

Sin fronteras para la energía





REVISTA CIER

Nº 62

Diciembre 2013

Presidente de la CIER:

Dra. Sandra Stella Fonseca
Arenas
Colombia

Vicepresidente:

Ing. Jorge Arturo Iporre
Salguero
Bolivia

Ing. Osvaldo Ernesto Arrúa
(Argentina)

Director Ejecutivo:

Ing. Juan José Carrasco
Uruguay

**Redacción y
Administración en
Secretaría Ejecutiva de la
CIER:**

Bv儿 Artigas 1040
Montevideo, Uruguay

Tel: (+598) 27090611*
Fax: (+598) 27083193

Correo Electrónico:
secier@cier.org.uy
ffalcone@cier.org.uy

Web:
www.cier.org.uy

*Queda autorizada la reproducción
total o parcial haciéndose mención
de la fuente.

Diseño y Diagramación:

Carolina Autino
caroautino@gmail.com

Foto de Tapa:

Complejo de Parques Eólicos
"Ing. Emanuele Cambilargiu"
Sierra de los Caracoles
Maldonado - Uruguay

CONTENIDO

SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN pag. 3

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA PRIORIZAÇÃO DE OBRAS NA
DISTRIBUIÇÃO

Marcus Rodrigo Carvalho, Cleverson Luiz da Silva Pinto, Bruno Yukio
Enomoto, Fabiano Arantes, Carlos Cesar Barioni de Oliveira / FUSP,
COPEL – Brasil

GESTIÓN AMBIENTAL pag. 12

RAMPA DESCENSO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MIEL I: UNA
ALTERNATIVA PARA LA REGULACIÓN DE CAUDALES Y NIVELES DEL RÍO
LA MIEL CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Verónica María Duque González – ISAGEN (Colombia)

GESTIÓN SOCIAL pag. 21

PROGRAMA PILOTO DE MANEJO MINERO SOSTENIBLE
John Jairo Herrera, Albeiro Ríos, Américo Darío Quintero; – GENSA
(Colombia)

TRABAJOS CON TENSIÓN pag. 31

REFLECHADO CON TENSIÓN EN LÍNEA DE 500 KV SIN RETENCIONES
Luis Lorenzo Neira, Mariano Brufao, Luis Catalán - COMISIÓN TÉCNICA
MIXTA DE SALTO GRANDE - ARGENTINA-URUGUAY

EXPERIENCIA EN MEJORA DE EQUIPAMIENTO pag. 41

PROCESO DE ESPECIFICACIÓN Y COMPRA DE HIDROELEVADORES
AISLADOS PARA TCT
Mario Ramos, Esteban Gola - EDENOR S.A. - ARGENTINA

SEGURIDAD EN TCT pag. 53

RESTRICIONES A LOS TCT IMPUESTAS POR EL NÚMERO DE AISLADORES
DAÑADOS EN LAS CADENAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
Carlos Alonso, Carlos Curbelo – UTE - URUGUAY

PÉRDIDAS NO TÉCNICAS pag. 69

A ESTRATÉGIA DO CENTRO DE INTELIGÊNCIA NO COMBATE ÀS PERDAS
NÃO-TÉCNICAS E PARA OTIMIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS – A
EXPERIÊNCIA DA LIGHT

José Geraldo Souza Pereira, Rui Figueira Mano, Denis Maciel Maia,
Gustavo Seize – LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. , CHOICE
TECHNOLOGIES S.A. – BRASIL

CALIDAD DE SERVICIO pag. 77

CHAVES TELECOMANDADAS EM REDES DE DISTRIBUÇÃO: CRITÉRIOS DE
ALOCAÇÃO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DE SERVIÇO

Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, Daniel Tenfen, Jorge Coelho, Celso
de Brasil Camargo, André Rodigheri – LABPLAN – UFSC, Marcelo Menezes
Reis – INE – UFSC, Thiago Freire Guth, Erika Ferrari Cunha – ENERGISA –
Brasil



TRABAJO:

Desenvolvimento de Ferramenta para Priorização de Obras na Distribuição

Marcus Rodrigo Carvalho, Cleverson Luiz da Silva Pinto, Bruno Yukio Enomoto, Fabiano Arantes, Carlos Cesar Barioni de Oliveira

FUSP, COPEL
Brasil

marcus@gmail.com – cleverson@copel.com – bruno.enomoto@gmail.com
fabiano.arantes@yahoo.com.br – barioni@pea.usp.br

Cidel 2010

Este artigo apresenta os resultados do projeto de P&D “Desenvolvimento de Ferramenta para Priorização de Obras na Distribuição”, cujo objetivo foi o desenvolvimento de um novo modelo de seleção e priorização de obras de expansão e melhoria no sistema de distribuição (tensões de 13,8 kV e 34,5 kV) da Copel baseado em critérios econômico-financeiros. O modelo de priorização baseou-se na metodologia Payoff de cálculo de relação custo-benefício de obras, em um método de otimização em dois níveis e programação por metas. Foi desenvolvido um sistema computacional de aplicação do modelo, para utilização na empresa integrado aos sistemas corporativos.

O problema de priorização de obras tem, por definição, o objetivo de obter a máxima melhoria no fornecimento de energia, com menor investimento possível através da realização de um conjunto de obras.

Esses objetivos são conflitantes entre si, isto é, é impossível melhorar um sem deterioração do segundo. Portanto desenvolveu-se um método multi-critério, sendo possível dar prioridades para cada indicador técnico. O modelo desenvolvido está associado a uma metodologia em dois níveis envolvendo dois agentes de decisão e de programação por metas, inéditas em aplicações nesta área de engenharia. O primeiro agente busca, restrito a um orçamento, fazer com que o de maior número de conjuntos-regionais atinjam uma meta pré-estabelecida. Enquanto que o segundo agente determina qual a melhor combinação de obras para que cada conjunto/regional atinja sua meta. A cada iteração do nível superior e inferior é utilizado um algoritmo de otimização linear inteiro (PLI) para encontrar a melhor solução. O software gera uma formulação padrão e o algoritmo de enumeração implícita implementado resolve o problema. O método de enumeração baseou-se no algoritmo de Balas.

Possibilidade de criar cenários com diferentes metas e orçamentos, seguindo diretrizes da empresa, e comparação entre eles. Torna-se possível justificar os investimentos de forma eficaz, consolidando a maximização do lucro à realidade regulatória, e trazendo maior segurança aos investidores e consumidores.

O modelo desenvolvido garante a otimização dos recursos aplicados na melhoria dos sistemas, através de um algoritmo eficiente, robusto e com baixo tempo de execução.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda e o subsequente aumento nos fluxos de potência geram sobrecarga dos alimentadores e transformadores, diminuição do nível de tensão e o aumento das perdas na rede elétrica.

Nesse cenário, possíveis ações podem ser tomadas através da execução de obras como a instalação de novos alimentadores, subestações ou transformadores em subestações existentes.

Com as novas regulamentações do setor elétrico brasileiro, em especial o Módulo 2 –Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição do PRODIST - Procedimentos de Distribuição, tornou-se obrigatório o envio para Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel o Plano de Obras do Sistema de Distribuição de Média Tensão através do PDD - Plano de Desenvolvimento da Distribuição. Portanto, na elaboração do plano de investimentos de expansão deve-se considerar os ganhos nos indicadores técnicos, de forma a se atender as metas e valores limites estabelecidos bem como analisar os custos necessários para melhorias adicionais, garantindo assim investimentos “prudentes” e o reconhecimento destes na parcela que vai pertencer à base de remuneração.

Essa mudança obrigou as concessionárias a observarem outros aspectos para a alocação e priorização de seus investimentos, além dos tradicionais. Fatores como recursos financeiros e os índices de continuidade passaram a ser decisivos sobre quando, onde e como se deve intervir no sistema de distribuição.

Para realizar o programa de obras, sob um montante de investimentos específico, foi desenvolvida uma metodologia matemática que permite a comparação entre as obras propostas e elencar as melhores delas para atender ao objetivo proposto, que são melhorias do sistema que garantam um nível mínimo de qualidade de serviço (continuidade e faixa de regulação de tensão), respeitando o limite orçamentário aprovado pela empresa.

O problema de priorização de obras apresenta, por definição, o objetivo de obter a máxima melhoria no fornecimento de energia, com menor investimento possível através da realização de um

conjunto de obras. Esses objetivos são conflitantes entre si, isto é, é impossível melhorar um sem deterioração do segundo. Portanto desenvolveu-se um método multicritério, sendo assim possível dar prioridades para cada indicador técnico. O modelo de priorização desenvolvido está associado a uma metodologia em dois níveis envolvendo dois agentes de decisão e de programação por metas, inéditas em aplicações nesta área de engenharia.

O primeiro agente - superior ou líder – busca, restrito a um orçamento, fazer com que o de maior número de conjuntos-regionais atinjam uma meta pré-estabelecida. Enquanto que o segundo agente - inferior ou seguidor – determina qual a melhor combinação de obras para que cada conjunto/regional atinja sua meta.

A cada iteração do nível superior e inferior é utilizado um algoritmo de otimização linear e inteiro (PLI) para encontrar a melhor solução. O software gera uma formulação padrão, que pode ser visualizada em um arquivo de log, e o algoritmo de enumeração implícita implementado resolve o problema. O método de enumeração baseou-se no algoritmo de Balas.

Dessa forma torna-se possível justificar os investimentos de forma eficaz, consolidando a maximização do lucro à realidade regulatória, e trazendo assim maior segurança aos investidores.

O modelo desenvolvido garante a otimização dos recursos aplicados na melhoria dos sistemas, através de um algoritmo eficiente e robusto, com baixo tempo de execução.

ESPECIFICAÇÃO DO CÁLCULO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DAS OBRAS

A partir da definição de alternativas viáveis de obras foi concebido um modelo baseado no método Payoff [4] de valoração econômica dos benefícios. Método do Payoff é o nome dado ao método de priorização de obras de Distribuição utilizado pela Copel – Companhia Paranaense de Energia. Foi idealizado em 1995 e é utilizado desde este ano, para suprir a necessidade da Engenharia da Distribuição, área de planejamento, para priorizar as obras que compõem o Programa de Obras da Distribuição.

Este método não se aplica para selecionar alternativas de obras, mas serve para priorizar obras previamente escolhidas, que já representam as melhores alternativas para a solução de problemas no Sistema de Distribuição, do ponto de vista técnico e econômico.

Desta forma, a partir do custo das obras e o correspondente benefício econômico auferido (ambos globais ou anualizados), realiza-se o cálculo do Payoff. Tal indicador constitui-se em um poderoso referencial para comparação de obras visando a determinação das melhores alternativas possíveis de seleção, o que pode ser bastante relevante, seja num contexto de restrição orçamentária, ou oportamente, em cenários de abundância de recursos para investimentos em obras de expansão/melhoria.

Como o custo de cada obra é conhecido, calculado através de parâmetros médios, o custo do benefício foi obtido através de um equacionamento específico para cada classe de obras, ou seja, as obras foram caracterizadas pela natureza do serviço e então as de mesma natureza foram agrupadas em módulos.

Portanto, o benefício econômico auferido pelas obras foi equacionado num contexto integrado, agregando-se as valorações de todos os indicadores melhorados. Na avaliação das valorações econômicas, incluiu-se desde o benefício efetivo, mensurável a partir da redução de alguns indicadores (como as perdas técnicas, por exemplo), a outras parcelas estimadas em decorrência da redução das multas regulatórias imputadas à concessionária (por exemplo, pelas transgressões dos critérios de queda de tensão e continuidade).

São avaliados para cada módulo o ganho em:

- Redução do indicador DEC;
- Redução do indicador FEC;
- Diminuição das Perdas;
- Melhoria do Nível de Tensão;
- Redução dos custos de Operação e Manutenção;
- Diminuição da Energia não Distribuída.

Assim, todas as obras são trazidas para o mesmo patamar e podem ser comparadas entre si.

MODELO DE PRIORIZAÇÃO

Metodologia

O modelo de priorização desenvolvido possui dois objetivos: o primeiro é a preocupação em otimizar o benefício global da empresa. O segundo é a preocupação em otimizar o benefício individual de cada conjunto/regional por indicador. Para tratar com estes dois objetivos, foi utilizada a programação multinível, mais especificamente, a programação em dois níveis, conhecida com BLPP – Bilevel Programming Problem. Aplicações desta classe de programação matemática são inéditas nesta área.

Os problemas de otimização em dois níveis se caracterizam pelo fato de que um subconjunto de suas variáveis devem resolver um problema de otimização parametrizado por outras variáveis, chamado problema de segundo nível. Esta estrutura é importante para a modelagem de diversas situações práticas, envolvendo hierarquias de decisão.

Uma das vantagens do uso desta classe de programação matemática é a necessidade de obter uma única função que represente adequadamente os objetivos da alta direção e divisões subordinadas. No caso deste trabalho, o objetivo da alta direção da empresa é representado no nível superior por desejar colocar a maior quantidade de conjuntos dentro da meta, enquanto que o objetivo das divisões subordinadas, representada aqui pelos conjuntos, seria colocar o seu conjunto dentro da meta, não importando-se com os outros.

A cada iteração entre o nível superior e inferior é utilizado um algoritmo de otimização Programação

Linear Inteira, sendo possível escolher dentre três

objetivos: Minimizar o Investimento, Maximizar o Benefício ou Minimizar o Payoff.

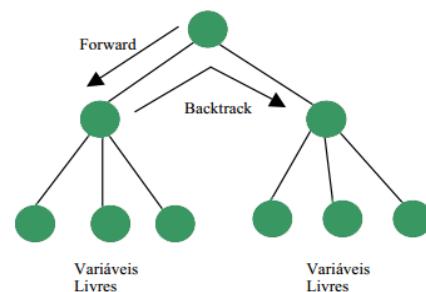


Figura 1 – Árvore de Busca – Search Tree.

Enumeração Implícita (Método de Balas)

A programação inteira binária surge com a necessidade de modelagem dos problemas através de variáveis de decisão, onde cada variável pode assumir o valor 0 ou 1, que aplicada ao problema de priorização corresponde a "realizar" ou "não realizar" a obra.

Para resolver o PLI foi utilizado o método de enumeração implícita Algoritmo Aditivo ou Método de Balas devido sua maior velocidade de processamento e simplicidade de programação.

Este método será apresentado em detalhes no próximo capítulo.

A enumeração implícita consiste em um processo de resolução de problemas de otimização para variáveis de decisão que assumem valores 0 ou 1, conforme é apresentado nas equações:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.a.} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + S_i &= b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &= 0 \text{ ou } 1 \\ S_i &\in \mathbb{R}^+ \end{aligned} \quad (1)$$

A idéia básica é utilizar o método de busca em árvore, no qual devem ser enumeradas todas as 2^n possíveis soluções do problema, sendo que muitas soluções podem ser descartadas automaticamente, sem serem investigadas explicitamente.

Um nó corresponde a uma possível solução binária para x , dois nós interligados possuem a mudança no valor de uma variável, conforme figura 1.

Cada variável pode ter um de três estados: fixado em 1, fixado em 0 ou livre.

Para aplicação deste algoritmo o problema deve obedecer a algumas restrições, sendo:

Todas as restrições devem ser do tipo " "; Todos os coeficientes () da função objetivo devem ser positivos. Caso , deve-se substituir a variável por na função objetivo e nas restrições;

Na execução do algoritmo inicialmente todas as variáveis decisão devem ter no valor 0. Se a solução correspondente não é viável, ou seja, algumas variáveis de folga negativas, algumas variáveis devem ser passadas para o valor 1. A cada passo, uma variável deve ter seu valor alterado de 0 para 1, buscando tornar a solução viável, isto é, fazendo para . Para colocar ou retirar uma variável na solução são efetuados alguns testes. Quando se identifica num nó da árvore de busca que não há solução viável ou que o valor da função objetivo é pior que a melhor solução já encontrada, realiza-se um procedimento de backtrack, ou seja, uma variável a qual foi atribuído o valor i tem seu valor fixado em

1- i. Algoritmo básico pode ser definido:

1. Fixar uma variável livre no valor 1;
2. Resolver o subproblema com as demais variáveis livres;
3. Fixar a mesma variável no valor 0 e repetir o processo para o subproblema com $x_j = 0$.

Os testes para seleção das variáveis são:

Teste 1: para cada variável livre x_t , se $a_{it} \geq 0$ para todo i correspondente a $S_i < 0$, então x_t não pode melhorar a inviabilidade do problema, e deve ser descartada;

Teste 2: para cada variável livre x_t , se então x_t não pode levar a uma solução melhor e deve ser descartada;

Teste 3: para o conjunto N_t de variáveis livres não descartadas nos Testes 1 e 2, se para pelo menos uma das variáveis de folga $S_i < 0$ se verificar: então o conjunto não pode levar a uma solução viável, e todas as suas variáveis devem ser descartadas em conjunto;

Teste 4: se $N_t \neq 0$ a nova variável x_k para ramificação será:

$$v_k = \max_{\mathcal{N}_t} \quad (2)$$

Onde:

$$v_k = 2 \min_{i=1}^m \{0, \} \quad (3)$$

Programação em Dois Níveis e por Metas.

Os problemas de otimização em dois níveis se caracterizam por um subconjunto de variáveis que resolvem um problema de otimização parametrizado por outras variáveis, chamado problema de segundo nível. Esta estrutura é importante para a modelagem de diversas situações práticas, envolvendo hierarquias de decisão.

Uma situação comum nas empresas distribuidoras de energia elétrica é estar dentro dos limites de continuidade global da empresa, mas ter vários conjuntos que extrapolaram a meta.

Como o orçamento geralmente não é o suficiente para executar todas as obras de melhoria previstas, busca-se a melhor aplicação do orçamento para tirar a maior quantidade de conjuntos da transgressão relativa aos limites de continuidade exigidos.

O primeiro processo de otimização (nível inferior) seleciona as melhores obras para cada conjunto. Em seguida, é aplicado o segundo processo de otimização (nível superior), que seleciona os melhores conjuntos.

São formulados problemas de forma que o resultado seja o mínimo de obras que garantam a meta estipulada para o Conjunto/Região. As metas para os indicadores podem ser cadastradas por valores ou em porcentagem de redução (variação).

Sendo assim o problema nível inferior se encarrega de colocar os conjuntos e regionais nas metas. E o problema de nível superior seleciona os melhores conjuntos para receber as obras, restrito ao orçamento disponível.

