

y tal índice se constituye, a su vez, en la *variable de apartamento* para este criterio (IALin).

Calidad Ambiental: Impacto Visual por Construcción de Centros de Transformación (CT MT/BT) fuera del Típico Constructivo establecido según Zonas (IACT):

El desarrollo de este Índice Global de Impacto, es *completamente análogo al anterior*, reemplazando *típicos constructivos de líneas por típicos constructivos de Centros de Transformación*, y *kilómetros de tendido de líneas por cantidad de CT MT/BT (nCT)*. Se tiene entonces (Pt: CT Plataforma, Ni: CT a Nivel y Sb: CT Subterráneo):

$$[p]_{\{Pt, Ni, Sb\}}^{[Z]} = \begin{bmatrix} p_{ICT}^{[zA, \{Pt, Ni, Sb\}]} & p_{ICT}^{[zB, \{Pt, Ni, Sb\}]} & p_{ICT}^{[zC, \{Pt, Ni, Sb\}]} \\ p_{ICT}^{[zD, \{Pt, Ni, Sb\}]} & p_{ICT}^{[zE, \{Pt, Ni, Sb\}]} & \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$I_{IACT}^z = \text{Max} \left\{ 0; \left(\frac{\sum_{t=t_{Malmp}}^{t=t_{Melmp}} \left(p_{IACT}^{[z,t]} \times \frac{nCT^{[z,t]}}{nCT^{z, \text{Totales}}} \right) - p_{IACT}^{[z,Est]}}{p_{IACT}^{[z,Est]}} \right) \right\} \quad (64)$$

$$I_{ACT [j,k]} = \sum_z I_z^{ACT [j,k]} = u_{I_{ACT [j,k]}} \quad (65)$$

Flexibilidad del Sistema (Flex):

El Criterio de Flexibilidad, es definido como *la habilidad que tiene una variante de equipamiento de hacer frente a distintos escenarios*. En este contexto, *la flexibilidad de una variante se sustenta en el cálculo de variación del costo total, debido a las desviaciones de demanda, respecto del mínimo costo en una condición adoptada como base (pronóstico de demanda medio), para cada estado del Espacio de Búsqueda*. La flexibilidad se corresponde, entonces, con una variable de apartamiento, cuya referencia es el mínimo costo de estado y etapa [j, k] en un escenario de demanda media, SD: $Flex[j,k,s_D] \rightarrow u_{Flex[j,k]}$, de modo que, utilizando las definiciones dadas al desarrollar la variable de apartamiento CG, se tiene:

$$u_{Flex[j,k]} = \frac{AC_{v[j,k]} - \text{Min} \left\{ AC_{v[j,k]} \right\}_{s_D}}{\text{Min} \left\{ AC_{v[j,k]} \right\}_{s_D}} \quad (66)$$

4. SIMULACIÓN DEL MODELO POSIBILÍSTICO SOBRE UN SDEE REAL. ESTUDIO DE CASO

4.1 Generalidades sobre el SDEE considerado

La simulación del presente modelo, se ha realizado sobre un SDEE real, emplazado en la patagonia argentina, en la ciudad de Bariloche, provincia de Río Negro. El análisis se corresponde con el período de control tarifario 2008-2013. El SDEE de Bariloche cubre un área de 350 [km²]. Sirve, aproximadamente, a 40000 usuarios cuya demanda es en su mayor parte comercial y residencial (80%).

Se opera en anillo abierto, teniéndose alimentadores radiales. Es abastecido en 33 [kV] (Subtransmisión - SbT) y tiene tres subestaciones 33/13.2 [kV] (Media Tensión - MT). El sistema de Media Tensión, tiene cerca de 500 Centros de Transformación de 13.2/0.38 [kV] (Baja Tensión - BT). Esta ubicado en la punta del Sistema Interconectado Nacional y depende de una única línea de abastecimiento en 132 [kV]. Ante contingencias, se dispone de generación en reserva fría que cubre sólo el 40% de la demanda de punta. La misma es de unos 40 MW y resulta de carácter fuertemente estacional, como consecuencia del turismo invernal.

Las condiciones climáticas locales son relativamente extremas (nieve, hielo y fuertes vientos) y la geografía corresponde a una zona de montañas. Estos aspectos son importantes al momento de considerar la calidad, tanto del servicio/producto técnico (criterios ENS, FI y TF), como ambiental (criterios IALin y IACT); el paisaje es el principal atractivo para el turismo, que define la industria más importante de la ciudad.