Para atender as metas, são feitas iterações de forma a selecionar o mínimo de obras que garantem a meta estipulada para o Conjunto/Região. Este procedimento é feito em dois níveis. O problema de Nível 1, pode ser minimizar o Investimento ou Maximizar o Benefício.

Problema de Nível 1 (Escravo)

São feitas iterações para cada conjunto/região,

obtendo como resposta as variáveis de decisão. Essas variáveis são as obras que deverão ou não ser feitas em cada conjunto/região. Abaixo, apresenta-se o equacionamento da função Nível 1:

$$\begin{aligned}
 & \text{FUNCQBJ} \\
 & \text{sujeito a condição} \\
 & \sum_{j=1}^m \text{Melhoria}_{Xj} \leq \text{Meta} \\
 & \text{onde:} \\
 & m = \text{número de obras no conjunto/região} \\
 & Xj = \text{decisão} \\
 & m = \text{número total de conjuntos}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Para garantir uma análise mais ampla é possível que o planejador opte pela função objetivo, ou seja, a função objetivo FUNC-OBJ acima pode assumir:

Problema de Nível 2 (Mestre)

$$\text{MIN} \sum_{j=1}^m \text{InvTotal}(CJ_{ij}) \cdot X_{ij} \tag{5}$$

2. Maximizar o benefício:

$$\text{MAX} \sum_{j=1}^m \text{Beneficio}(CJ_{ij}) \cdot X_{ij} \tag{6}$$

3. Minimizar o PAYOFF:

$$\text{MIN} \sum_{j=1}^m \text{PAYOFF}(CJ_{ij}) \cdot X_{ij} \tag{7}$$

O objetivo do Nível 2 é colocar o maior número de conjuntos-regionais na meta, maximizando o benefício, sendo restrito ao orçamento disponível.

A função do Nível 2 é selecionar os conjuntos/regiones, cujas obras serão executadas. Se o mestre rejeitar algum conjunto/região, nenhuma obra deste conjunto/região será realizada. O Problema de Nível 2, consiste em analisar o benefício (financeiro) de cada região/conjunto, e selecionar todas as obras de cada conjunto de obras que maximizam o benefício e custe menos que ao orçamento disponibilizado para o projeto.

$$\begin{aligned}
 & \text{MAX} \sum_{j=1}^m \text{Beneficio}(CJ_{ij}) \cdot X_{ij} \\
 & \text{sujeito a condição} \\
 & \sum_{j=1}^m \text{Investimento}_{Xj} \leq \text{Orçamento} \\
 & \text{onde:} \\
 & m = \text{número de conjuntos} \\
 & Xj = \text{decisão}
 \end{aligned} \tag{8}$$

TESTES E RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os dados e os resultados obtidos empregando o algoritmo de priorização de obras implementado em um caso teste, um Plano de Obras com 250 obras, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Plano de Obras Caso Teste.

Descrição	Quantidade
Quantidade de Obras	250
Quantidade de Conjuntos	25
Conjuntos fora da meta DEC	25
Conjuntos fora da meta FEC	15
Custo realização de todas as Obras	R\$ 395.708.965,25
Investimento Disponível	R\$ 98.927.241,31

A sequência de prioridade dos indicadores definida para este Caso Teste foi: DEC, FEC, Perdas,

Queda de Tensão, O&M, END. A função objetivo escolhida foi “Minimizar Investimentos” como pode ser observado na Figura 2.

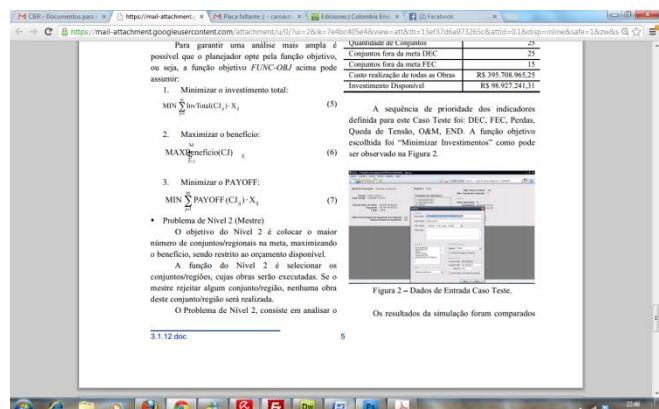


Figura 2 – Dados de Entrada Caso Teste.

Os resultados da simulação foram comparados a uma metodologia de priorização tradicional.

O modelo tradicional trata-se de uma hierarquização das obras pela relação custo benefício (Payoff) aprovando as obras em ordem crescente de Payoff enquanto o somatório dos investimentos for menor que o orçamento disponível. Como podemos observar na Tabela 2 o método desenvolvido fez com que mais conjuntos atingissem a meta para os indicadores DEC e FEC.

Tabela 2 – Resultados Indicadores DEC e FEC.

	Nº Conjuntos que Atingiram a Meta		Nº Obras Aprovadas
	DEC	FEC	
Algoritmo Desenvolvido	23	25	77
Método Tradicional	11	21	104

Os resultados para os demais indicadores podem ser observados na Tabela 3. Devido à opção do planejador de dar maior prioridade aos indicadores DEC e FEC os demais indicadores tiverem uma melhoria inferior ao método tradicional. Podemos destacar este resultado como sendo a grande contribuição do modelo desenvolvido, pois o planejador dispõe de uma ferramenta computacional eficiente capaz de seguir diretrizes de investimentos e realizar estudos específicos para análise do plano de obras.

Tabela 3 – Resultados Demais Indicadores.

	Melhoria (%)			
	Perdas	Tensão	O&M	END
Algoritmo Desenvolvido	31,32	0,32	11,20	1,75
Método Tradicional	40,33	4,37	27,50	2,38

CONCLUSÃO

O presente artigo mostrou um novo equacionamento e propôs uma nova abordagem no processo de priorização de obras dos sistemas de distribuição.

Para tanto, além das análises efetuadas nos estudos de priorização já adotados pela Copel, buscou-se complementar os modelos específicos com os seguintes aspectos:

- Análise de novos módulos de obras;
- Concepção de um novo modelo de priorização, baseado numa nova abordagem do algoritmo de otimização de Balas, programação em dois níveis e programação por metas;
- Possibilidade de criar cenários com diferentes funções objetivos, metas, plano de obras e orçamentos, seguindo diretrizes da empresa, com possibilidade de comparação entre eles.

Certamente, o conhecimento mais embasado destes novos aspectos, além das proposições metodológicas, garantirão resultados mais efetivos do plano de obras anual da Copel, possibilitando uma sensível melhoria da qualidade do serviço prestado aos consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PINTO, Cleverson Luiz da Silva. "Otimização em dois níveis aplicada a priorização de obras do sistema de distribuição, voltada ao cumprimento dos índices de continuidade. Tese de doutorado - Escola Politécnica USP 2008.
- [2] GOUVEA, M. R. Bases Conceituais para o Planejamento Agragado de Investimentos. Tese de doutorado - EPUSP 1994
- [3] KAGAN, N. Planejamento de redes de distribuição secundária: Tese de mestrado EPUSP 1988
- [4] COPEL DISTRIBUIÇÃO, "Priorização de Obras de Distribuição - Método do Payoff" - Curitiba, revisão : 02/2002.
- [5] ELETROBRÁS - COMITÉ DE DISTRIBUIÇÃO. Planejamento de Sistemas de Distribuição. Rio de Janeiro, Campus, 1982. (Coleção Distribuição de Energia Elétrica, v.1)
- [6] GRUPELLI Jr, F. A. ; AZONI, E. G. Priorização de Obras usando Solução de Data Warehouse - XIV SENDI - Foz do Iguaçu, 2000
- [7] HARRISON, Thomas H., Intranet Data Warehouse , Editora Berkeley 1998
- [8] SWEDPOWER, Network Planning ,Stocolmo, 1999.
- [9] PENIN, C. A. S. Análise de índices de qualidade no planejamento agregado de investimentos em ambiente de incertezas. Tese de mestrado EPUSP 1999
- [10] Power Distribution Planning Willis, H Lee NY- 1997

CAPACITACIONES PRESENCIALES 2014

Últimas Técnicas
de Mantenimiento - Mayo

Evaluación Financiera
de Proyectos de Inversión - Agosto

Comunicación y
Atención al Cliente - Setiembre

cier

ASÍ NOS CALIFICAN...

- › El excelente conocimiento de los expositores, muy buen manejo del programa.
- › Interesante el estudio de casos reales.
- › Muy buenos los cursos y la dinámica de los mismos. Fortalece a la empresa.
- › El conocimiento del instructor fue transmitido de forma muy clara y precisa.
- › Destaco la generosidad del docente al transmitir su amplio conocimiento y la actualidad de los casos planteados.
- › Excelente el nivel de docentes y material brindado.

¡Reserva con tiempo tu lugar y accede
a Capacitaciones y especialistas de
alto nivel en el sector!

CAPACITACIONES A DISTANCIA 2014



PROPUESTAS

- » Generación Distribuida
- » RCM - Replanteo Conceptual del Mantenimiento
- » Fundamentos de Auscultación y Seguridad de Presas
- » Smart Grid
- » Licitaciones Públicas para la Expansión de la Capacidad de Generación
- » Economía de la Regulación de la Actividad de Distribución
- » Arc Flash

- » Desafíos para la Gestión del Talento
- » Sistemas de Distribución
- » Eficiencia Energética
- » Gestión por Competencias
- » Economía de la Regulación de la Actividad de Generación
- » Análisis de Datos y Gestión de Relacionamiento con Clientes
- » Medición y evaluación del Recurso Eólico
- » Bases para un Comportamiento Empresarial Responsable y Sostenible

TESTIMONIOS

HOMOLOGACION DE MATERIALES

"Opino que todas las informaciones aportadas por ustedes hasta la fecha, serán provechosas para iniciar en mi empresa los primeros pasos para la implantación de normalizaciones".

ECONOMIA DE LA REGULACION DE LA ACTIVIDAD DE GENERACION

"Felicitaciones al CIER por el Curso, sobre todo en lo referido al material, conceptos y pruebas, ya que son temas mucha actualidad e importantes del sector Eléctrico de nuestros países sobre Regulación y el Mercado Eléctrico".

fvazquez@cier.org.uy [cier_cdi](https://www.facebook.com/cier_cdi)

Rampa descenso en la central hidroeléctrica Miel: una alternativa para la regulación de causales y niveles del Río La Miel con criterios de Sostenibilidad Ambiental

Verónica María Duque González

COMISION DE INTEGRACION ENERGETICA COMITÉ NACIONAL
Colombia - Código: II CISLE – CO – 31 / GA
ISAGEN (Colombia)

vduque@isagen.com.co

**Congreso Internacional Sostenibilidad en la Industria Eléctrica
II CISLIE CIER 2011
Medellín, Colombia 13 de abril de 2011**

RESUMEN

Desde principio del año 2003, cuando inició la operación de la Central Hidroeléctrica Miel I se identificaron algunos impactos no previstos que obligaron a desarrollar y evaluar medidas de mitigación y control, entre los que está el impacto de *Atrapamiento Lateral de peces en las orillas y charcas del río La Miel, aguas abajo de la presa Patángora*.

Este fenómeno consistió en el *atrapamiento de peces* en las orillas asociado a la variación rápida de caudales y niveles del río.

No obstante, debido a las múltiples variables fisicoquímicas y biológicas que intervienen en el atrapamiento y que son activadas por el cambio rápido y de gran magnitud de los niveles y caudales del río, durante el 2009 se presentaron diferentes eventos de mortalidad en los peces que requirió investigar por parte de la empresa otras estrategias de mitigación y atención del impacto.

INTRODUCCIÓN

ISAGEN es una empresa colombiana de servicios públicos, mixta, constituida en forma de sociedad anónima, de carácter comercial, que desarrolla capacidad de generación, produce energía eléctrica y comercializa soluciones energéticas.

Posee cinco centrales de generación, cuatro hidráulicas y una térmica. La Central Hidroeléctrica (CH) Miel I es una planta hidráulica que opera por inflexibilidad, con una capacidad instalada de 396 MW y tres unidades de generación. Se encuentra ubicada en el oriente del departamento de Caldas, entre los municipios de Norcasia, Samaná y Victoria, sobre las cuencas de los ríos Moro, Santa Bárbara y La Miel.

La principal cuenca sobre la que se ubica la CH es el río la Miel. Dicho río es tributario de la margen izquierda en la cuenca media del Río Magdalena, con 2348 ha. Que representa cerca del 0,86 % del área de la cuenca principal. Como parte de este sistema abierto, comparte las especies de peces que se encuentran en la cuenca magdalénica y es ruta para los peces que migran por los cauces durante las épocas de estiaje.

A la fecha se conocen cerca 1435 especies de peces en Colombia, de éstas, 129 especies se reportan en la zona media del Magdalena y el 28,7% se ha registrado en el río La Miel, pero ninguna de ellas condistribución restricta a este sistema.

En el año 1997, se desvió del río La Miel para permitir el inicio de la construcción de la presa Patágora y CH Miel I, momento en el cual se fragmentó el continuo del río y le imprimió una nueva dinámica a este sistema ribereño.

Se sabe en general que la construcción y posteriormente, la operación de una empresa cualquiera que ésta sea, altera inevitablemente la dinámica biológica y particularmente de las comunidades de peces del río sobre la cual se establece. En la CH Miel I, la afectación de mayor magnitud que se presentó aguas debajo de la presa que impactó las poblaciones de peces fue la alteración del régimen de caudales y modificación del ciclo hidrológico.

En el primer semestre del 2003 cuando se inició la operación, se presentó el fenómeno de Atrapamiento de peces a orillas del río aguas debajo de la presa Patágora en el tramo comprendido entre el sector de La Palmera y playa San Antonio. Con los cambios diarios de nivel y caudal del río ha generado limitación de los peces para responder a los cambios de generación y quedan varados en las orillas y pozas del río la Miel durante los períodos de bajo nivel y generación.

La ictiofauna de sistemas fluviales constituye un recurso natural renovable de gran importancia, tanto ecosistémica como social, por lo que representa un recurso de alto valor ambiental. En cuanto a su valor ecosistémico, los peces representan el eslabón trófico superior de las cadenas alimentarias de la mayoría de los sistemas fluviales. En ese contexto, las poblaciones sícticas están sujetas a las variaciones que registran los niveles tróficos inferiores (principalmente zoobentos y fitobentos) y, por otra parte también son determinantes en regular las poblaciones de dichos niveles (Habit et al, 2002)

Considerando todas las afirmaciones anteriores e ISAGEN S.A. consciente de su compromiso con el manejo de los recursos biológicos en las áreas donde interviene con sus proyectos, desde antes del desvío del río La Miel, dio comienzo a una serie de monitoreos hidrobiológicos para conocer las características de la biota presente en este ambiente, prever posibles alteraciones y desarrollar acciones de mitigación o compensación según fuera el caso. A pesar de esto, han surgido eventos no previstos de atrapamiento de peces con algunas implicaciones de orden social y biológico.

Durante el año 2008, el fenómeno se hizo más intenso, razón por la cual ISAGEN a través de su Gerencia de Producción, ha promovido y desarrollado una serie de acciones conjuntas entre la empresa y la comunidad asentada en las riberas del Río La Miel, con las cuales se busca lograr la comprensión física y biológica del fenómeno y desarrollar alternativas de solución.

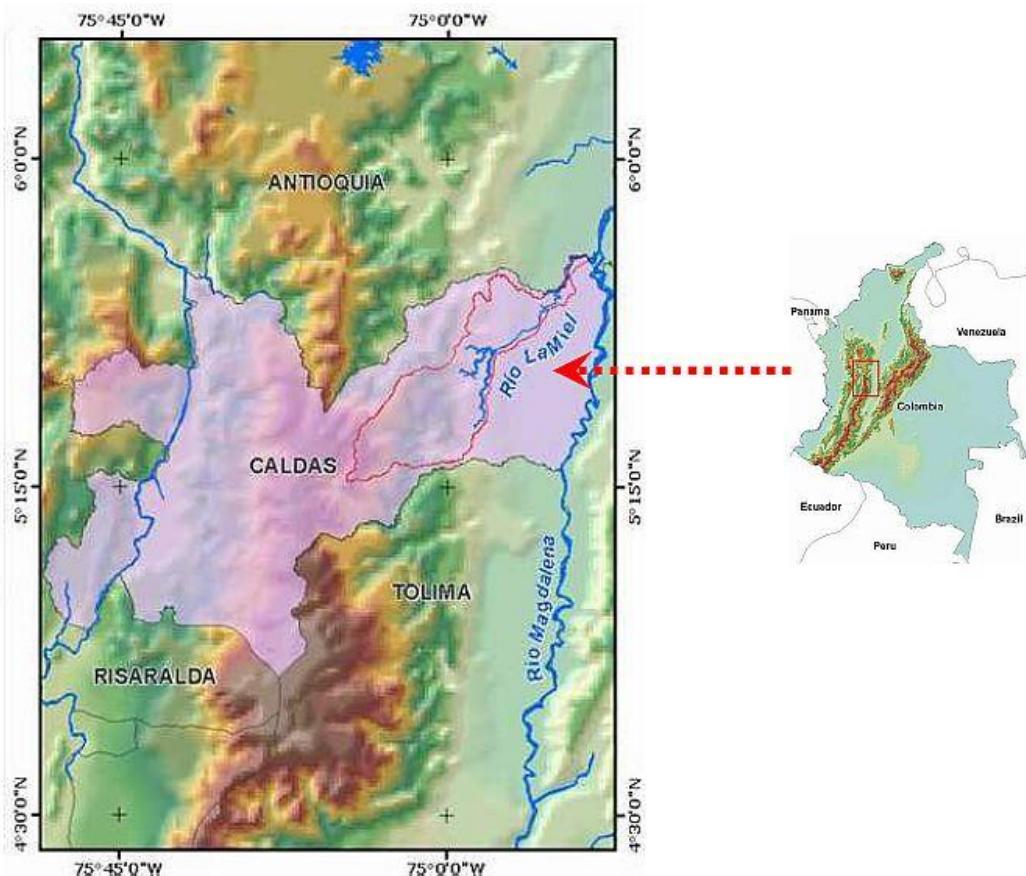
De este modo, se ha conseguido identificar el conjunto básico de relaciones causales que explican la dinámica del atrapamiento de peces en la zona baja del Río La Miel, y de esta manera se ha conseguido avanzar en la definición de un esquema operativo de regulación de caudales turbinados con criterios de sostenibilidad ambiental denominado "Rampa Operativa de Descenso de la Generación". Conscientes de que el trabajo continúa, compartimos el nivel de avance y los resultados logrados hasta la fecha con la implementación de la Rampa de descenso de generación.

OBJETIVO

Implementar una medida alternativa de mitigación al impacto de atrapamiento de peces en riberas y pozas a orillas del río la Miel, producidos por los cambios rápidos de niveles y caudales, resultado de la generación de energía eléctrica.

MÉTODOS

Área de Estudio. La Central Hidroeléctrica (CH) Miel I, aprovecha las aguas principalmente del Río La Miel. Se encuentra localizada en el oriente del Departamento de Caldas, en el municipio de Norcasia, a 45 km de la población de La Dorada (Figura 1).



La construcción de la Central Hidroeléctrica Miel la inició en diciembre de 1997, el llenado del embalse el 22 de abril del 2002 y la operación comercial el 1º de diciembre del mismo año.

La Central consta de una presa de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), con rebosadero incorporado. Las obras de generación constan de una conducción subterránea, una casa de máquinas conformada por tres cavernas (generación, transformación y oscilación) y un túnel de fuga que restituye las aguas al río.

El denominado sector Aguas abajo (figura 2), comprende una longitud cercana a los 45 Km entre la presa Patángoras y la desembocadura del río La Miel en el río Magdalena.

En este sector los dos afluentes principales de La Miel son el río Manso y el río Samaná Sur.

El atrapamiento de peces debido a las fluctuaciones del caudal de generación de la CH Miel I, ocurre en varios tramos del sector, entre los sitios conocidos como La Palmera y San Antonio, después de la confluencia del río Manso.



Figura 2. Embalse Amaní y La ZonaBaja del Río La Miel

El tramo comprendido entre la Palmera y San Antonio presenta la mayor magnitud y criticidad del impacto de atrapamiento de peces, con un total de 25 puntos críticos

Estos cambios de generación son y se reflejan en alteraciones de niveles y velocidades del río la Miel que en variaciones rápidas impiden que los peces reaccionen y salgan de las orillas al cauce principal.

En general los sitios corresponden a áreas de playas, pozas, terrazas aluviales y barras, donde la presencia de vegetación ayuda al empozamiento de las aguas y limitar la respuesta rápida de los peces para llegar al cauce.

Además de la vegetación, la topografía compleja de algunos de los puntos incrementa el grado de atrapamiento porque dificulta la salida de estos organismos. **Metodología.** Para afrontar la problemática del atrapamiento de peces, ISAGEN ha realizado una serie de actividades y consultorías que han permitido soluciones o alternativas que atiendan integral y sosteniblemente la problemática. Desde que se presentó el impacto en el 2003 y como primera medida

programa para la protección de peces como parte del Plan de Manejo Ambiental de la CH y consiste en una serie de medidas coordinadas entre la Central y la comunidad de la Habana que implica actividades de espantamiento, rescate y liberación de peces de las orillas y pozas del río la Miel al cauce principal, realizadas por un grupo de 40 personas que están disponibles permanentemente y actúan en cada cambio de disminución de niveles y caudales.

Durante el 2008 se inició la evaluación de una alternativa de mitigación del impacto que buscará disminuir las tasas de mortalidad de los peces que venían presentando a causa del rápido descenso del nivel del río que impedían la acción eficiente de los rescatistas.

En ese sentido, alternativa aumentar el tiempo en el descenso del nivel que se vería reflejado en la velocidad del agua y aumento capacidad de los peces para reaccionar a la corriente y salir al cauce. realizó una jornada de medición de niveles en los 25 sitios que permitió estimar las velocidades de descenso en cada uno de los sitios de acuerdo a la morfología del cauce (Figura 3)

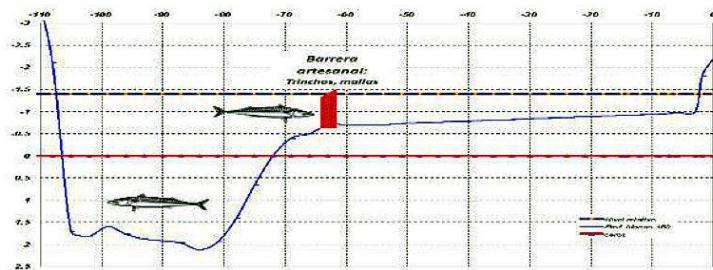


Figura 3. Corte transversal del cauce del río en uno de los sitios de atrapamiento de peces

Durante la jornada de trabajo se pudo comparar los efectos sobre el nivel del Río la Miel de dos eventos de operación de igual magnitud pero de diferente duración, se pudo establecer una conclusión relevante:

"La disminución gradual de la generación de energía produce positivo en el impacto de atrapamiento al minimizar el atrapamiento de peces y optimizar las labores de rescate"

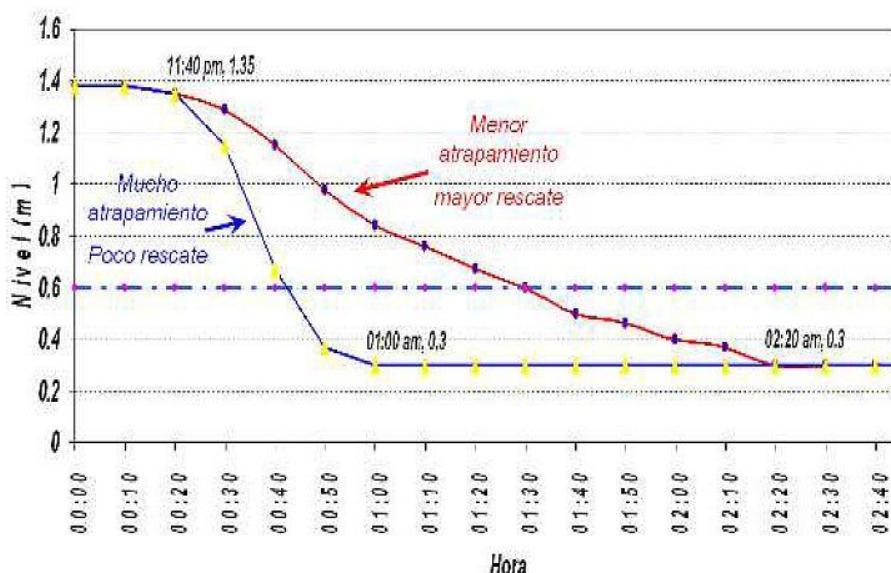


Figura 4. Variación de nivel en la Estación La Habana. Abril 16 y 17 de 2009

Con la experimentación anterior y realizando la analogía con la rampa de descenso de las centrales térmicas, se propuso la implementación de disminución para la CH Miel I.

Se inició la revisión de la normatividad vigente para centrales térmicas. En febrero de 2003, La CREG expidió la Resolución 009 de por la cual se regulan algunos parámetros técnicos aplicables a los recursos de generación y su declaración en el Mercado de Energía Mayorista y define en el artículo 1o. las rampas de aumento y disminución UR y DR de un recurso de generación. Adicionalmente, el Acuerdo CNO-270 definió la metodología y el procedimiento para la determinación de los valores numéricos del modelo lineal de las rampas de aumento y disminución de los generadores térmicos. Este Acuerdo establece tres modelos. Los Modelos 1 y 2 utilizan un valor de 1 para los parámetros a , b , c

y d del modelo y en el modelo 3, valores diferentes a 1. El modelo 2 puede ser utilizado para declarar la velocidad de toma de carga y descarga de un período a otro; es decir, la máxima variación en MWh que puede presentar el recurso para pasar de un programa de $P(t-1)$ a $P(t)$.

Los criterios principales con los cuales se planteó el estudio y diseño de la "Rampa Optima" fueron: Minimizar el atrapamiento e incrementar el tiempo de respuesta facilitando las tareas de rescate, a corto y mediano plazo, reducir el número de sitios de atrapamiento y a largo plazo, disminuir las tasas de mortalidad de peces y conseguir que estos individuos logren responder solos a este impacto para tener poblaciones sostenibles de peces en el río la Miel.

El análisis de la Rampa de Operación, se basó en observaciones en el campo de las actividades de rescate de peces, de la información disponible y el conocimiento que se ha ido construyendo hasta la fecha en relación a la biología de peces y a la hidrología e hidráulica del Río La Miel

Con premisas como: la cantidad de generación define caudales turbinados que son iguales a los caudales que se reciben en cada uno de los 25 sitios, por los caudales generados se determinan los niveles que de acuerdo a la geomorfología de los sitios de atrapamiento, permiten calcular los tiempos de disminución de los niveles. Lo anterior, corresponde al modelo conceptual (Figura 5) que finalmente definió los niveles críticos de atrapamiento en cada uno de los sitios.

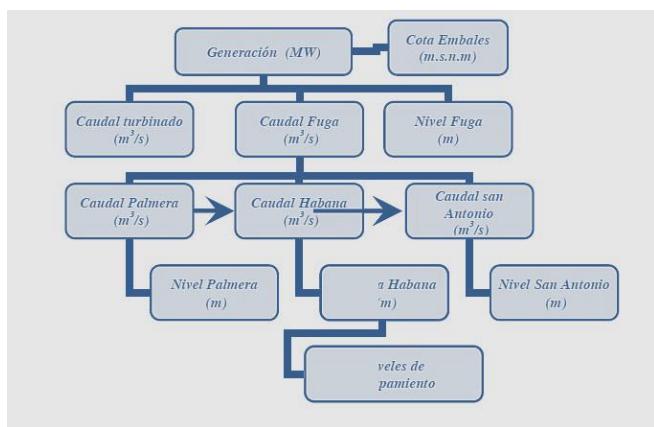
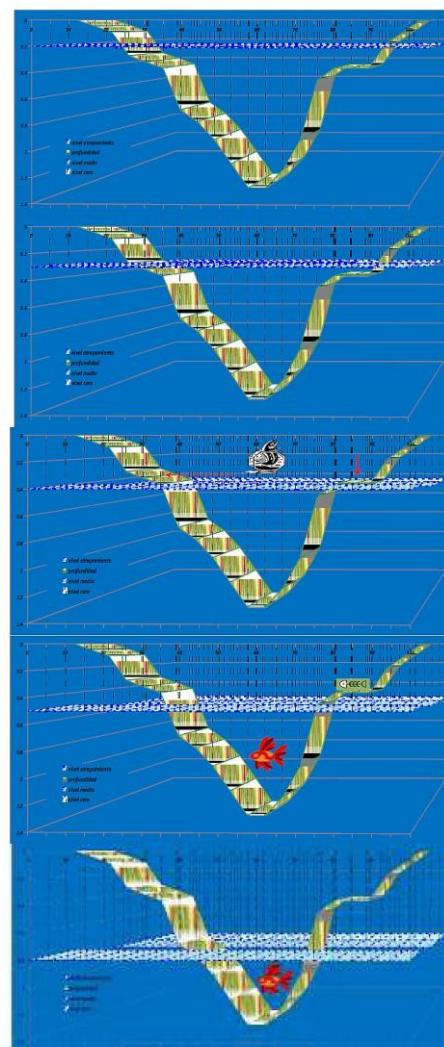


Figura 5. Modelo conceptual para la definición de los niveles críticos de atrapamiento.

cambios en la disponibilidad de hábitats, otro elemento importante de considerar al momento de establecer las acciones de mitigación de impacto del atrapamiento de peces en el río La Miel.

En la Figura 6, se ilustra una sección transversal típica a lo largo del río La Miel en donde se identifican un número variable de escalones dentro de los cuales los peces cuentan microhabitats caracterizados por la baja velocidad de la corriente en el cual desarrollan actividades vitales de ritmo pausado, viéndose sometidos a un estrés súbito sin tiempo de respuesta cuando se produce un descenso rápido en el nivel que deja sin agua un peldaño de la escala, y se hace necesario activar las actividades de rescate; en cada sección se identifican por lo tanto, asociados a esos escalones, las denominadas zonas de atrapamiento de peces. Si el descenso continúa pueden aparecer nuevas zonas de atrapamiento hasta que se llega a un nivel que define la "zona de no atrapamiento" en el que no se configuran nuevos sitios.



RESULTADOS:

Se observaron variados sitios que son fundamentales para la sobrevivencia de las poblaciones de peces en el Río La Miel, como son los caños y pozas que son ocupadas permanentemente por especies residentes como (*Andinoacara pulcher*) lugares como refugio, sitios de reproducción y levante de juveniles existen otros ambientes que corresponden a llanuras de inundación, presenta gran cantidad de vegetación herbácea y arbórea, importantes para la alimentación de especies detritívoras, como el Bocachico, por su alta presencia de materia orgánica.

Lo anterior reitera la afirmación de que construcción de presa Patángora de la CH Miel I, modificó las variaciones naturales del nivel hidrométrico del río así como las la cantidad y distribución temporal del agua en determinada sección o en el curso del río, que a su vez alteró la capacidad del mismo para transportar sedimentos y nutrientes, generando

Para definir la rampa óptima esquema operativo en la disminución de generación que minimiza el atrapamiento de peces, se determinó del 18 al 22 de mayo una campaña hidrométrica en la zona baja del Río La Miel que permitió evaluar la variación de niveles de agua en los sitios de atrapamiento de peces, los tiempos de viaje del agua a lo largo del hasta los sitios de atrapamiento, los momentos de aparición de playas, barras, terrazas, islas, moyas, pozas, canales secos y demás geoformas fluviales de interés.

Se realizaron una serie de corridas del modelo para identificar posibles errores numéricos y efectuar el escalaje de las variables; posteriormente, se procedió con la fase de calibración del modelo para los resultados experimentales disponibles. Se reprodujeron las condiciones de nivel del Río para los 25 sitios de atrapamiento alcanzando un nivel de calibración satisfactorio superior al 90%.

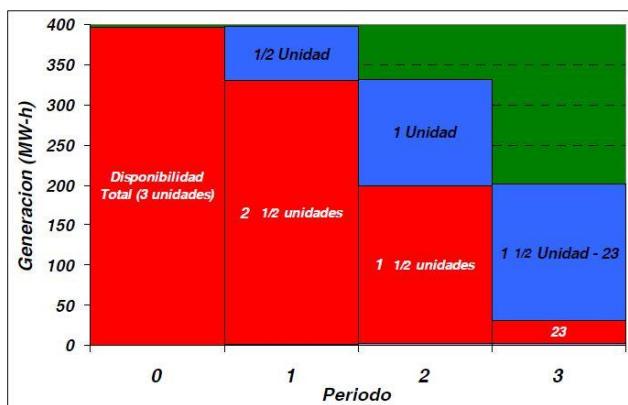
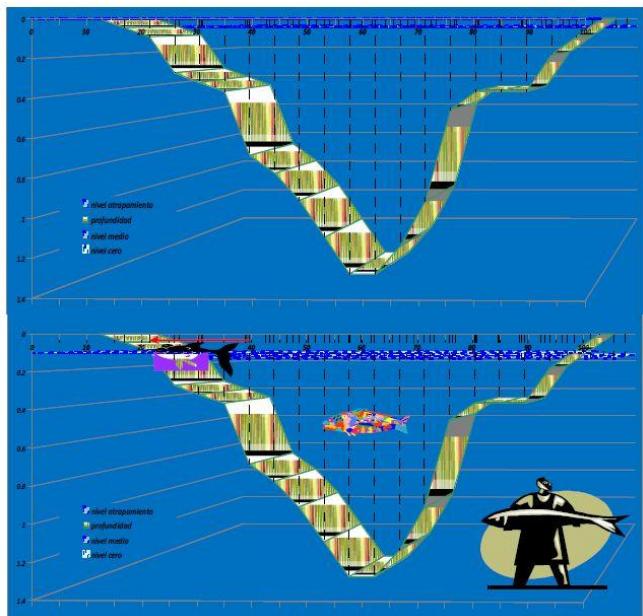


Figura 7. Rampa de descenso de generación con criterios de sostenibilidad ambiental

Una vez aprobado y publicado el acuerdo No.467 del 4 de diciembre de 2009, del CON, se implementó la Rampa para la Central Miel I.

Durante la operación del 2010 con la aplicación de la rampa de descenso, las actividades de rescate y liberación de peces atrapados fueron más eficaces, evidenciado en la baja mortalidad y la ausencia de individuos de especies y tamaño de peces comerciales.

CONCLUSIONES:

De acuerdo a la información disponible y las consideraciones tenidas en cuenta para el análisis que aquí se presenta, puede concluirse que la rampa establecida logra los objetivos propuestos y tiene un efecto positivo en el atrapamiento de peces.

Los principales efectos consisten fundamentalmente en: Con la disminución lenta de los niveles del río, se produce una disminución del número de peces y especies atrapados en cada uno de los sitios, principalmente debido a la disponibilidad de tiempo para realizar las labores de espantamiento permitiendo que la mayoría de los peces regresen al cauce principal.

La condición particular en que fue estudiado el impacto de una rampa de generación sobre el grado de atrapamiento de peces permitió determinar que los rescatistas pueden realizar una labor más eficiente para espantar los peces y optimizar las labores de rescate en aquellos sitios donde el fenómeno se produce de tal manera que se contribuye a minimizar el atrapamiento.

Finalmente, es importante precisar que ante la complejidad del problema y los niveles de variabilidad asociados a la dinámica del Río La Miel y la de las poblaciones de peces; es necesario continuar evaluando en campo, los resultados reales de la implementación de la rampa para multiplicidad de escenarios con el fin de validar el modelo planteado o de realizar los ajustes que sean necesarios para lograr el objetivo deseado que mitigar el impacto de atrapamiento de peces.

Lecciones aprendidas:

Cuando se presentan impactos asociados a los organismos vivos, éstos evolucionan tratando de adaptarse a las nuevas condiciones, por lo cual, es necesario realizar continuamente evaluaciones de estado de los organismos y principalmente de las alternativas planteadas con el objetivo de conseguir la sostenibilidad del sistema.