El problema de optimización se divide en 5 Etapas. Las variantes de equipamiento por las que podría evolucionar el sistema, identificadas en el Corto Plazo, surgen de una optimización de Largo Plazo. Se tiene: { **Etapas I: Referencia, Etapa II: 5 variantes; Etapa III: 4 variantes; Etapa IV: 4 variantes; Etapa V: 3 variantes; Etapa VI: 1 variante (final)**}. Por *variante*, en este contexto, *debe entenderse cierta topología de red y la aparamenta eléctrica asociada, cuyo diseño, en cierta etapa (año de corte del período de control tarifario), satisfaga con algún grado de aptitud los criterios propuestos*. Los resultados obtenidos son presentados siguiendo la rutina de cálculo más clara a los fines de mostrar ciertos efectos que el Modelo Posibilístico es capaz de simular.

Esta presentación no puede, por limitaciones de espacio, desarrollar los modelos de las rutinas o problemas de optimización subordinados al Modelo en cuestión. Estos (Flujos de Potencia, Análisis de Confiabilidad, entre otros) son de naturaleza técnica específica de los SDEE, complejos, y no aportan claridad a la simulación.

4.2 Datos y resultados

En la **TABLA 1** se presentan las *preferencias difusas*, bajo la forma de *números triangulares* (prefIzq , prefMP , prefDer), para la **MPA triangular superior**. También se presentan las *preferencias colapsadas* mediante el $Rv(\alpha c)$, *más consistentes*, $\text{prefOpt}(\alpha c)$, para el Segmento de Confianza fijado en $\alpha c = 0.25$, [$\text{plzr}(\alpha c)$, $\text{pDer}(\alpha c)$], resueltas mediante el Programa Lineal (I-15), con $\rho_1 = \rho_2 = 0.5$, y por aplicación de (I-16). En la **TABLA 2**, se presentan los *valores de referencia* para los criterios {ENS, FI, TF, IALin e IACT}, *fijados siguiendo pautas regulatorias*. Para los criterios {CG, PG y Flex}, se indica con PDC *que sus valores de referencia, en cada etapa, dependen de la evolución generada por una Programación Dinámica Clásica*.

En el criterio Flex, *se ha supuesto que el costo correspondiente al escenario de demanda media, es de un 90% del correspondiente al de demanda máxima*. Este valor, 0.9, *denota una propensión al riesgo baja por parte del planificador (sistema rígido) y, en la práctica, debería ser consensuado con la autoridad regulatoria*.

Las **TABLAS 3, 4, 5 y 6** proporcionan los resultados del Modelo Posibilístico, para la simulación efectuada. Las expresiones exponenciales, propuestas como *funciones de pertenencia* para cada variable de *apartamento* solidaria a los diferentes criterios, dada por (47), se afectan de un *factor de escala*, δ , que multiplica el exponente. De modo que (47) se transforma en:

$$\mu_{A_i}(u_i) = e^{-u_i \times \delta \times v p_i^{[E]}}(\alpha c) \quad (67)$$

Para las simulaciones resultó apropiado $\delta = 0.5$. En la **TABLA 3** se presenta la Trayectoria Más Satisfactoria (TMS($\alpha c = 0.25$)) de evolución para el SDEE. La misma está por debajo de un Riesgo Extrínseco fijado en $\Theta_{Ext} = 0.35$. Resultó $\mu_D(T^*) = 0.778$, siendo el Riesgo Intrínseco $[1 - \mu_D(T^*)] = 0.222 < 0.35$. La TMS, resultó (Etapa, estado): **[(I,1); (II,3); (III,2); (IV,3); (V,1); (VI,1)]**.

El Vector (fila) de Prioridades Exponenciales resuelto mediante la aplicación de los tres Programas Lineales acoplados (I-18), (I-19) y (I-20), y la aplicación de (I-21), (I-22) y (I-23), resulta: $VP^{[E]}(\alpha c = 0.25) = [2.158, 1.726, 1.439, 1.295, 0.453, 0.411, 0.288, 0.230]$, cuyos componentes se ordenan conforme los criterios definidos.