INTRODUCCIÓN A LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Capacitación a Distancia

3 al 30 de Marzo 2014

ALCANCE

MÓDULO 1 - Caracterización de la Generación Distribuida

MÓDULO 2 - Integración a la red de la Generación Distribuida

MÓDULO 3 - Microgeneración, Puesta en Servicio y Aspectos Regulatorios de la Generación Distribuida

DIRIGIDO A:

Este curso está dirigido a todas aquellas personas: directivos, profesionales y técnicos de las empresas eléctricas, sean o no miembros de CIER, de diferentes áreas del conocimiento y que tengan interés en profundizar su conocimiento sobre el impacto y los desafíos que suponen para una empresa distribuidora de energía eléctrica la conexión de generación en los niveles de tensión de media y baja tensión, así como en particular a las que desarrollan actividades relacionadas a la fijación de Políticas de Gestión de la Generación Distribuida, a los Responsables de los Procesos asociados a la definición, análisis y evaluación técnica de los Proyectos de Conexión de Generación a las Redes de Distribución y a los Responsables de la Explotación de Redes de Distribución con Generación Distribuida.

INVERSIÓN:

U\$S 370 para miembros CIER

U\$S 470 para No miembros CIER

Nota: impuestos, retenciones de impuestos, tasa o cualquier gravamen nacional serán a cargo del cliente.

Por mayor información:
fazquez@cier.org.uy

Programa Piloto de Manejo Minero Sostenible

John Jairo Herrera, Albeiro Ríos, Américo Darío Quintero

GENSA (Colombia)

ambiental@gensa.com.co

RESUMEN

El 12,2% del total de la superficie del municipio de Paipa está bajo uso minero, siendo la minería de carbón la más activa, realizada esta mediante explotación artesanal, con bajos niveles de tecnificación y altos niveles de informalidad -que en conjunto han generado un cuantioso pasivo ambiental-. Desde la incursión de GENSA S.A. ESP en el municipio con la operación de la Central Térmica de Paipa TERMOPAIPA, los mineros de la región se han convertido en sus principales proveedores de carbón. Por esta razón, y respondiendo a su programa de Responsabilidad Social Empresarial, GENSA ha desarrollado un programa piloto de manejo ambiental y socialmente responsable de la extracción de carbón dirigido al Municipio de Paipa como sitio de asiento de sus actividades, cuya finalidad es generar un impacto positivo en la región e impulsar un desarrollo armónico entre el sector productivo y la comunidad.

Este proyecto se basa fundamentalmente en tres pilares: el primero es el seguimiento a la aplicación de la normatividad ambiental y minera por parte de nuestros proveedores, pues el proceso inicia con la elaboración por parte de ellos de un Estudio de Impacto Ambiental y/o un Plan de Manejo Ambiental que conllevaron al otorgamiento de su Licencia Ambiental y su Título Minero, verificando de esta manera que el mineral que consume GENSA para la generación de energía eléctrica cumpla con todos los requisitos de ley y que no es el producto de explotaciones ilegales que conllevan al desmedro del recurso minero de la Nación y a la generación de condiciones laborales poco dignas e inseguras.

Concatenado con esta actividad de control, el segundo pilar es el Programa de Acompañamiento Técnico Continuo que GENSA ha puesto a disposición de sus proveedores a través de la Interventoría Externa a los Contratos de Carbón, efectuado por profesionales de distintas disciplinas afines con la práctica minera integral: Geólogos, Ingenieros de Minas, Ingenieros Ambientales y Sociólogos, con lo cual se busca la implementación de una técnica minera adecuada que a través de buenas prácticas garantice viabilidad técnica, ambiental y económica, y a su vez sea socialmente aceptable y minimice las presiones negativas sobre los componentes ecosistémicos. Este programa busca adicionalmente vigilar el cumplimiento de las normas atinentes a la seguridad social integral de los trabajadores de las minas, incluyendo políticas de no explotación laboral para niños y mujeres, lo cual se logra con visitas continuas de personal de la empresa a los sitios extractivos. Y tercero, la elaboración de un Diagnóstico Minero Ambiental del Municipio de Paipa, con el objeto de describir el estado del arte en minería, definir los impactos ambientales acumulados y poder establecer los lineamientos para iniciar un proceso de mejoramiento integral de las zonas involucradas en la actividad extractiva. Como producto inmediato del Diagnóstico, se inició con un sub-programa de señalización minera, un sub-programa de capacitación minera y educación ambiental, con los que se busca generar pertenencia y sensibilización hacia el respeto al medio ambiente. Finalmente, el programa de Evaluación de la Gestión Ambiental, evaluará la efectividad del programa a largo plazo.

INTRODUCCIÓN

Sin lugar a dudas, como generadores de energía eléctrica a base de carbón, los impactos que nuestra actividad puede causar sobre los componentes medio ambientales son importantes, no sólo como efectos directos de la operación normal de una planta a carbón, sino también por la sinergia con actividades necesariamente complementarias a su objeto social igualmente impactantes, como son la minería y el transporte del carbón, si bien estas no sean ejecutadas por la empresa de forma directa.

Dentro del crecimiento que en los últimos 30 años ha tenido la explotación carbonífera del país, el establecimiento de la industria del acero (1.948), del cemento y por supuesto de las unidades de generación carbo-eléctrica (1.961), contribuyeron en su momento y siguen sobresaliendo como pilares del desarrollo de esta minería en el Departamento de Boyacá, productor natural de nuestro combustible.

Esta demanda continua del recurso ha hecho atractivo el negocio minero; hoy se cuenta en el departamento con alrededor de 500 títulos en firme para carbones térmicos y metalúrgicos (473 títulos. Ingeominas, 2008/1). GENSA S.A. ESP se ha abastecido de mineral de unos 180 de ellos, sólo en los últimos dos años, por lo que se puede asegurar que Termopipa en toda su historia como generadora de energía eléctrica, ha tenido relaciones comerciales con la totalidad de los títulos de carbones térmicos.

Las visitas a los sitios productivos efectuadas en el proceso de verificación de ofertas de suministro y seguimientos que GENSA S.A. ESP realiza a sus potenciales proveedores y contratistas respectivamente a través de su Interventoría Externa, ha permitido adquirir un conocimiento amplio del diario quehacer de la minería boyacense y percibir el estado del arte de la misma al igual que su dinámica comercial.

La primera observación que salta a la vista es que al igual que como sucede en explotaciones de carbón y de otro tipo de valores en el resto del país (metales preciosos, por ejemplo), la minería en Colombia es básicamente de pequeña escala y artesanal. Se confirma que nuestro país es de vocación agrícola y no minera, como si lo son Chile y Brasil, por citar dos ejemplos suramericanos.

En materia ambiental, se ha logrado concluir que las normas establecidas con la implantación de la Ley 99 de 1993 no han sido adecuadamente interiorizadas por el minero y se perciben aún como una obligación y no como una dupla obligación/deber. La entrega de los Estudios de Impacto Ambiental y/o los Planes de Manejo Ambiental son entendidos como la culminación de un proceso de contratación minera y no como parte de la explotación propiamente dicha, por lo que la ejecución de la mayoría de obras y medidas de manejo ambiental por parte del concesionario minero están sujetas a requerimientos previos de la Autoridad, bajo apremio de multa o caducidad; de ahí la necesidad de un programa de educación ambiental.

La problemática técnica y ambiental cuenta con otro componente aparte del educativo y este es, el económico. A través de la interacción directa que se ha logrado con los productores se ha podido establecer que la práctica de la intermediación en la compra de carbón (comercialización), tiene una influencia muy negativa pues en muchos casos, se ha podido constatar métodos engañosos y en otros, fraudulentos, para lograr apropiarse del uso de los títulos mineros del productor. Estos comercializadores pagan precios muy inferiores a los establecidos para compras directas y en algunas instancias incumplen con el pago, vulnerando la estabilidad económica del productor. La Minería es una empresa de importantes inversiones en lo técnico y ambiental. GENSA S.A. ESP con la creación de su Interventoría Externa, ha logrado detectar y neutralizar comercializadores no idóneos, abriendo mayor espacio para el productor primario, actividad que se destaca como un fin dentro de nuestro programa de RSE.

Por estar el municipio de Paipa ubicado en el sector proximal de la zona de influencia directa de nuestra actividad, el *Programa Piloto de Manejo Minero Sostenible* incorpora, finalmente, el proyecto de elaboración del Diagnóstico Minero Ambiental del Municipio de Paipa, en adelante DMAP, como tercer pilar del programa. En este Diagnóstico se identifican las principales debilidades que en materia minera y ambiental tiene el municipio y se trazan los cursos de acción tendientes a minimizarlas por etapas, con la filosofía del ***hacer sobre la marcha***, de tal suerte que el DMAP no quede como un documento impreso más.

PRIMER PILAR SOCIALMENTE RESPONSABLE.

AJUSTE A LA NORMATIVIDAD MINERA Y AMBIENTAL DE LOS PRODUCTORES. CERTIFICACIÓN DE ORIGEN DEL MINERAL QUE SE CONSUME EN TERMOPAIPA.

Para ajustarse a la normatividad legal como consumidor de un mineral, GENSA S.A. ESP debe exigir a sus potenciales proveedores el respaldo minero necesario del carbón a suministrar, representado en los Registro Mineros y Licencias Ambientales, verificando que éstos estén vigentes. Este mero procedimiento es suficiente para cumplir legalmente, pero es pasivo socialmente. Por tal motivo, GENSA S.A. ESP, desde el 2008, estableció un mecanismo sin precedentes en la Región, con el cual verifica directamente en las dependencias de las Autoridades Minera y Ambiental el real estado legal del título y directamente en las minas, la real capacidad de producción del oferente.

Con esta estrategia, se han conseguido los siguientes resultados con beneficios para nuestros grupos de interés:

Proveedores.

Se garantiza la justa asignación según su capacidad de producción, optimizando los cupos para ser otorgados a otros productores, permitiendo a la vez una mejor distribución del ingreso; se neutraliza la influencia negativa de comercializadores inescrupulosos, permitiendo ingresos de mejor calidad para el verdadero productor; el mejor indicador de impacto es el aumento en la contratación con productores primarios con incrementos del 168% entre 2008 y 2009, y del 119% entre el 2009 y 2010. Igualmente se registra una disminución importante en la contratación con comercializadores (ídóneos),



Figura 1. Incidencia del programa RSE de Manejo Minero Sostenible, sobre la contratación.

Empresa.

Se minimiza el riesgo por incumplimientos o pérdida de anticipos como recursos estatales.

Comunidad.

Se controla de forma indirecta el real flujo de regalías hacia los municipios, minimizando distorsiones en las cifras oficiales y pérdidas por este concepto para los municipios productores.

Autoridades.

Se provee necesariamente un apoyo a las Autoridades minera y ambiental, enmarcado dentro de un concepto de fortalecimiento institucional, *anexo 1*.

SEGUNDO PILAR SOCIALMENTE RESPONSABLE.

ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO A LOS PROVEEDORES.

Desde la implantación de la Interventoría Externa en el 2008, GENSA S.A. ESP ha efectuado 900 visitas de seguimiento y acompañamiento a los diferentes sitios productivos de sus proveedores en el departamento de Boyacá; en este sentido, se equipara o inclusive se supera en número a las visitas oficiales de las Autoridades Minera y Ambiental, equivalentes a un promedio de 2,2 visitas/día, durante los últimos dos años.

Por medio de estas visitas se ha logrado no solamente adquirir un conocimiento de primera mano sobre el devenir diario del productor, insumo importante para la toma de decisiones confiables, sino también atender necesidades del proveedor sobre asesoría técnica que se presta de forma inmediata o posterior según su llamado.

Se hacen recomendaciones en materia minera y ambiental dentro de charlas informales pero personalizadas, recalmando sobre las falencias, enfatizando en las debilidades y reconociendo las fortalezas, directamente en el sitio de mina,

a. Charlas técnicas



b. Visitas de seguimiento



c. Acompañamiento al minero



d. Asesoría técnica



En curso de estos procedimientos la empresa se ha apropiado del sentir del productor, ha establecido una relación de igual a igual en su entorno, de minero, (Empresa/Interventoría Externa) a minero (productor), estableciendo una interrelación directa y logrando un ambiente de confianza,

e. Acercamiento



f. Entendimiento



Se han roto paradigmas establecidos por el intermediario oportunista que había sembrado en la mente del pequeño y mediano productor, la idea de que una contratación directa era casi imposible con la empresa sin su intermediación. El mejor indicador de este logro es el registro de ofertas presentadas por los productores en los años 2009 y 2010 contra las presentadas por los comercializadores en el mismo periodo,



Figura 3. Incidencia del programa RSE de Manejo Minero Sostenible, sobre la oferta.

En la cual se aprecia un incremento substancial en el interés del sector productor con un aumento del 287% entre el 2009 y el 2010 y una disminución del 67,5% en las ofertas por parte de comercializadores en el mismo periodo; *comparar con la figura 1*. Indudablemente, la labor de GENSA S.A. ESP con la Interventoría Externa, ha servido de disuasivo para la intermediación oportuna y ha evolucionado hacia prácticas comerciales más justas y socialmente responsables con fuerte incidencia ambiental.

GENSA S.A. ESP pretende en el mediano plazo con esta estrategia, propiciar un pool de proveedores técnica y ambientalmente responsables, estableciendo esto como un criterio de selección de proveedores. Este proyecto se ha dado a conocer y el productor en aras de clasificar con mayor probabilidad a formar parte de este registro de proveedores, ha empezado a atender las recomendaciones que el equipo técnico de GENSA S.A. ESP les brinda en campo. Se espera que en un futuro cercano se logre la adquisición de una conciencia ambiental sentida, que no requiera de estímulos externos para lograr el cuidado del entorno en donde se realizan las actividades humanas.

TERCER PILAR SOCIALMENTE RESPONSABLE.

DIAGNÓSTICO MINERO AMBIENTAL DEL MUNICIPIO DE PAIPA.

Con el fin de concretar una mayor incidencia de las actividades de la empresa, en particular de la generadora TERMOPAIPA, en su zona de influencia directa, acorde con su Sistema Integrado de Gestión y su Programa de Responsabilidad Social Empresarial, en el año 2009 se elabora, publica y socializa el DMAP. El documento, *anexo 2*, pone sobre la mesa las inquietantes condiciones de laboreo minero existentes en los dos sectores principales de producción del municipio: veredas Salitre y Volcanes. Más como un fin en sí mismo, el DMAP se plantea como una línea base para proponer y poner en práctica soluciones a la problemática encontrada. Igualmente ofrece un material de consulta confiable, en el cual se actualiza la información existente en la Agenda Ambiental del Municipio de Paipa 2008-2011, en la que, en materia minero-ambiental, no se cuenta con información útil.

El DMAP muestra que concretamente en el municipio de Paipa, la minería del carbón es la más activa. Se han contabilizado 133 unidades productivas (bocaminas activas) y 100 bocaminas inactivas o abandonadas. La explotación de este mineral se realiza de forma artesanal sustentada más en la

tradición oral familiar que en la capacitación técnica; los niveles de tecnificación son muy bajos y, en la mayoría de los casos, no se sigue un planeamiento minero acorde con lo planteado en los Programas de Trabajos y Obras (PTO). Esto conlleva a que las explotaciones no sean económica ni técnicamente viables en el tiempo haciéndolas temporales, motivo por el cual se cierran y se abren otras en cercanía a la primera, en cortos periodos de tiempo (1 o 2 años). En materia de seguridad industrial y aspectos relacionados con lo laboral, priman la informalidad y la improvisación tanto en el uno como en el otro; se ha detectado el empleo puntual de menores en su actividad minera, deficiente cobertura en seguridad social y desapego al empleo de elementos de protección personal (EPP). La gestión ambiental de las explotaciones es aun más precaria. La disposición inadecuada de material estéril, el vertimiento de aguas ácidas de mina sin tratamiento previo, la remoción de cobertura vegetal para la adecuación de infraestructura auxiliar y la subsidencia, constituyen según el análisis realizado, las mayores afectaciones sobre el ecosistema físico-biótico local (2).

El nivel de impacto encontrado mediante el DMAP se explica en una combinación de variables que incluyen: (1) Carencia generalizada de formación minera técnica; (2) Arribo tardío de una legislación ambiental fuerte (17 años, Ley 99/93), en comparación con una actividad minera carbonífera que inició su "boom" hace más de cuatro décadas cuando, lo que hoy se percibe como agresiones flagrantes sobre el medio ambiente, no era entonces enteramente punible y que permitió el afianzamiento de malas prácticas ambientales que aun hoy no se han logrado erradicar. (3) Inefectividad en los controles por parte de la autoridad ambiental y minera. Las innumerables explotaciones desbordan su capacidad de control y seguimiento. (4) En el municipio de Paipa existe la mayor densidad de boca-minas por hectárea en el departamento, debido como se mencionó, a la falta de apego a lo planteado en el PTO; al conflicto entre terrateniente y concesionario minero, en donde el primero aun cree que prevalece el sistema de accesión (el dueño del suelo es el dueño del subsuelo) y basado en ello, abre explotaciones dentro de los títulos indiscriminadamente con la connivencia del titular minero, quien no aplica la herramienta de amparo administrativo que establece la ley, por evitar conflictos.

El documento arrojó en síntesis, un diagnóstico con una problemática muy compleja. ¿Cómo abordarla desde un punto de vista de RSE con participación activa de la empresa como actor en la región, sobre la base de este diagnóstico y en especial sobre una base de objetivos realizables?

La primera estrategia consistió en proponer inmediatamente y en el mismo documento, un Plan de Manejo Ambiental, planteando una serie de tecnologías sencillas pero efectivas de fácil aplicación (3), seguida de su socialización, la cual se llevó a cabo en el 1er Foro Minero Ambiental del Municipio de Paipa en septiembre de 2009,



Figura 4. Socialización del Diagnóstico Minero Ambiental Paipa 2009

En febrero de 2010, el documento fue distribuido en físico y en medio magnético a los actores locales: comunidad (Biblioteca Pública Municipal); Alcaldía; Personería;

Ingeominas; Corpoboyacá y a los titulares mineros del municipio.

La carencia de educación ambiental y de sensibilidad y compromiso se abordó inicialmente con la convocatoria de los empresarios y capataces mineros del municipio a charlas presenciales en la sede de la Interventoría Externa; sin embargo, la afluencia fue escasa y se decidió abortar esta estrategia por una más dinámica y efectiva. Se implantó un sub-programa de señalética (señalización minera), con la que se pretende irradiar 100 bocaminas (de 133), de los sectores de El Salitre y Volcanes carentes de las más mínimas normas de Seguridad industrial. El programa está en ejecución y al presente se ha avanzado en un 25% con resultados muy alentadores. Este programa consta de tres etapas: (1) Instalación de 18 señales (informativas y preventivas), al interior y exterior de cada mina, paralelamente con charlas de orientación y recomendación tendientes a mejorar la gestión en seguridad y aplicación de medidas ambientales,



Figura 5. Algunas señales diseñadas para el programa de señalética minera

(2) Verificación.

Es la etapa en la que se califica la mina con la señal "Buen Estado" o "Mal Estado", dependiendo de los correctivos que el titular haya cumplido en el tiempo que fue concertado para ejecutarlos.

(3) Seguimiento. Esta etapa se realizará por tiempo indefinido y consiste en visitas periódicas para confirmar que una mina calificada con la señal "Buen Estado", efectivamente continúa con buenas prácticas operacionales. Esta etapa será alterna con las anteriores e inicia en el mes de octubre de 2010,



Figura 6. Instalación de señales en bocamina



Figura 8. Instalación de señales uso de extintor



Figura 7. Instalación de señales para manejo de residuos sólidos (antes-después)



Figura 9. Señal de riesgo eléctrico



Figura 10. Instalación de señales de ruta de evacuación subterránea



Figura 11. Recuperación de sistemas de manejo de agua (antes – después). Sinergia del programa.



Figura 12. Adquisición de camillas. Sinergia del programa.



Figura 13. Calificación de la mina

Los resultados inmediatos de esta estrategia se resumen a continuación:

- Ha generado expectativa positiva entre algunos titulares y mineros del municipio y alrededores.
- Han solicitado (algunos titulares), ser visitados para recibir orientación, dispuestos a mejorar las condiciones de trabajo.
- Ha propiciado prácticas operacionales seguras; referentes a la utilización de elementos de protección personal.
- Mayor conciencia ambiental; reflejada en el manejo que le están dando actualmente a los estériles y a las aguas subterráneas. Durante el seguimiento, el minero está recuperando sistemas de tratamiento de aguas, abandonadas por largo tiempo.

De acuerdo a la Oficina de Asistencia Técnica Minera, Ambiental y Social del municipio de Paipa, el programa ha arrojado resultados muy positivos desde su inicio en el mes de abril.

Finalmente, el transporte del carbón es otro punto neurálgico sobre el cual GENSA S.A. ESP ha iniciado un programa de sensibilización y orientación tendiente a erradicar las malas prácticas a este respecto. Se abordó con la socialización de la Guía Minero Ambiental para el Transporte de Carbón (4), en preferencia a la ley de Tránsito y Transporte correspondiente, ya que la primera presenta una mayor conexión con el tema minero-ambiental, **anexo 3**. La primera fase del programa estuvo dirigida a los proveedores exclusivamente, muchos de los cuales son también transportadores o dueños de los vehículos, con quienes se han efectuado dos reuniones en las que se establecieron compromisos tendientes a la corrección de inconformidades en los requisitos de transporte de este tipo de carga: Carpados inadecuados; sobrecarga y velocidad; uso por parte de los conductores de los Elementos de

Protección Personal (EPP), para el ingreso a los patios de Termopipa y certificación de afiliación a ARP. La segunda fase consistirá en sesiones de sensibilización y compromiso directamente con los conductores.

Los logros obtenidos al presente son: (1) cobertura del 100% de los conductores al sistema de ARP; (2) Empleo generalizado de EPP; (3) Carpado de vehículos de acuerdo a lo establecido en la norma. (4) disminución del riesgo por afectación a terceros en los principales corredores viales que comunican con Termopipa.

La inversión efectuada por GENSA S.A ESP hasta el momento en el fortalecimiento y mantenimiento de los tres pilares descritos anteriormente asciende a \$1.200.000.000.

La meta trazada a mediano plazo es lograr el cambio radical de la forma de hacer minería en el municipio de Paipa.

CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias trazadas dentro del Programa Piloto de Manejo Minero Sostenible, permite concluir:

- 1-La dinámica comercial del carbón en el Departamento de Boyacá es una de gran complejidad.
- 2-El conocimiento de la intimidad del quehacer productivo del departamento, adquirido durante los últimos tres años mediante la presencia de la empresa en los sitios extractivos, ha aportado una base firme y una condición sine qua non para el planeamiento de las estrategias del programa.
- 3-Los dos primeros pilares socialmente responsables han arrojado resultados muy representativos en el corto plazo y permiten vislumbrar efectos aun más notorios en el mediano plazo.
- 4-Se requiere del esfuerzo permanente y conjugado no solo de GENSA S.A. ESP, sino también de las demás empresas consumidoras de carbón, al igual que de las Autoridades, para concretar un modelo minero acorde con la legislación vigente.
- 5-El DMAP de Paipa ha puesto de manifiesto, no solamente el cuantioso pasivo ambiental existente, sino también la necesidad de acciones tendientes a la erradicación de las malas prácticas mineras y ambientales.
- 6-Las estrategias planteadas con subprogramas sencillos como el de señalización minera han probado ser una herramienta eficaz en el corto tiempo, para incentivar las buenas prácticas por parte del minero.
- 7-La continuidad y replica por parte de otros actores del mercado es importante para crear sinergia de los logros alcanzados por GENSA S.A. ESP en su Programa Piloto de Manejo Minero Sostenible.

BIBLIOGRAFIA

- CONESA FERNÁNDEZ, V. Et al. Guía metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid: Editorial Munidpress, 1993. 412pp.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. El Carbón colombiano. Recursos, Reservas y Calidad, Bogotá: Ingeominas, 2004. 470 pp.
- Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Paipa, Acuerdo 030 de 2000
- Plan de Desarrollo del Municipio de paipa, "Primero la Gente" 2008-2011.
- ROBERTO C. Villas-Boas. Tecnologías Limpias para las Industrias Mineras, Río de Janeiro: Mario Sanchez Editores, 2006. 258 pp.

Reflechado con Tensión en Línea de 500 KV sin retenciones

Ing. Luis Lorenzo Neira – CTM Salto Grande – Jefe Área Líneas
Ing. Mariano Brufao - CTM Salto Grande – Sub Jefe Área Líneas
Tco. Luis Catalán - CTM Salto Grande – Montador Especializado Área Líneas

Represa de Salto Grande - Concordia

neiral@saltogrande.org

OBJETIVO

Restituir a las Líneas de 500 kV con mas de 30 años de estar en servicio su flecha original.

Este trabajo, surge como consecuencia de los años transcurridos desde la construcción y puesta en servicio de las instalaciones en cuestión, y se plantea a partir del estiramiento del conductor por efecto de la tensión mecánica a que está sometido a lo largo del tiempo (creep). Este estiramiento, da como resultado un incremento de las las flechas las cuales tomaron valores superiores a los admitidos, con lo que las distancias entre los conductores de las Líneas de 500 kV y el terreno se han visto disminuidas en valores que varían de 1 a 2 m según la longitud del vano.

Esto a su vez da como resultado, una pérdida de la capacidad de transporte de la Línea y además, está ligado a posibles riesgos.

Por lo expuesto, se entendió como necesario restituir a la instalación su condición original.

Dado que la flecha de los conductores, es función directa de la tensión mecánica de los mismos, si pretendemos disminuir la flecha debemos incrementar la tensión mecánica o lo que es lo mismo, restituir la longitud original de los conductores en el momento del montaje. Es decir, proceder a retirar una determinada longitud de conductor.

INTRODUCCIÓN

Las líneas del Sistema de Salto Grande, tienen las siguientes características:

- Tensión: 500 kV
- Conductor: DOVE (328 mm²)
- Conformación: 282 mm² Al - 46 mm² Ac
- Subconductores por fase: 4
- Vano medio: 400 m

Salto Grande trató este tema en el caso de tener una construcción con torres de retención ubicadas aproximadamente cada 10 soportes. Para ello, se basó en experiencias de diferentes empresas tales como EDF (Electricité de France), TRANSENER, EPE de Santa Fé, etc. y resolvió el mismo adoptando criterios similares, es decir retirando el excedente de conductor mediante el retiro de los prolongadores existentes en los soportes de retención. De esta manera, aplicó este procedimiento para corregir las

- Estructuras: autosoportadas
- Altura media: 31 m.
- Distancia al terreno: 8,5 m
- Flecha para vano de 400 m: 12 m (55°C)
- Hilos de Guardia: 2
- Hilos de Guardia conductor: COCHIN

flechas en las Líneas de 500 kV ubicadas en territorio Argentino.

Dado que la construcción de las Líneas en territorio Uruguayo responde a un criterio técnico de diseño diferente, por el cual se coloca cada 10 torres aproximadamente un soporte de suspensión especial, más fuerte que los normales de forma tal que permite soportar el corte unilateral de una fase completa. De esta manera, se utilizan torres de

retención (amarres) solo en lugares donde los ángulos son muy pronunciados.

A modo de ejemplo veamos el caso de la Línea de 500 kV Salto Grande – San Javier con un total de 381 estructuras de las cuales la N°1 y la N° 381 son terminales y las torres N° 7, 32, 215 y 278 son retenciones (amarres) es decir que en una Línea con 381 torres solo tiene seis torres de retención. Esto nos obligó a adoptar un método diferente al que estábamos empleando. No obstante, tratamos de aprovechar todos los equipos existentes readaptando su uso a las nuevas necesidades.

Por otra parte, debimos establecer en qué condiciones se encontraba la Línea y de qué manera se realizaron los cálculos mecánicos de los conductores.

Se trabajó inicialmente en un tramo piloto comprendido entre las torres N°7 y N° 32 que son dos retenciones.

En este caso, el proyectista dividió en tres tramos 7 - 14, 14 - 23 y 23 - 32. Las torres 7 y 32 son retenciones y las torres 14 y 23 son suspensiones especiales.

La otra característica particular es que entre retenciones se debe mantener una misma tensión,

para esto la temperatura de referencia adoptada por el proyectista fue de 10° C.

Se efectuaron las mediciones de las flechas existentes y se determinó cual era el estado actual de la Línea, que concretamente se encontraba fuera de los parámetros admitidos, en algunos casos la flecha superaba la prevista en alrededor de 2 m. Posteriormente, se calculó el tiro en cada uno de los vanos y se refirió el mismo a la temperatura de 10 °C. Con estos valores se obtuvo el tiro promedio en los tramos 7 - 14, 14 - 23 y 23 - 32 y se comparó los valores obtenidos con el tiro de proyecto. A partir de este dato se pudo obtener la longitud de conductor que debía retirarse en cada tramo para poder restituirlo a su condición original.

Conocida la longitud que se retiraba en cada tramo se estableció que la misma sería retirada en el medio del vano central de cada tramo. Previamente, se calculó los corrimientos en cada soporte y basado en la experiencia realizada en las Líneas Argentinas se decidió efectuar los corrimientos, para posteriormente efectuar el retiro del excedente de conductor.

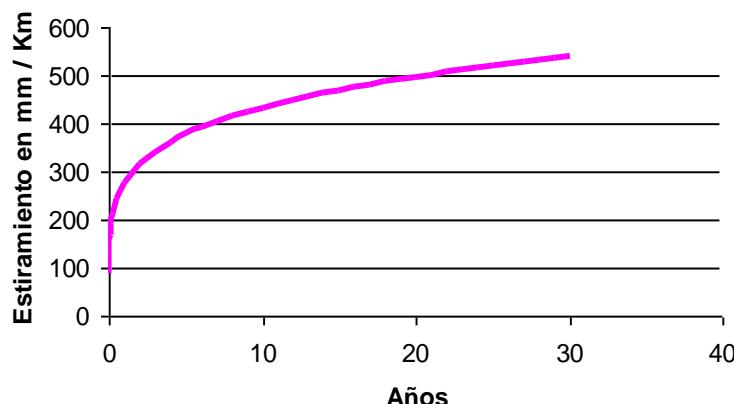
Antecedentes técnicos

Como es sabido, todos los conductores sometidos a tensión mecánica se estiran a medida que pasa el tiempo. Este efecto se denomina **creep** del conductor. Sigue una curva exponencial. Es decir que los primeros días se estira mucho y luego muy poco. Por otra parte, cuando el conductor se estira pierde tensión mecánica y aumenta la flecha.

En nuestro caso, y de acuerdo al estudio teórico de diseño, al cabo de 30 años las líneas deberían ser reflechadas para restituirlas a su condición original.

Métodos: Se desarrollo equipamiento para poder efectuar el trabajo de reflechado con las Líneas en servicio. Se utilizaron dispositivos que permitían colocar en

Estiramiento del Conductor



En particular, el estiramiento teórico esperado a los 30 años era de **538 mm/Km**. Si analizamos esto por cada Vano tendremos:

- $538 \text{ mm} / \text{Km} \times 0,400 \text{ Km} = \mathbf{215 \text{ mm.}}$
 - Aproximadamente 20 cm cada 400 m.
 - Es decir un 0,05 %.
 - Como tenemos tramos del orden de las 10 torres, esto significa 9 vanos, es decir 3.600 m de longitud por lo que el total estirado es de: $3,6 \text{ Km} \times 538 \text{ mm} / \text{Km} = 1.936,80 \text{ mm.}$
 - Por lo que si se pretende restituir todo a su condición original, deberemos retirar alrededor de 2 m de conductor en cada tramo.

MÉTODO

Se analizaron diferentes posibilidades. En particular, se presentaban dos alternativas, realizar el trabajo con las instalaciones fuera de servicio o bien realizarlo con la instalación energizada.



Habida cuenta, que el sistema de Salto Grande constituye el único vínculo entre los Sistemas de Transmisión de Argentina y Uruguay, la posibilidad de efectuar estos trabajos con la instalación fuera de servicio quedaba excluida, por lo que debíamos desarrollar un método con la instalación energizada.

Para poder efectuar las tareas, se hacía necesario colocar sobre roldanas los conductores en los puntos de suspensión, y luego tirar desde el medio del vano central de cada tramo para retirar el exceso de conductor.

La colocación sobre roldanas en los puntos de suspensión, tenía como objeto permitir el desplazamiento del conductor cuando se tira desde el punto antes mencionado.

Para ello se optó por utilizar el mismo dispositivo diseñado para las Líneas del sistema Argentino; es decir un dispositivo de roldanas múltiples que trabaja sobre los cuatro subconductores al mismo tiempo y permite el desplazamiento de los cuatro subconductores sin afectar los espaciadores.

Este dispositivo, reemplaza transitoriamente a las morsas de suspensión y permite el desplazamiento del conductor sin producir daños en el mismo dado que cuenta con roldanas múltiples, de esta forma, se simula una roldana de un diámetro mayor.

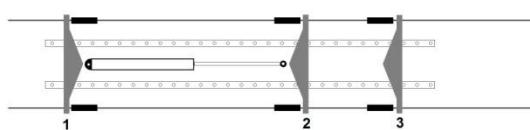
Con respecto al dispositivo que permitiese tirar del conductor para retirar el excedente y dado que, como en el caso del sistema Argentino, se había adoptado la solución de trabajar con el total del haz, se entendió que el mismo debía contemplar el hecho de que el tiro debería ser muy parejo (entre conductores) para evitar producir daño a los espaciadores amortiguadores. Luego de varias pruebas, se optó por utilizar un sistema de yugos cruzados tomados de un pistón hidráulico con capacidad para 12.000 Kg de tiro. De esta forma el tiro se realiza con un elemento único y se asegura una igualdad de cargas en cada subconductor.

El inconveniente, se presentó en que la distancia a retirar de conductor (del orden de los 2 m en el peor de los casos) mas la longitud que se necesita disponer de conductor para poder realizar un empalme nos obligaba

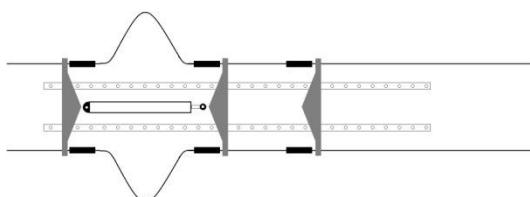
a disponer de pistones que pudiesen accionar alrededor de 2,5 a 3 m. Los existentes tenían una longitud de 1,5 m y agregar 1 m mas tornaba al conjunto sumamente pesado, por lo que se optó por una solución que nos permitía en dos movimientos comprimir la longitud requerida.

La secuencia de trabajo de este dispositivo es la siguiente:

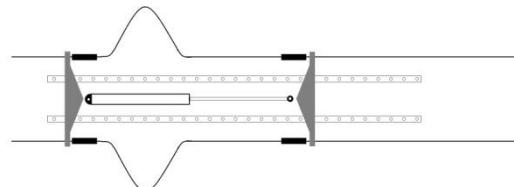
Disposición inicial



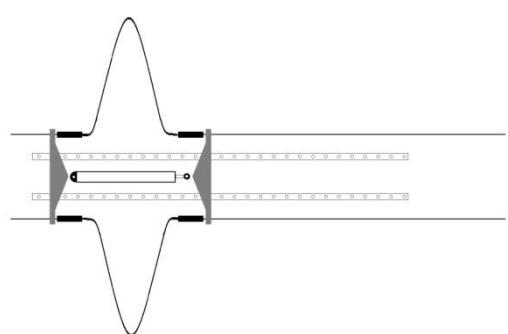
Primera "prensada", se retiene en el yugo 3 y se modifica la posición del yugo 2 aproximándolo al yugo 3.



Se retira el yugo 3 y se "presa" con el yugo 2.



Posición final que permite retirar el exceso de conductor y empalmar.



Además de lo expuesto, se utilizó la experiencia adquirida en el reflechado de las Líneas Argentinas, donde inicialmente se colocaba todo el tramo sobre roldanas y luego

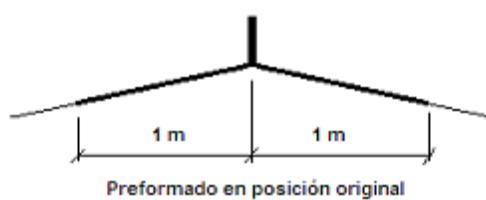
se tensaba, pero con el paso del tiempo se llegó a la conclusión que era factible ahorrar una operación, para ello se coloca el dispositivo en las torres de suspensión se retiran las morsas de suspensión y se efectúa el corrimiento que por cálculo debe producirse. Luego se reintegran las morsas y se retira el dispositivo. De esta manera, la cadena queda desplazada y luego al tensar los conductores retoma su verticalidad. Es decir, esta manera de proceder ahorra tener que retornar a la torre para retirar el dispositivo.