En la **TABLA 4**, se presentan los mismos resultados considerando un Segmento de Confianza en las *preferencias difusas*, al nivel $\alpha c = 0.00$. La TMS($\alpha c = 0.00$) cambia a **[(I,1); (II,4); (III,1); (IV,2); (V,1); (VI,1)]**, con $\mu_D(T^*) = 0.7564$ y un Riesgo Intrínseco más alto, $[1 - \mu_D(T^*)] = 0.243$. Este constituye *un primer efecto observable de la propagación de las incertidumbres inherentes a las preferencias entre criterios*. En este caso, resulta: $VP^{[E]}(\alpha c = 0.00) = [2.084, 2.084, 1.191, 1.191, 0.521, 0.397, 0.272, 0.261]$, alterándose la importancia relativa entre criterios, con la consecuente afectación en sus funciones de pertenencia ponderadas exponencialmente.

En el **TABLA 5**, se presentan los valores para cada criterio, según la TMS($\alpha c = 0.25$). La **TABLA 6**, presenta el Espacio de Búsqueda para las *transiciones posibles entre estados*. La *variable de estado*, se indica en cada columna de la 1er fila, anteponiendo una *v* al acrónimo del criterio correspondiente.

Las *transiciones posibles*, se indican como $\{Etapa Inicial (Ei), Estado Inicial (ei), Etapa Final (Ef), Estado Final (ef)\}$. Para cada *transición*, se tiene un valor de la variable asociada a cada criterio, A_i , con el que se arriba al estado final de la etapa final.

Respecto del Cálculo del Índice de Inconsistencia, los *valores de error logarítmico* que arrojaron los Programas Lineales correspondientes a la estimación del Vector de Prioridades $VP^{[E]}(\alpha_C = 0.25)$, grupo de expresiones (I-18) y (I-19), fueron los siguientes: $Sum(L_h) = 8.405$ y $ALerrcpT = 8.896$.

De modo que el Índice de Inconsistencia obtenido para el $VP^{[E]}(\alpha_C = 0.25)$, resultó ser, aplicando la expresión (I-24) con $\beta = 0.02$, $I_{inc} = 0.293$.

Se logra, de tal forma y con estos datos, el siguiente Vector de Aptitud para la $TMS(\alpha_C = 0.25)$, dado por (I-28):

$$V_{Ap}(TMS(\alpha_C)) = \begin{bmatrix} I_{inc} \\ \mu_D[T^*] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.293 \\ 0.222 \end{bmatrix}.$$

Con ello se finaliza la Simulación para el Modelo Posibilístico, en las Etapas I y II: Preferencias y Vector de Prioridades entre criterios, y Planificación del SDEE, respectivamente. Corresponde tratar ahora, con la Etapa III: El Control de Adaptación del SDEE. Se consideró el SDEE en su condición real (*estado presente, m*) al final del período de control, Etapa VI. En la **TABLA 5**, fila 7, referida como VI Presente, se presentan los valores relevados para cada variable, según los criterios de optimización.

Como fue dicho, se considera el mismo nivel de certidumbre, $\alpha_C = 0.25$, conjuntamente con las mismas funciones de pertenencia de las variables de *apartamento solidarias a cada criterio*. Resultan los valores que, introducidos en (32) conducen al $VP^{[E, m]}$. Sus componentes, *no satisfacen el principio de consistencia* dado por (34); por lo que, en la **TABLA 5**, el $VP^{[E, m]}$ es referido, en la fila 9, como $VP[E]preIn$ (*preferencias en m, inconsistentes*). En la columna

Suma, se observa que la sumatoria $\sum_{i=1}^n vp_i^{[E, m]}(\alpha_C) = n$, que exige el *principio*

de consistencia, resulta $7.450 < 8$. Para *ajustar tal inconsistencia*, se corren los Programas Lineales (I-35) y (I-36). Los mismos arrojan, aplicando la expresión (I-39), el *error logarítmico de inconsistencia* $ALerrcpT(m) = 37.658$. En la línea 10 de la **TABLA 5**, indicado como $VP[E]preC$, (*preferencias consistentes*) se presenta el $VP^{[E, m]}$ *ajustado*, cuya *sumatoria de componentes* es $n = 8$. Entonces, desde (29), surge el Índice de Consistencia para el *estado presente m*, $I_{con}(m) = 0.529$.

Luego, desde (40), la Razón de Desadaptación, *primera componente* del Vector de Adaptación Dinámica, resulta $R_D(m) = 0.809$.