En síntesis, el método adoptado consistió en efectuar los corrimientos surgidos del cálculo en cada estructura de suspensión mediante el dispositivo utilizado en las Líneas Argentinas y posteriormente retirar el exceso de conductor en el centro del vano ubicado en el medio de cada tramo mediante la utilización del dispositivo de tracción y posterior corte del exceso de conductor y empalme de los subconductores.

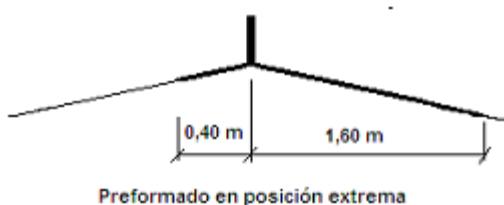
Otro inconveniente a resolver, es que la Línea posee en todos los puntos de suspensión preformados de protección. Estos preformados tienen una longitud de 2.000 mm y están colocados centrados respecto de la morsa de suspensión. Al producir el desplazamiento del conductor hacia uno de los lados, este preformado adoptaría una posición diferente respecto a la morsa de suspensión.

Este problema, era similar al presentado en las Líneas Argentinas, en cuyo caso se había resuelto mediante la realización de ensayos de eficiencia de los preformados de protección.

Se consideró que el preformado funcionaba bien si se mantenía perfectamente ajustado al conductor. Por otra parte, se determinó hasta que punto funciona el preformado cuando el mismo es corrido hacia un costado respecto al punto de amarre.



- Se llevó el preformado hasta la posición extrema y se realizó un ensayo de vibraciones.



- Cantidad de ciclos: 10.000.000
- Frecuencia: 30 ciclos / seg.
- Amplitud mínima: 0,12 mm
- Se efectuaron radiografías del cable a los:
 - 2.500.000 ciclos
 - 5.000.000 ciclos
 - 7.500.000 ciclos
 - 10.000.000 ciclos

En ningún caso se observaron hebras cortadas. De acuerdo a los ensayos, se decidió admitir que todos los preformados que se encontrasen con un desplazamiento de hasta 60 cm con respecto al eje de la morsa de suspensión estarían trabajando bien y no serían reemplazados. En el caso de desplazamientos mayores, se retiraría el total del preformado y se lo reemplazaría por otro de menor longitud (1 m) que sería colocado centrado respecto del eje de la morsa.

Dado que toda la tarea se realiza con tensión, es necesario que el retiro de los preformados se realice cortando el mismo en tramos de 1 m aproximadamente para evitar que su manipuleo pueda producir un accidente por disminución de las distancias eléctricas.

Este mismo motivo fue el que llevó a adoptar para el reemplazo de los preformados uno de menores dimensiones.

Adaptación de Dispositivos

El dispositivo a utilizar en los soportes de suspensión no requirió ninguna modificación. El mismo, permite colocar sobre roldanas el haz de cuatro conductores que se encuentran separados entre sí 45 cm. El dispositivo consta de un bastidor dividido en dos partes iguales que se calzan en los yugos de las cadenas de suspensión y amarra el alma del mismo en forma segura de modo de soportar sin deformación las cargas máximas de trabajo y rotura.

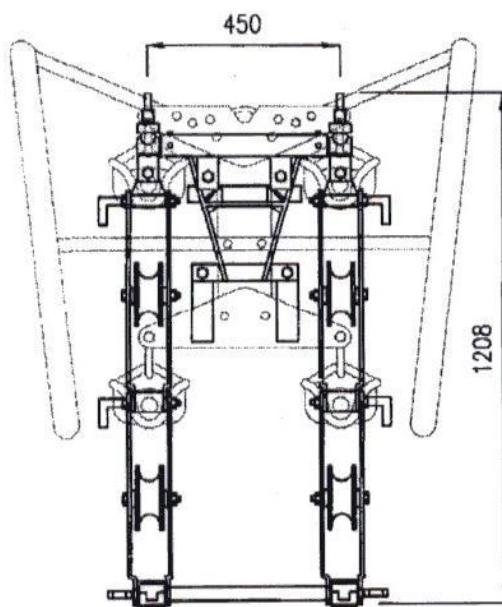
En cada vértice de los bastidores el equipo tiene articulaciones que permiten la inclinación de los brazos de elevación en las dos direcciones, una es de desplazamiento en el plano vertical que contiene los conductores y el otro pendular en el plano perpendicular a estos.

Dado que el equipo es apto indistintamente para cadenas simples, dobles y en V, para este último caso se contempló en su diseño que admita esfuerzos transversales de los conductores por acción del viento, también cuenta con elementos para amarre a la torre de modo de inmovilizar el equipo cuando los conductores están soportados por el equipo y fuera de las grapas de suspensión.

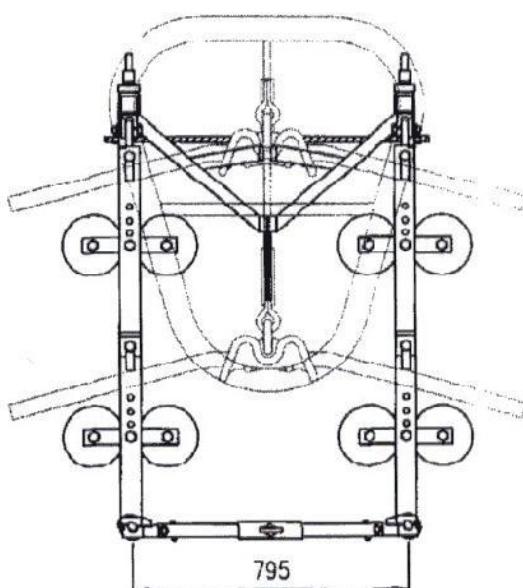
Cada conductor es soportado por 4 roldanas de aleación de aluminio cuyo diámetro de fondo de garganta es de 80 mm, el ancho de la garganta de cada roldana es de 39 mm de modo de permitir el libre desplazamiento de los preformados sobre las roldanas, cada una de estas roldanas está montada sobre dos rodamientos a bolillas de tipo blindado.

Para el levantamiento de los conductores los tornillos poseen rosca cuadrada y las tuercas son especiales para poder emplear llaves a cierre usuales para trabajos con tensión. Con el objeto de minimizar el esfuerzo de giro de las tuercas para levantar los conductores, el dispositivo cuenta con rodamientos tipo crapodina que están colocadas entre las tuercas y el bastidor soporte.

La vinculación inferior de los cuatro brazos de izado se realiza con un bastidor que se monta con sistema de bisagras de modo que su instalación sea rápida y los elementos sean imperdibles.



Cada conjunto cuenta con 8 soportes componibles, cada uno de estos soportes tiene regulación de altura de roldanas basculantes de modo de poder adecuarlo a cada tipo de cadena, los yugos para las cadenas simples, dobles y en V son diferentes entre si y se agrega a ello la tolerancia de fabricación dentro del mismo tipo de cadena, es decir que el equipo es versátil de modo de permitir adaptarlo en cada caso particular en el menor tiempo posible y sin necesidad de importantes sustituciones o agregados.



Carga mínima en ensayo de tipo del conjunto: 4710 kg aplicado vertical

Carga mínima en ensayo de remesa del conjunto 3140 kg aplicado vertical.

Carga mínima horizontal de tipo del conjunto 2520 kg aplicado horizontal.

Por razones de seguridad el 100 % de los conjuntos han sido sometidos al ensayo de remesa.

El segundo dispositivo que fue necesario adaptar fue el destinado a tensar el haz de conductores. Como se dijo, este dispositivo se instala en el medio del vano.

De esta manera, una vez instalado el dispositivo, se puede prensar y acercar los extremos del mismo de forma que los conductores comprendidos entre ambos extremos queden libres de tensión mecánica, permitiendo el corte y el retiro de un tramo del mismo, para luego proceder a su empalme mediante manguitos de compresión.

Con el objeto de lograr un tiro parejo de los cuatro conductores componentes del haz, se instalan 6 yugos, 3 de cada lado. Dos de estos en posición horizontal, tomando dos conductores cada uno y el tercer yugo en posición vertical vinculando a ambos yugos horizontales. De esta manera, se logra un punto único de tiro para todo el haz.

La forma de producir el tiro, es mediante un pistón hidráulico el cual se toma de los yugos verticales. Este pistón es accionado mediante una central hidráulica accionada por un motor eléctrico.

Este dispositivo cuenta además, de un juego de varillas de seguridad. Estas varillas, son colocadas una vez que el pistón alcanza su posición final y son las que aseguran que no se modificará la posición de los conductores mientras dure todo el proceso.



Finalmente, se debió instalar un tercer juego de yugos. Estos yugos se instalan cuando se ha producido la primer "prensada de conductor" y se los ubica en el extremo de las varillas de seguridad. De esta forma, se transfiere el tiro a ellos y permite aflojar el juego de yugos que queda en el medio y desplazarlo hasta el extremo para una vez reubicados volver a prensar. Esta maniobra se puede repetir tantas veces como sea necesario de forma de traer el conductor que se requiera.

El conjunto, tiene una carga de trabajo de 12.000 Kg con coeficiente de seguridad 1,5. No obstante fue ensayado con una carga de 24.000 Kg sin que se observaran ningún tipo de deformaciones.

Método de Trabajo

El método fue desarrollado a partir de las premisas antes indicadas y se han ido perfeccionando a medida que se ha comenzado a aplicar en forma regular.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Instalación de los dispositivos de suspensión.
- 2) Desplazamiento de las morsas de suspensión.
- 3) Retiro de los dispositivos de suspensión.
- 4) Instalación del dispositivo de tensado.
- 5) Tensado, corte y empalme de los conductores.
- 6) Retiro del dispositivo de retención.
- 7) Medición de la resistencia eléctrica de los empalmes



Los trabajos, se desarrollan con dos cuadrillas de cinco personas cada una, mas su correspondiente Jefe de Trabajo para la tarea de instalación y desplazamiento de las morsas de suspensión. Esta tarea permite que cada cuadrilla efectúe el corrimiento de las cadenas de dos torres completas por día, con lo cual en dos días se completan las tres fases de un tramo.

Posteriormente, el trabajo de tensado y retiro del exceso de conductor, lo ejecuta una sola cuadrilla de entre ocho y diez personas y demanda aproximadamente un día por fase, con lo cual en una semana se completa el tramo.

Tenemos previsto que la totalidad del trabajo de reflechado se realizará con personal y equipos de CTM de Salto Grande.

Primer trabajo

Como adelantáramos, el primer trabajo se desarrolló entre las estructuras 7 y 32. En este caso el proyecto original dividió en tres tramos:

- 7 – 14
- 14 – 23
- 23 – 32

Las tensiones de proyecto son:

Tem.	Tramo		
	7 - 14	14 – 23	23 - 32
0°	2367 Kg	2369 Kg	2388 Kg
5°	2310 Kg	2311 Kg	2319 Kg
10°	2256 Kg	2256 Kg	2256 Kg
15°	2205 Kg	2204 Kg	2197 Kg
20°	2156 Kg	2155 Kg	2141 Kg
25°	2110 Kg	2109 Kg	2088 Kg
30°	2067 Kg	2064 Kg	2038 Kg
35°	2025 Kg	2023 Kg	1991 Kg
40°	1986 Kg	1983 Kg	1946 Kg

Como se puede observar para el caso de una temperatura de 10°C los tiros son iguales en todos los tramos.

Por este motivo, con las flechas medidas y su temperatura calcularemos los tiros a dicha temperatura y posteriormente a partir de este valor calcularemos los tiros a 10°C, posteriormente obtendremos el tiro promedio en cada tramo a 10°C y lo compararemos con el que debería tener para poder establecer los estiramientos producidos.

Vano	Tem °C	Flecha (m)	Tiro (Kg)	Vano (m)	Tiro (Kg) a 10°C
7 - 8	30	10.8	1909	380. 8	2066
8 - 9	22	12.42	1930	410. 7	1983
9 - 10	24	8.28	1884	331. 3	1902
10 - 11	26	11.75 0	1771	382. 7	1795
11 - 12	26	11.37 0	1886	388. 4	1913
12 - 13	28	12.52 0	1909	410. 1	1948
13 - 14	25	9.580	1977	365. 1	2002
Promedio				1944	

- Tiro de diseño a 10°C = 2256 Kg
- Tiro promedio actual a 10°C = 1944 Kg

Calcularemos la longitud de conductor en cada vano para el Tiro de diseño a 10°C y luego la longitud en cada vano para el Tiro promedio actual a 10°C, luego restaremos ambas y esa será la longitud que debemos quitar en cada tramo para restituir la Línea a su condición original.

Para el cálculo de la Longitud en cada tramo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$L = a + \frac{a^3 w^2}{24T^2} + \frac{h^2}{2a}$$

Donde:

$$L = \text{longitud del conductor en cada vano en m}$$

$$a = \text{vano en m}$$

$$w = \text{peso del conductor Kg / m}$$

$$T = \text{tiro del conductor}$$

$$h = \text{desnivel en m}$$

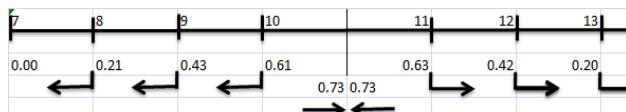
$$\Delta L = L_{1944Kg} - L_{2556Kg} = \frac{a^3 w^2}{24T_{1944Kg}^2} - \frac{a^3 w^2}{24T_{2556Kg}^2}$$

Vano	a	w	T_{1944}	T_{2556}	ΔL
7 - 8	380.88	1.14022	1944	2256	0.20
8 - 9	410.7	1.14022	1944	2256	0.26
9 - 10	331.29	1.14022	1944	2256	0.13
10 - 11	382.66	1.14022	1944	2256	0.21
11 - 12	388.44	1.14022	1944	2256	0.22
12 - 13	410.1	1.14022	1944	2256	0.25
13 - 14	365.09	1.14022	1944	2256	0.18
ΔL Total					1.45

7 8 9 10 11 12 13 14

380. 88	410. 7	331. 29	382. 66	388. 44	410. 1	365. 09
791.	1122			1163	775.	
58	.87			.63	19	
211.				170.		
71				95		
				382		
				.66		

Longitud del Tramo = 2.669,16 m
Mitad de Tramo = 1.334,58 m



Vano	a	w	T_{2020}	T_{2256}	ΔL
14 - 15	418.66	1.14022	2020	2256	0.19
15 - 16	371.83	1.14022	2020	2256	0.14
16 - 17	354.78	1.14022	2020	2256	0.12
17 - 18	396.69	1.14022	2020	2256	0.16
18 - 19	391.94	1.14022	2020	2256	0.16
19 - 20	403.86	1.14022	2020	2256	0.17
20 - 21	305.35	1.14022	2020	2256	0.07
21 - 22	393.54	1.14022	2020	2256	0.16
22 - 23	360.52	1.14022	2020	2256	0.12
ΔL Total					1.02

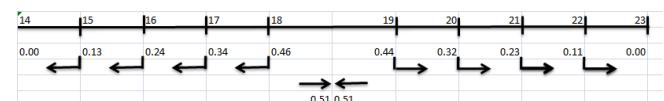
Estudio Tramo 14 - 23

Vano	Temp.	Flecha (m)	Tiro (Kg)	Vano (m)	Tiro (Kg) a 10°C
14 - 15	25°C	12.77	1951	418.66	2054
15 - 16	26°C	10.33	1902	371.83	2030
16 - 17	26°C	9.09	1968	354.78	2119
17 - 18	26°C	11.63	1923	396.69	2040
18 - 19	27°C	11.38	1919	391.94	2046
19 - 20	28°C	11.96	1938	403.86	2069
20 - 21	30°C	7.73	1714	305.35	1892
21 - 22	31°C	11.81	1864	393.54	2010
22 - 23	28°C	10.32	1790	360.52	1921
				Tiro medio	2020

14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

418. 371. 354. 396. 391. 403. 305. 393. 36
66 83 78 69 94 86 35 54 0.5
790. 114. 154. 146. 105. 754.
49 5.27 1.96 3.27 9.41 06
156. 235.
625 315
391.
94

Longitud del Tramo = 3.397,17 m
Mitad de Tramo = 1.696,56 m



Tiro de diseño a 10°C = 2256 Kg
Tiro promedio actual a 10°C = 2020 Kg

$$\Delta L = L_{2020Kg} - L_{2256Kg} = \frac{a^3 w^2}{24 T_{2020Kg}^2} - \frac{a^3 w^2}{24 T_{2256Kg}^2}$$

Estudio Tramo 23 - 32

Vano	Temp.	Flecha (m)	Tiro (Kg)	Vano (m)	Tiro (Kg) a 10°C
23 - 24	29°C	8.28	1883	331.2	2068
24 - 25	31°C	10.8	1936	383.58	2106
25 - 26	31°C	8.18	1778	319.92	1968
26 - 27	32°C	9.11	1793	339.05	1977
27 - 28	32°C	7.35	1776	302.64	1997
28 - 29	28°C	9.25	1617	324.36	1738
29 - 30	29°C	7.73	1860	318.02	2052
30 - 31	30°C	10.5	1708	355.23	1841
31 - 32	31°C	12.97	1836	409.38	1966
		Tiro medio		1968	

Tiro de diseño a 10°C = 2256 Kg

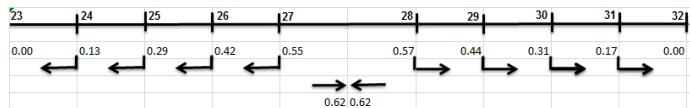
Tiro promedio actual a 10°C = 1968 Kg

$$\Delta L = L_{1968Kg} - L_{2256Kg} = \frac{a^3 w^2}{24T_{1968Kg}^2} - \frac{a^3 w^2}{24T_{2256Kg}^2}$$

Vano	a	w	T ₁₉₆₈	T ₂₂₅₆	ΔL
23 - 24	331.2	1.14022	1968	2256	0.12
24 - 25	383.58	1.14022	1968	2256	0.19
25 - 26	319.92	1.14022	1968	2256	0.11
26 - 27	339.05	1.14022	1968	2256	0.13
27 - 28	302.64	1.14022	1968	2256	0.09
28 - 29	324.36	1.14022	1968	2256	0.11
29 - 30	318.02	1.14022	1968	2256	0.11
30 - 31	355.23	1.14022	1968	2256	0.15
31 - 32	409.38	1.14022	1968	2256	0.23
		ΔL Total		1.24	

2 3 24 25 26 27 28 29 30 1 32 3
3 38 31 33 30 32 31 35 40
1. 3. 9. 9.0 2. 4.3 8.0 5. 9.3
2 58 92 5 64 6 2 23 8
71 10 13 14 10 76
4. 34 73. 06. 82. 4.
78 .7 75 99 63 61
16
7.9 13
4 4.7
30
2.
64

Longitud del Tramo = 3.083,38 m
Mitad de Tramo = 1.541,69 m



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos parecieran ser muy satisfactorios. En primera instancia, se logrará recuperar la Línea a su condición original lo que asegurarán otros treinta años de vida útil. Además, los costos para la recuperación de la Línea resultan muy inferiores a los que hubiéramos tenido en el caso de tener que sacar de servicio las instalaciones o peor aún si se hubiese tenido que construir otra instalación.

Las técnicas usadas son simples y el equipamiento específico tiene un costo relativamente bajo. Por otra parte, el personal utilizado es el habitual, propio de nuestra empresa que ha realizado conjuntamente todo el desarrollo de la metodología y del equipamiento lo que brinda un beneficio adicional al lograr un crecimiento como profesionales del trabajo con tensión y una capacitación en un tema específico.

En síntesis, la relación costo – beneficio es altamente positiva, por lo que afirmamos que los resultados son muy satisfactorios.

Referencias

- Reglamento para la Ejecución de Trabajos con Tensión en Instalaciones Eléctricas (AEA).
- Recambio de Espaciador Amortiguador de 500 kV desde Grúa con Brazo Aislado-Neira-Clapés-(CIER2003) - Norma IEC 61.472.
- Distancias Eléctricas en TCT-Neira-Cairol-Bianchi-Bertot (CIER 2005)
- Reflechado de Líneas de 500 kV – TRANSENER (CIER 2003)
- Reflechado de Lineas de 132 kV – EPE de Santa Fé (CIER 2009)

Proceso de especificación de compra de Hidroelevadores aislados para TCT

Mario A. Ramos
Ingeniero Electricista. Máster en Administración de Empresas

Esteban Gola
Ingeniero Electromecánico. Máster en Administración de Empresas.

EDENOR S.A.

mramos@edenor.com
www.edenor.com

1- OBJETIVOS

Este trabajo busca transmitir las experiencias adquiridas en Edenor durante el proceso de Especificación Técnica (ET), Licitación, Evaluación Técnica de Ofertas y Compra de hidroelevadores aislados para utilizar en la ejecución de Trabajos con Tensión.

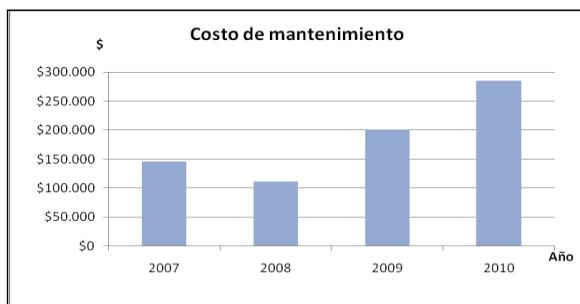
2- MARCO

Debido al progresivo crecimiento de la red y al paralelo envejecimiento de su flota de hidroelevadores aislados, Edenor se vio enfrentada al desafío de establecer un Plan de Trabajo a 5 años para el área de TCT que entre sus objetivos incluía la modernización y ampliación de la flota de hidroelevadores.

Al momento de iniciar el proceso, esta contaba con:

- 2 hidroelevadores no aislados del año 1987. Marca HidroGrubert, montados sobre Chasis Mercedes Benz.
- 6 hidroelevadores aislados del año 1980 marca Wajax, de origen canadiense. Con alcance 15 metros de altura de trabajo y aptos para TCT en Media Tensión. Tres de ellos se encuentran montados sobre chasis Mercedes Benz del año 2005, dos sobre chasis Internacional del año 1980 y uno sobre chasis Ford del año 1981
- 1 Hidroelevador no aislado Marca Igarreta del año 1987, montado sobre chasis Ford. Con alcance 25 metros de altura de trabajo. Apto para trabajos en líneas de AT.
- 1 Hidroelevador aislado del año 1987 marca Igarreta (de origen nacional), montado sobre chasis Scania. Con alcance 35 metros de altura de trabajo y apto para TCT a potencial hasta en 500 kV

Dada la antigüedad de la mayor parte de estas máquinas, en especial de los chasis y la parte mecánica, el costo de mantenimiento necesario para mantener estos vehículos especiales en el buen estado que requieren las verificaciones antedichas, se mostraba incremental cada año.



Esta situación, sumada a la mayor demanda de Trabajos con tensión en la empresa llevó a la aprobación por parte de la Dirección del plan de adquisición de nuevos hidroelevadores.

3. ANÁLISIS PREVIO

3.1 Análisis de Necesidades Técnicas

El proceso dio comienzo con un análisis de las necesidades actuales ya que desde la última A fin de recabar la mayor cantidad de información técnica sobre las posibilidades y tipos de máquinas disponibles en el mercado, se realizó un análisis de las principales opciones en la oferta de hidroelevadores, teniendo en cuenta tanto las opciones nacionales como las importadas.

a) Mercado Nacional.

Para el análisis de la oferta de hidroelevadores fabricados en nuestro país, se convocó a los tres fabricantes de equipos aislados disponibles:

- Hidráulica Móvil
- Hidro Grubert
- Axion

b) Mercado Internacional

En cuanto a la oferta extranjera se buscaron aquellos que contaban con representación en la Argentina que pudiera dar respaldo y garantía post service:

- Altec de USA (representado por Igarreta)
- Versalift de USA (representado por Plastyvial)
- Ritz de Brasil (representado por Fasten)

compra de hidroelevadores aislados habían pasado más de 25 años en los cuales la red evolucionó tanto en cantidad como en variedad de instalaciones.

Esto implicaba que no era factible limitarse a comprar equipos similares a los ya existentes, sino que debía realizarse una previa evaluación de las posibilidades actuales del mercado y de las variantes de utilización adaptadas a las nuevas tipologías de las instalaciones, redes urbanas y métodos de trabajo.

En este proceso de análisis se involucró no solo al personal de conducción sino también a los propios trabajadores que operan estas máquinas ya que se considera que su opinión es indispensable para definir las necesidades y requerimientos de las mismas.

3.2 Análisis de Opciones del Mercado

También fueron consideradas otras marcas como Terex de USA o Cela de Italia, pero al no contar con representaciones efectivas en nuestro país no pudieron ser incluidas en la licitación.

Cabe destacar que la marca canadiense Wajax correspondiente a los hidroelevadores que operan satisfactoriamente en Edenor desde 1980, no se encuentra disponible en el mercado actualmente.

3.3 Demostraciones y Visitas de proveedores

Durante el proceso de preparación de la especificación se realizaron solicitudes de demostraciones de producto a los posibles proveedores las cuales resultaron de suma utilidad para observar las diferentes variantes y opciones.

En el marco de una visita a la fábrica de Ritz para ensayo de herramientas para TCT adquiridas, se aprovechó para visitar su fábrica de hidroelevadores.

Esta visita permitió recabar información que fue importante para la posterior preparación de la Especificación Técnica tanto del equipo hidroelevador como de las bauleras.



Fotos en la planta RITZ do Brasil

Al conocer la intención de Edenor de licitar por cinco hidroelevadores, los fabricantes extranjeros Altec y Versalift se mostraron muy interesados.

Sus representantes locales Igarreta y Plastyvial mostraron su disposición y ambas firmas estadounidenses realizaron visitas técnicas a nuestro país, con responsables no sólo de las áreas de ventas sino también de Ingeniería que acompañaron el proceso de preparación de la Especificación Técnica con la entrega de información técnica y respuestas a las inquietudes del equipo de Edenor encargado de la confección de la misma.

La empresa Axion envió a Edenor a todo su equipo técnico de Ingeniería de diseño y fabricación y puso a disposición en Buenos Aires dos máquinas de 11 y 18 metros para la realización de sendas pruebas por parte de operarios calificados, supervisores y jefes de Edenor.

1. Especificación Técnica

Se especificaron tres tipos de hidroelevadores con las siguientes características:

	Hidroelevador Articulado convencional	Hidroelevador Articulado convencional	Hidroelevador Overcenter
Altura de Trabajo	13 metros	15 metros	15,5 metros
Aislación	Clase A o B (según ANSI 92-2).	Clase A o B (según ANSI 92-2).	Clase A o B (según ANSI 92-2).
Tipo	Articulado	Articulado	Overcenter
Cantidad de barquillas	Opción 1: 2 barquillas con movimiento rotatorio independiente (mecánico o hidráulico).	2 con movimiento rotatorio independiente (hidráulico).	2 con movimiento rotatorio independiente (hidráulico).
	Opción 2: 1 barquilla con capacidad para 2 personas, fija y montada en el extremo.		
Capacidad de carga mínima por barquilla	120 kg.	140 kg	180 kg
Con brazo auxiliar (jib). Capacidad de carga mínima	-	450 kg.	No overcenter: 450 kg. Overcenter: 45 kg
Carga admisible mínima Total (con 2 barquillas y brazo auxiliar / jib)	240 kg.	680 kg	No overcenter: 810 kg
Articulación de brazo inferior (mínimos)	80°	- 2° a +100°	0° a 90°
Articulación de brazo superior (mínimos)	140 °	0° a +150 °	0° a 210°
Alcance Máximo Horizontal	mayor o igual a 5,5 m	mayor o igual a 9 m	Pluma superior overcenter, pluma inferior a 0°: 12 m. Pluma superior horizontal, pluma inferior a la máxima articulación: 9 m
Alcance vertical correspondiente al alcance máximo horizontal	mayor o igual a 8 m	mayor o igual a 8,4 m	mayor o igual a 9 m

La ET comprendía no solo la pluma aislada sino también la selección de un chasis adecuado y las bauleras para poder dotar al camión con un volumen de guardado de equipamiento que permitiera el traslado de todos los elementos necesarios para los distintos tipos de trabajo.

Características exigibles

Los equipos ofertados debían contar con antecedentes de ventas en otras empresas, no aceptándose prototipos o diseños realizados por primera vez y los ofertantes debieron acompañar como antecedente el listado de máquinas (similares en todas sus principales características técnicas) entregadas y fechas.

Los equipos ofertados debían contar con todas las características listadas a continuación:

1) Pluma elevadora

Mandos Superiores en barquillas e Inferiores en torreta (superpuestos superiores)
Cobertor de protección de mandos inferiores de torreta
Botón de seguridad (prioridad al mando inferior)
Giro continuo e ininterrumpido en ambos sentidos (360°)
Tapas de inspección del sistema de nivelación de barquillas
Sistema remoto de aceleración y desaceleración del motor del vehículo
Traba en posición cerrado

Nivel de aislación: mínimo 46 kV

Brazo aislante: Resina epoxi reforzada con fibra de vidrio.
Mangueras no conductivas
Micro amperímetro
Zócalo de conexión para medición de corriente de fuga
Elementos de puesta a tierra para pruebas
Cobertores (protección) de brazos aislados

2) Estabilizadores

Control de estabilizadores independientes
Zapata oscilante en estabilizador
Cantidad y tipo de estabilizadores: 4

5) Barquillas

Sistema de nivelación: automático.
Comandos con sistema de hombre muerto
Liner
Cobertor para barquillas
Ubicación de comando: sobre el lateral de barquilla.
Sistema de fijación de cinturón de seguridad
Arranque - parada del motor del vehículo desde barquilla

3) Circuito hidráulico

Accionamiento hidráulico mediante toma de fuerza en cabina
Válvulas de seguridad por falla circuito hidráulico
Válvula de contrabalanceo o checkvalves
Mangueras hidráulicas y sistema nivelación de barquilla colocados en el interior de los brazos
Circuito hidráulico con filtro
Reservorio con viento higroscópico
Indicador de nivel de aceite
Contador de horas de uso. Ubicación en cabina.
Indicador luminoso de acoplamiento hidráulico, en cabina.
Bomba auxiliar: eléctrica.
Válvula direccionamiento a estabilizadores o barquillas
Válvula direccionamiento hacia comando de columna o de barquilla (override)
Acople rápido superior para herramientas hidráulicas

6) Normativa y ensayos: los componentes y el hidroelevar en su conjunto deben cumplir con las disposiciones de la Ley de Tránsito Nro. 24.449 y los ensayos definidos en la Norma Ansi 92.2 – 2001 e IRAM 3926.

7) Otros

Elevador de cargas (Jib): aislado. Longitud mínima 1,70 m. El brazo auxiliar debe pasar los ensayos determinados en la norma IEC 60832 Ed. 1.0 Insulating poles (insulating sticks) and universal tool attachments (fittings) for live working. (Solo para los hidroelevar de 15 metros).
Sistema de comando tipo Joystick: cotizar separadamente, como Opcional.
Sistema de emergencia de 12 V DC, como Opcional.
Señalizador acústico de marcha atrás.
Plazo de garantía: 12 meses
Servicio de Post Venta en Buenos Aires.

4) Aislamiento

Clase A o B

- Paragolpes basculante con retención a resorte (Fig. 2 d).

La ET de las bauleras detalla: tipo y material del sobre chasis, pisos, paragolpes trasero, compartimientos y armarios, puertas, bisagras, cerraduras, sistemas de trabas, paneles, acabado y pintura, sistemas eléctricos, balizas, toma de 12V, señalizador acústico de marcha atrás y placa de identificación.

Se agregaron algunas características especiales tales como:

- Traba de puertas unificada para todos los compartimentos (Fig. 2 a)
- Balizas tipo leds (Fig. 2b),
- Soportes para conos (Fig. 2 c).



2. Licitación

Completada la Especificación Técnica se procedió al llamado a Licitación Pública bajo las condiciones de la Ley de Compre Nacional, con doble sobre: uno para la oferta económica y otro para la técnica.

3. Análisis de Antecedentes

Se realizó un análisis de los antecedentes que poseían los equipos de cada marca, no solo requiriendo las listas de ventas y destinos de las mismas de cada fabricante, sino también consultando al área de Transporte de Edenor por los resultados de los equipos hidroelevadores (no aislados) existentes en la empresa y a empresas colegas que poseían hidroelevadores de las mismas marcas o modelos.

Este trabajo permitió conocer detalles de fallas que se habían presentado sobre hidroelevadores y realizar las consultas a los fabricantes acerca de los motivos de las mismas y los procedimientos que se habían dispuesto evitar su repetición.

4. Evaluación Técnica de Ofertas

Recibidas las ofertas en el área de TCT se realizó la evaluación técnica de las mismas.

En esta etapa se verificó el cumplimiento por parte de los equipos ofertados de cada uno de los requisitos obligatorios y se preparó una planilla de evaluación técnica que cuenta con una fórmula que adjudica un % ponderado a cada uno de los ítems de acuerdo a su importancia relativa hacia el conjunto.

Esto permitió obtener una evaluación final basada no solo en el cumplimiento de las características exigibles sino que también nos permitió comparar técnicamente las ofertas recibidas.

5. Resultados

La siguiente es la tabla de resultados de la evaluación técnica, en la cual se han retirado las marcas y modelos que individualizan los equipos:

Licitación. Evaluación Técnica ofertas Hidroelevadores					
Hidroelevador Articulado 13 m					
Marca	1	2	3	4	5
Puntaje	-	96,5	93,75	74	92
Calificación	No cotiza	APTO	APTO	NO APTO	APTO
Hidroelevador Articulado 15 m					
Marca	1	2	3	4	5
Puntaje	97,3	82,5	98,75	71	97,5
Calificación	APTO	NO APTO	APTO	NO APTO	APTO
Hidroelevador Overcenter 15,5 m					
Marca	1	2	3	4	5
Puntaje	97	85,5	93,75	71,75	-
Calificación	APTO	NO APTO	APTO	NO APTO	No cotiza

La calificación de NO APTO solo fue considerada en los casos que los equipos no cumplían características técnicas exigibles y obligatorias, por lo tanto, todos los equipos que las cumplieron recibieron el APTO Técnico que los habilitaba a competir por precio.

El puntaje sería definitorio en caso de precios similares.

Se observa que todas las ofertas consideradas aptas recibieron puntajes superiores a 90 puntos sobre 100 lo cual demuestra la calidad de los equipos aceptados.

9. Adjudicación

Finalmente, una vez realizada la Evaluación de las ofertas técnicas, el Área de Abastecimientos realizó la apertura de los sobres con las ofertas económicas, resultando adjudicada la firma Axion de los 4 equipos articulados y la firma Altec (Igarreta) del equipo overcenter.

10. Especificación de detalle

Un aprendizaje muy importante durante el proceso fue que el trabajo no termina con una buena especificación y evaluación de las ofertas, sino que recién comienza.

En esto cabe destacar la excelente predisposición mostrada por las empresas adjudicatarias, que pusieron todos sus equipos de trabajo a disposición para cerrar las especificaciones de detalle en relación a:

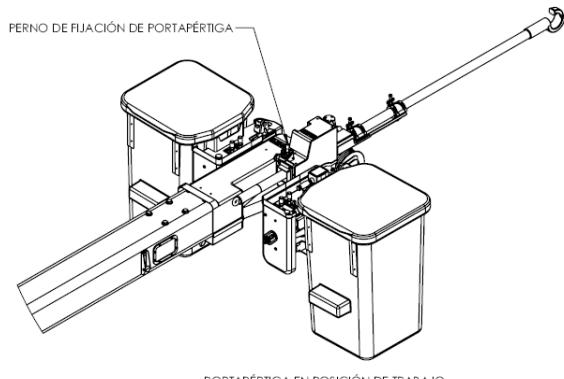
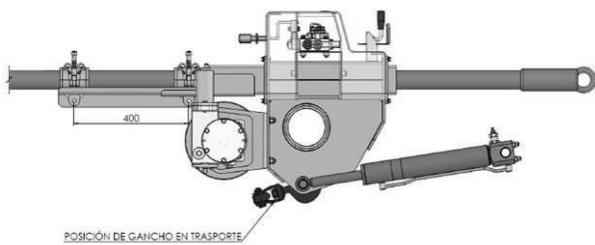
- Las plumas aisladas
- La elección de los camiones
- Las bauleras

Muchos puntos debieron ser profundamente analizados dado que la especificación general define parámetros, pero los mismos pueden cumplirse con diversas disposiciones.