Finalmente, en la fila 11 de la **TABLA 5**, se indican los *valores de aptitud ponderada*, $\left[\mu(u_i)_{[m]_{A_i}} \right]^{vp_i^{[E,m]}(\alpha_c)}$ (primer miembro de (30)), según $VP[E]PreC$, para cada criterio i -ésimo. Entonces, desde (42) y (43), se obtiene el Riesgo Intrínseco del estado presente m , $\Theta_D(m) = 1 - 0.796 = 0.204 < \Theta_{Ext} = 0.35$. Así, desde (44), se obtiene la Variación de Aceptación en el estado presente m , *segunda componente* del Vector de Adaptación Dinámica, $\Delta_{\mu_D}(m) = 0$. Dicho Vector resulta, desde (45): $V_{Din}^{Adap}(m) = \begin{bmatrix} 0.809 \\ 0 \end{bmatrix}$.

Esto sugiere que, *si bien existe la posibilidad de que el sistema continúe evolucionando a partir del estado presente, mediante una trayectoria de riesgo menor que el Riesgo Extrínseco impuesto en la planificación, se presentan inconsistencias en las preferencias*. Lo cual implica que debe indagarse sobre cambios entre las importancias relativas consignadas a los criterios de planificación. Comparando el $VP^{[E]}$, referido como $VP[E](\alpha_c)$, de la **TABLA 3** con el $VP^{[E,m]}$, referido como $VP[E]preC$, de la **TABLA 5**, se manifiesta una clara inversión de preferencias, sobrevalorando los aspectos de calidad ambiental en detrimento de la calidad eléctrica.

Compárense, para ello, los ponderadores exponenciales, en uno y otro cuadro, correspondientes a los criterios FI (frecuencia de interrupciones del servicio) y TF (calidad del producto técnico tensión de suministro), con IALin (impacto visual por líneas fuera de típico constructivo establecido) e IACT (impacto visual por centros de transformación fuera de típico constructivo establecido). Si bien existe una componente de azar, producto de las incertidumbres reconocidas por el Modelo, *la diferencia se presenta en una magnitud tal que dicha inversión debería ser atendida por la autoridad regulatoria*. Desde tal evaluación, se juzgará en que grado se desadaptó el sistema, siempre que los cambios en las preferencias no fueran consensuados, previamente, entre el regulador y el regulado.

5. CONCLUSIONES

Adicionalmente a las conclusiones aportadas en la Primer parte de este Modelo Completo, más las comentadas en la marcha de cálculo correspondiente a la simulación realizada, relativas a los efectos observables por aplicación del Modelo presentado, se brindan *dos de carácter metodológico-operativo: 1)* En términos del grado de adaptación del sistema para cierto estado presente, se propone reconstruir el mejor vector representativo de las preferencias, cuyos valores fueron obtenidos en la etapa previa a la planificación.

Desde el mismo, surgen *dos indicadores: el primero capaz de evaluar inconsistencias por cambios en las preferencias entre criterios, y el segundo capaz de medir si la trayectoria del sistema podría evolucionar, tal vez por otros estados, sosteniendo el nivel de riesgo inferior al fijado externamente.*

Nuevamente, el *grado de desadaptación es ponderado a través de un vector, el Vector de Adaptación Dinámica; 2) La evaluación dinámica así planteada, propende a la simetrización de la información entre regulador y regulado, ya que toda la información requerida debe ser de conocimiento común entre ambos actores.*

El desacoplamiento de los costos respecto de los ingresos durante el período de control tarifario, situación en la que se sustentan los esquemas regulatorios por eficiencia, *se vé alterado sólo en el control de las inversiones, a través del seguimiento del plan físico de expansión del SDEE, seguimiento completamente factible de implementar.* El resto de la información requerida en el modelo, *surge de los controles de calidad fijados regulatoriamente.*

REFERENCIAS

- SCHWEICKARDT G., MIRANDA V. (2007): "UN MODELO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL ORIENTADO A LA ADAPTACIÓN ECONÓMICA DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA". Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa - Nro. 28 – pgs. 30, 49.
- SCHWEICKARDT G., MIRANDA V. (2009): "A TWO-STAGE PLANNING AND CONTROL MODEL TOWARD ECONOMICALLY ADAPTED POWER DISTRIBUTION SYSTEMS USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESSES AND FUZZY OPTIMIZATION". International Journal of Electrical Power & Energy Systems, ELSEVIER - Vol. 31 - issue 6 – pgs. 277-284.

FIGURAS Y TABLAS

TABLA 1: Preferencias Difusas entre Criterios

Segmentos de Confianza para $\alpha c = 0.25$ y Solución del Problema Lineal Bi-Objetivo							
Prefij NDT	prefizq	prefMp	prefDer	plzq(ac)	pDer(ac)	Rv(ac)	prefOpt(ac)
pref12	1	2	3	1.25	2.75	2.00	1.25
pref13	1	3	4	1.50	3.75	2.77	1.50
pref14	2	4	6	2.50	5.50	4.00	2.50
pref15	2	5	7	2.75	6.50	4.77	4.77
pref16	3	5	7	3.50	6.50	5.00	6.50
pref17	3	4	5	3.25	4.75	4.00	4.75
pref18	4	5	6	4.25	5.75	5.00	5.75
pref23	5	6	7	5.25	6.75	6.00	5.25
pref24	4	7	8	4.75	7.75	6.53	4.75
pref25	2	5	7	2.75	6.50	4.77	3.81
pref26	3	5	8	3.50	7.25	5.23	5.23
pref27	3	6	9	3.75	8.25	6.00	6.86
pref28	2	6	8	3.00	7.50	5.53	7.50
pref34	1	4	7	1.75	6.25	4.00	1.75
pref35	3	6	9	3.75	8.25	6.00	3.75
pref36	3	5	6	3.50	5.75	4.77	4.33
pref37	4	6	7	4.50	6.75	5.77	5.77
pref38	2	3	4	2.25	3.75	3.00	3.75
pref45	5	6	7	5.25	6.75	6.00	5.25
pref46	3	4	5	3.25	4.75	4.00	3.25
pref47	4	6	8	4.50	7.50	6.00	4.80
pref48	5	6	7	5.25	6.75	6.00	6.00
pref56	4	5	6	4.25	5.75	5.00	4.25
pref57	1	2	3	1.25	2.75	2.00	1.80
pref58	2	3	4	2.25	3.75	3.00	2.25
pref67	3	4	5	3.25	4.75	4.00	3.25
pref68	2	3	4	2.25	3.75	3.00	2.25
pref78	1	2	3	1.25	2.75	2.00	1.25

TABLA 2: Valores de Referencia para las Variables de Apartamiento solidarias a cada Criterio

Etapa	ENS Ref	FI Ref	Min TF Ur	Min TF Ru	TF Ref	CG Ref	PG Ref	IAlin Ref	IAct Ref	FLEX Ref
II	11826.00	0.80	0.0205	0.0175	0.0381	PDC	PDC	0	0	PDC
III	12483.00	0.80	0.0215	0.0146	0.0362	PDC	PDC	0	0	PDC
IV	12921.00	1.10	0.0228	0.0173	0.0401	PDC	PDC	0	0	PDC
V	13578.00	1.50	0.0244	0.0197	0.0441	PDC	PDC	0	0	PDC
VI	14673.00	1.50	0.0261	0.0253	0.0515	PDC	PDC	0	0	PDC
VI Presente	14673.00	1.50	0.0261	0.0253	0.0515	694.57	878.55	0	0	625.11

TABLA 3: Cálculo de la TMS(αc): $\alpha c = 0.25$, $\delta = 0.5$ y $\Theta = 0.35$

VP[E](αc)			vpCGE(αc)	vpENS(αc)	vpFI(αc)	vpTF(αc)	vpPG(αc)	vpIAlin(αc)	vpIAct(αc)	vpFIEX(αc)
Etapa	estado	$\mu D(T^*)$	$\mu(CG)$	$\mu(ENS)$	$\mu(FI)$	$\mu(TF)$	$\mu(PG)$	$\mu(IAlin)$	$\mu(IAct)$	$\mu(Flex)$
I	1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
II	3	0.8205	1.0000	1.0000	0.8205	0.8744	1.0000	0.9354	0.8683	1.0000
III	2	0.8205	0.9560	1.0000	0.8817	0.8698	1.0000	0.9109	0.9915	0.9952
IV	3	0.8205	1.0000	1.0000	1.0000	0.8386	1.0000	0.9291	0.9145	1.0000
V	1	0.7778	0.8908	0.7778	1.0000	0.8521	0.9838	0.8216	0.8795	0.9877
VI	1	0.7778	1.0000	1.0000	0.9716	0.8546	0.9877	0.8946	0.8042	1.0000

TABLA 4: Cálculo de la TMS(α): $\alpha c = 0.00$, $\delta = 0.5$ y $\Theta = 0.35$

VP[E](αc)			vpCGE(αc)	vpENS(αc)	vpFI(αc)	vpTF(αc)	vpPG(αc)	vplALin(αc)	vplACT(αc)	vpFLEX(αc)
			2.084	2.084	1.191	1.191	0.521	0.397	0.272	0.261
Etapa	estado	$\mu D(T^*)$	$\mu(CG)$	$\mu(ENS)$	$\mu(FI)$	$\mu(TF)$	$\mu(PG)$	$\mu(ALin)$	$\mu(IACT)$	$\mu(Flex)$
I	1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
II	4	0.7564	1.0000	0.7564	0.9926	0.9707	1.0000	0.9868	0.9800	1.0000
III	1	0.7564	0.9208	1.0000	0.8553	1.0000	1.0000	0.9277	0.9687	0.9897
IV	2	0.7564	0.9986	0.7580	0.7796	0.9026	0.9998	0.8807	0.8353	0.9998
V	1	0.7564	0.8201	0.7925	1.0000	0.7853	1.0000	0.8737	0.9872	0.9755
VI	1	0.7564	0.9767	1.0000	0.9765	0.8654	0.9846	0.8980	0.8141	0.9971

TABLA 5: Cálculo de la TMS(αc): $\alpha c = 0.25$, $\delta = 0.5$ y $\Theta = 0.35$ y Control del Estado Presente m en la Etapa VI del Espacio de Búsqueda

Etapa	estado	vCG	vENS	vFI	vTF	vPG	vIALin	vIACT	vFLEX	
II	3	186.80	6919.35	1.02	0.046	150.04	0.325	0.981	168.12	
III	2	311.22	10094.92	0.94	0.044	308.73	0.454	0.059	280.10	
IV	3	442.17	8184.89	0.97	0.051	430.18	0.358	0.621	397.95	
V	1	567.78	17531.08	1.31	0.055	611.16	0.956	0.892	511.00	
VI	1	694.57	11404.11	1.56	0.064	900.30	0.542	1.513	625.11	
VI Presente		853.45	16523.44	1.91	0.070	1025.34	0.150	0.450	768.11	
	VP[E]pre	vpCGE	vpENS	vpFI	vpTF	vpPG	vplALin	vplACT	vpFLEX	Suma
	VP[E]preIn	1.925	1.632	0.211	0.875	0.148	1.485	0.968	0.205	7.450
	VP[E]preC	1.999	1.707	0.285	0.949	0.222	1.559	1.000	0.279	8.000
$\mu D(m)$	0.796	0.796	0.909	0.962	0.843	0.982	0.890	0.799	0.969	

TABLA 6: Espacio de Búsqueda: Transición entre las Etapas

				criterio 1	criterio 2	criterio 3	criterio 4	criterio 5	criterio 6	criterio 7	criterio 8
Etapa i	estado i	Etapa f	estado f	vCG	vENS	vFI	vTF	vPG	vIALin	viACT	vFLEX
I	1	II	1	188.01	17050.17	0.73	0.045	185.40	0.719	0.558	169.21
I	1	II	2	193.31	7930.59	1.19	0.048	210.45	0.983	1.072	173.98
I	1	II	3	186.80	6919.35	1.02	0.046	150.04	0.325	0.981	168.12
I	1	II	4	177.72	14994.58	0.81	0.040	178.90	0.067	0.149	159.95
I	1	II	5	189.37	9144.42	0.50	0.039	190.65	0.299	0.542	170.43
II	1	III	1	137.89	9042.98	0.89	0.047	150.00	0.841	0.358	124.10
II	1	III	2	141.46	11656.20	0.98	0.039	178.65	0.426	0.155	127.31
II	1	III	3	149.19	17224.94	1.02	0.039	145.66	0.064	0.287	134.27
II	1	III	4	230.77	10196.59	0.89	0.038	201.54	0.633	0.073	207.69
II	2	III	1	141.37	13443.41	1.46	0.042	186.54	0.517	0.102	127.23
II	2	III	2	217.29	13117.08	0.64	0.040	170.65	0.634	0.210	195.56
II	2	III	3	150.31	9708.09	1.65	0.046	164.30	1.516	1.365	135.28
II	2	III	4	328.77	9083.66	0.66	0.040	180.43	0.467	0.429	295.89
II	3	III	1	172.33	17377.21	1.43	0.041	193.45	1.356	0.918	155.10
II	3	III	2	124.42	10094.92	0.94	0.044	158.69	0.454	0.059	111.98
II	3	III	3	204.09	9761.17	1.49	0.040	193.21	1.182	0.628	183.68
II	3	III	4	225.18	16849.79	1.31	0.037	154.68	0.951	0.859	202.66
II	4	III	1	133.43	10722.77	1.01	0.030	110.35	0.378	0.234	120.09
II	4	III	2	121.05	18284.90	0.57	0.052	175.34	0.563	0.259	108.95
II	4	III	3	186.81	18279.32	1.38	0.045	160.04	0.933	0.420	168.13
II	4	III	4	302.12	11088.98	1.60	0.048	165.98	0.662	0.285	271.91
II	5	III	1	98.95	18324.34	0.90	0.047	190.02	0.876	0.342	89.06
II	5	III	2	158.29	17852.25	0.79	0.042	201.54	0.421	0.642	142.46
II	5	III	3	190.68	14236.06	1.31	0.045	178.54	0.861	0.397	171.61
II	5	III	4	213.78	8451.13	1.62	0.039	164.66	0.788	1.447	192.40
III	1	IV	1	75.97	7059.08	1.24	0.045	180.02	1.213	1.201	68.37
III	1	IV	2	104.08	16356.60	1.56	0.047	125.43	0.640	1.324	93.67
III	1	IV	3	137.75	16652.26	1.32	0.046	150.08	0.550	1.047	123.98
III	1	IV	4	170.10	7119.08	1.04	0.052	135.98	0.350	0.256	153.09
III	2	IV	1	110.66	14618.64	1.60	0.051	115.64	1.406	0.268	99.59
III	2	IV	2	103.46	17963.78	1.57	0.047	105.66	1.199	1.135	93.11
III	2	IV	3	130.95	8184.89	0.97	0.051	121.45	0.358	0.621	117.86
III	2	IV	4	162.53	11248.05	0.80	0.048	140.08	0.370	0.732	146.28
III	3	IV	1	136.32	17822.66	1.07	0.048	109.12	0.522	0.599	122.69
III	3	IV	2	107.65	8612.47	0.87	0.049	135.08	0.849	0.486	96.89
III	3	IV	3	128.15	16485.70	0.93	0.052	127.41	0.548	0.822	115.34
III	3	IV	4	129.30	15456.34	1.48	0.053	140.09	0.272	0.101	116.37
III	4	IV	1	128.53	15233.89	1.33	0.049	112.10	0.966	1.268	115.68
III	4	IV	2	129.27	10873.81	1.45	0.044	101.23	0.360	0.109	116.34
III	4	IV	3	103.13	16075.44	0.67	0.046	120.09	0.514	0.100	92.82
III	4	IV	4	171.22	17967.88	1.11	0.047	123.80	0.767	1.044	154.10
IV	1	V	1	125.69	18489.06	1.39	0.057	165.05	0.116	1.297	113.12
IV	1	V	2	213.77	17949.82	2.14	0.059	170.09	1.680	0.749	192.39
IV	1	V	3	140.57	9343.41	0.87	0.055	163.23	0.456	0.280	126.51
IV	2	V	1	236.58	16607.82	0.89	0.062	155.44	0.680	0.095	212.92
IV	2	V	2	154.60	8797.17	1.62	0.052	151.02	1.219	0.390	139.14
IV	2	V	3	169.42	20180.27	1.93	0.056	155.43	1.409	0.457	152.48
IV	3	V	1	125.61	17531.08	1.31	0.055	180.98	0.956	0.892	113.05
IV	3	V	2	165.38	18050.65	1.94	0.054	185.03	0.525	1.719	148.84
IV	3	V	3	155.81	16699.96	1.43	0.054	170.41	0.593	0.895	140.23
IV	4	V	1	182.86	19675.06	1.25	0.058	165.79	0.598	0.756	164.57
IV	4	V	2	193.92	17445.31	0.94	0.060	159.65	0.184	0.632	174.53
IV	4	V	3	161.59	8552.54	1.50	0.058	180.10	1.283	0.873	145.43
V	1	VI	1	126.79	11404.11	1.56	0.064	289.14	0.542	1.513	114.11
V	2	VI	1	191.56	8429.04	1.70	0.058	245.35	1.599	0.407	172.40
V	3	VI	1	188.30	21474.51	2.21	0.061	268.57	1.614	0.586	169.47