Un ejemplo de esto es la ubicación y tipo de brazo auxiliar (jib), que permite el izado de cargas.

Alguno de los trabajos con tensión suelen requerir contar con un brazo auxiliar aislado para sostén de ménsulas auxiliares o los conductores propiamente dichos.

Para ello se trabajó en conjunto con el fabricante para el diseño de un sistema que permitiera la adaptación al jib del hidroelevaror del brazo auxiliar (diseño especial de Edenor) compuesto por un conjunto de abrazaderas y pértega marca Chance:



Las patas estabilizadoras también fueron objeto de análisis, ya que al ser el ámbito de trabajo de Edenor zonas muy urbanizadas, con gran caudal de tráfico automotor y calles estrechas, era necesario que los estabilizadores pudieran soportar adecuadamente todos los movimientos de barquilla sin alcanzar una extensión lateral demasiado amplia.



Esto se logró utilizando estabilizadores en "X" en vez de en "A".

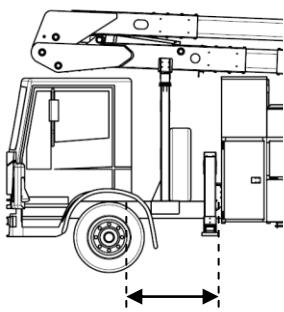
En cuanto a la elección de los camiones a adquirir para realizar el montaje de las plumas, los proveedores recomendaron diversas marcas y modelos que podían ser aptos y Edenor realizó una licitación para la adquisición de los mismos.

En este sentido, queremos transmitir una la experiencia respecto a una particularidad del mercado argentino de camiones que reside en la escasa oferta, limitándose prácticamente en muchas de las marcas a modelos del tipo "frontal". Estos camiones suelen tener mejor precio que aquellos con trompa (una sola opción en el mercado), por lo cual ganaron la licitación.

Al momento de comenzar a realizar los planos de detalle del montaje, nos encontramos con que los camiones frontales poseen algunas desventajas para ser utilizados con soporte de plumas de hidroelevadores, a saber:

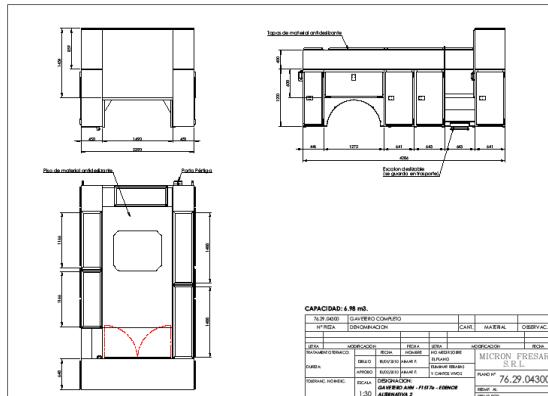
- El acceso al motor se realiza únicamente levantando la cabina: al estar apoyada la pluma sobre la misma, en caso de no funcionar el motor es imprescindible contar con una bomba eléctrica auxiliar que permita operar el sistema hidráulico para levantar la pluma dando acceso al movimiento de cabina para llegar al motor.
- Los tanques de aire comprimido, gasoil y agua del camión se ubican por detrás de la cabina, obligando a su reubicación o incluso a comenzar a realizar el montaje de la caja del hidroelevador

teniendo que dejar hasta 1,5 metros entre la cabina y la caja, lo que aumenta el largo total del vehículo (lo que se gana en falta de trompa se pierde atrás, no lográndose el vehículo compacto buscado).



Espacio perdido por ubicación de tanques

El conjunto de bauleras, pese a ser elementos complementarios, son muy importantes ya que con un volumen adecuado pueden permitir que la cuadrilla movilice la totalidad del equipamiento y los materiales en el mismo hidroelevador ahorrando un vehículo de apoyo.



El diseño de las bauleras fue cuidadosamente estudiado ya que salía fuera de lo común por la requisitoria de volumen de guardado de 7 m³, lo que implicaba armarios compartimentados de doble altura montados a lo largo de todo el perímetro de la caja y teniendo en cuenta una doble altura de cajoneras y un baúl ubicado a espaldas de la cabina del camión.

Aprobación previa

Una vez acordadas todas las especificaciones de detalle y planos de disposición de la pluma y bauleras sobre el chasis, Edenor brindó la aprobación para comenzar las tareas de montaje.

En el caso del overcenter el proveedor incluyó la invitación a un representante de Edenor para realizar el chequeo de la pluma y todos sus componentes en la fábrica de Altec de USA, previo al despacho hacia nuestro país.

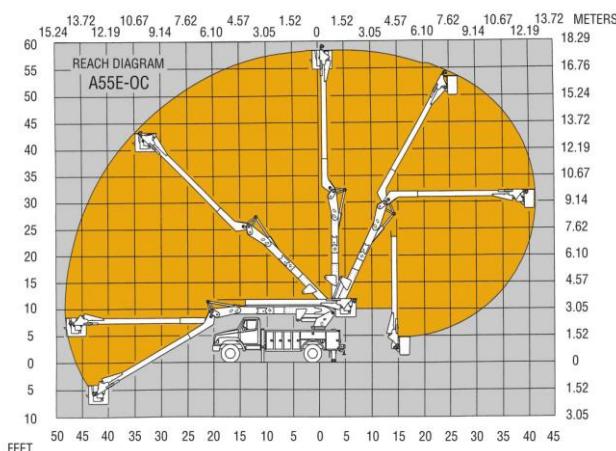


Diagrama de alcances Overcenter Altec

Esta visita no solo nos permitió conocer una de las fábricas más grandes del mundo de hidroelevadores sino que también resultó muy beneficiosa para obtener información técnica sobre distintas tipologías y tecnologías de última generación aplicadas a hidroelevadores que



serán tenidas en cuenta en futuras especificaciones.

El representante local también se vio beneficiado ya que en la inspección de componentes se detectó la falta de ciertas piezas accesorias y, lo más importante, que las patas estabilizadoras traseras que iban a ser enviadas eran del con zapatas fijas en vez de ser móviles y por lo tanto no se correspondían con lo solicitado en la Especificación Técnica.

Por lo tanto la visita no solo ahorró costos de fletes sino también las pérdidas de tiempo que hubiera implicado el rechazo de las patas estabilizadoras una vez que las mismas estuvieran en Buenos Aires.

Posteriormente y ya durante la etapa de montaje se continuaron realizando visitas a fines de monitorear y tomar decisiones sobre detalles específicos.



Visita montaje hidroelevador Altec en Igarreta

De la misma manera, la firma Axion incluyó la invitación a representantes de Edenor para realizar reuniones de verificación de los diseños de la pluma, sus componentes y las bauleras de los 4 hidroelevadores articulados convencionales.



Visita planta de hidroelevadores Axion



Reuniones de trabajo en planta de hidroelevadores Axion

11. Ensayos de recepción

Los ensayos de recepción se realizaron de acuerdo a las exigencias de la Norma ANSI 92.2 versión 2009.

Los mismos consistieron en realizar pruebas de:

A) Estabilidad

Estabilidad en superficie nivelada

En la posición que el equipo produce el máximo momento de vuelco se realizaron pruebas con una carga estática igual a 1,5 veces la carga nominal de las plataformas. En el caso de los equipos que poseen jib se aplicó simultáneamente una carga suplementaria del 50%.

Estabilidad sobre pendientes

Sobre una plataforma desnivelada con una pendiente de 5% se aplicó una carga 1,33 veces la carga nominal de las plataformas. También en los equipos que poseen jib se aplicó simultáneamente una carga suplementaria del 33%.



Ensayo de recepción en fábrica del hidroelevador Axion 15 m

Es importante destacar que las pruebas se realizan sin la utilización de herramientas portátiles y utilizando los estabilizadores de apoyo.

Si durante el ensayo de estabilidad se produce el levantamiento de un neumático o estabilizador del lado opuesto al de la carga, esto no significa necesariamente una condición de inestabilidad.

B) Eléctricos

Se realizaron en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) tomando como referencia lo indicado en la Norma ANSI 92.2 versión 2009 para Diseño, control de calidad calificación de hidroelevadores Categoría "A" y "B".

Dichos ensayos consisten en:

Ensayo a tensión de trabajo

Aplicar tensión eléctrica eficaz de 40 kV (Tensión de diseño = 69 kV/1,732) en corriente alterna de 50-60 Hz durante 1 minuto; verificando que la corriente de fuga no supere 40 micro Amper.



Ensayo dieléctrico en INTI

operación y el ensayo de rigidez dieléctrica de los brazos aislados en el Laboratorio oficial del INTI.

La Comisión de Higiene y Seguridad del Sindicato de Luz y Fuerza fue invitada a participar de los ensayos.

Junto con la recepción de los hidroelevadores, la empresa proveedora efectuó sendos cursos de capacitación al personal que se encargará de la operación de los mismos.



Ensayo a tensión del doble de la de trabajo

Aplicar una tensión eléctrica eficaz de 80 kV en corriente alterna de 50-60 Hz durante 1 minuto; verificando que la corriente de fuga no supere los 80 micro Amper.

Estos ensayos son muy importantes porque además de evaluar el nivel de aislación del brazo aislante, permiten contrastar las mediciones que se realizan con el micro amperímetro de control diario.



Contraste del micro amperímetro de control diario en el INTI



Curso de capacitación en operación del hidro

Todos los equipos vienen provistos de sus correspondientes manuales de operación y mantenimiento redactados en idioma castellano.

Por otra parte se ha exigido al proveedor el cumplimiento de una garantía de fabricación por el periodo de un año. También se convino que, dado que la fábrica se encuentra en San Francisco, Córdoba (a aproximadamente 500 km de Edenor) el servicio post-venta fuera ampliado con atención en Buenos Aires, la cual será provista por la firma Hidro Truck, taller que tiene a su cargo el mantenimiento de la flota global de hidroelevadores perteneciente a Edenor.

Por ello, se solicitó al proveedor la realización de una instrucción sobre el mantenimiento preventivo y correctivo que puedan requerir los equipos de su marca a este taller.

Una vez asignadas las nuevas unidades a los distintos equipos de trabajo, se realizaron jornadas

12. Entrega y curso de capacitación

A la fecha de la preparación de este trabajo ya se ha realizado la recepción final de los 4 hidroelevadores articulados marca Axion.

Los mismos fueron recepcionados en Edenor tras haber superado los ensayos y pruebas finales de

de intercambio de opiniones con los distintos usuarios de modo de recoger las inquietudes y experiencia recogida por los mismos durante el los trabajos diarios.

13. Conclusiones

El aprovechamiento de las experiencias descriptas ha permitido mejorar, consolidar y estandarizar en todas sus etapas el proceso de Especificación, Licitación, Evaluación Técnica de Ofertas y Compra de hidroelevadores aislados.

14. Lecciones Aprendidas

El proceso de compra de hidroelevadores y la interacción con distintos proveedores nos permitió conocer distintas alternativas de equipamiento en hidroelevadores a las existentes en Edenor hasta ese momento.

La adquisición de nuevos tipos de hidroelevadores diferentes a los existentes permite la implementación de nuevas prácticas y soluciones para los desafíos que presentan las diferentes configuraciones de redes dentro de nuestra compañía.

15. Recomendaciones

La puesta en práctica y la experiencia recogida en este proceso de compra y selección de hidroelevadores tiene similitudes con los procesos de compra de otros tipos de equipamientos o herramientas, por lo cual muchas de las ideas o caminos de acción implementados en este proceso han podido ser replicadas en compras posteriores.

Restricciones a los TCT impuestas por el número de aisladores dañados en las cadenas de Líneas de Trasmisión

Carlos Alonso y Carlos Curbelo

UTE

ccurbelo@ute.com.uy

RESUMEN

En el presente trabajo se exemplifica el cálculo del número admisible de aisladores rotos en cadenas de líneas de 132 kV, 150 kV y 500 kV, vinculado a las sobretensiones de maniobra esperables sobre las mismas, de acuerdo a la norma IEC 61472, 2004, comentándose los criterios adoptados para dicho cálculo.

Los métodos de TCT, contemplados en el estudio, son aquéllos que mantienen a los operarios y objetos conductores de modo que no se ubiquen a lo largo de las cadenas. Como ejemplos de los casos abarcados, se tiene los trabajos a distancia en cadenas de suspensión, las inspecciones de torres, y TCT en torres con dobles ternas cuando se trabaja en una de ellas sin afectar a la otra.

El riesgo que se maneja para los trabajadores es para aquellos que estando en cercanías de una cadena, que en ese momento ocurra un arco en la misma. Los daños esperados al trabajador, en tal caso, serían todos aquellos que deriven de la ocurrencia de un arco en su cercanía.

Se manejan las probabilidades de ocurrencia de arco, admitidas en la norma IEC 61472, a la hora de realizar un trabajo TCT.

Los principales resultados obtenidos, para su aplicación en UTE, son:

- debe modificarse la manera de realizar el conteo de los aisladores sanos, centrándose exclusivamente en la parte activa de la cadena (la porción entre cuernos, raquetas o aros)
- los aisladores cubiertos por los cuernos, raquetas o aros, no deben ser contados y pueden ser cortocircuitados durante la realización del TCT
- para las cadenas usuales de 150 kV, en general se requiere 7 aisladores sanos fuera de los cuernos (es la misma cantidad con la que se venía trabajando, con la salvedad de que ahora deben situarse en una ubicación preferencial dentro de la cadena)
- en el caso de las cadenas de 500 kV, debe aumentarse el número de aisladores sanos exigido, a 19 o más, según el caso

INTRODUCCIÓN

La realización de un trabajo, en la modalidad de TCT, se efectúa condicionada a la verificación de determinados requisitos mínimos en cuanto a las condiciones físicas del entorno donde se realizará el mismo, y operativas del equipamiento sobre el cual se realizará la intervención.

En particular, al trabajar sobre líneas de trasmisión, se exige la existencia de una fracción mínima de las cadenas de aislación en buen estado. En UTE se han empleado diversos criterios, de los cuales el que se aplica en la actualidad es el de admitir hasta alrededor de un tercio de los aisladores dañados, sin efectuar consideraciones especiales para el conteo debido a la existencia o no de cuernos, raquetas o aros normalizadores de campo.

Paralelamente, se tiene que las tareas de mantenimiento de aisladores (cambio de aisladores) tienen el objetivo de evitar las salidas de servicio intempestivas de las líneas, debidas a fallas de la aislación. Los criterios para definir cuántos aisladores dañados se admiten para este propósito pueden no coincidir con los empleados para los TCT, sin embargo, la tendencia actual es que estas tareas cada vez más sean efectuadas bajo la modalidad de TCT, con lo cual resulta de interés definir objetivamente el número de aisladores sanos requerido para efectuar dichos trabajos en forma segura.

Los factores de daño resultantes de esta coordinación, a su vez son insumos para el cálculo de las distancias de aproximación para los TCT que se efectúen a lo largo de las cadenas dañadas, cuando se usa la norma IEC 61472, 2004.

Habiéndose analizado la norma IEC 61472, 2004, y las normas IEEE 516 versiones 2003 y 2009, se tiene que la norma IEEE 516 no es explícita en cuanto a sus hipótesis en relación al grado de daño considerado para los aisladores (si bien se entiende que una de las tareas de TCT habría de ser el cambio de aisladores por encontrarse dañados, las tablas de distancias indican que fueron calculadas para aire no contaminado y aisladores limpios y secos), mientras que la norma IEC 61472, 2004 presenta una propuesta para el cálculo de la

longitud de aislación requerida en presencia de aisladores dañados.

En el presente trabajo se comenta los criterios adoptados para dicho cálculo, bajo la norma IEC 61472, 2004, y se exemplifica el mismo para un grupo de cadenas de interés en 132 kV, 150 kV y 500 kV, cuando se efectúa TCT de modo que los operarios y objetos conductores no se ubican a lo largo de las cadenas.

Metodología usada

La esencia del análisis consiste en calcular la longitud de aislación D_u requerida por la norma IEC 61472, 2004, y compararla con la longitud de aislación disponible (entre electrodos) para el caso bajo estudio. El TCT es realizable cuando se cuenta con una longitud de aislación (física, real) mayor que la requerida por la norma.

En UTE, para cada tipo de cadena, se relevó todas las configuraciones de las líneas de 150 kV, así como las configuraciones más exigidas de las líneas de 500 kV. La longitud de aislación necesaria, para cada una de las configuraciones anteriores, se determinó considerando el efecto de los cuernos, aros y raquetas, así como el grado de daño de la porción de aislación activa de la cadena (ver el siguiente punto para precisiones sobre estos aspectos). Comparando estas longitudes de aislación necesarias con las que realmente se tiene disponibles (en la cadena física), se determinó la cantidad de aisladores sanos necesarios para realizar el TCT, de acuerdo al procedimiento de trabajo a ser usado.

Observación 1: se destaca que cuando se cuenta con un caso válido, por tener una longitud de aislación requerida por la norma menor que la longitud de aislación física dañada, no debe extrapolarse directamente esta longitud de aislación requerida a efectos de validar otras configuraciones de cadenas dañadas, ya que dentro de las hipótesis de cálculo de la longitud requerida figuran las relativas a la configuración física particular de cada cadena dañada (concretamente, la fracción de aislación dañada y la ubicación relativa de cuernos, raquetas y aros).

Cada cadena dañada debe ser analizada individualmente.

Observación 2: el presente trabajo supone que los TCT se realizan de modo que los operarios u

objetos conductores no se mueven a lo largo de las cadenas (en forma adyacente a ellas).

En ocasión de trabajos tales que puedan posicionar electrodos, conectados a tierra o a potencial, a lo largo de la cadena (como puede ser cuando se cortocircuita el primer aislador) el análisis debe contemplar la reducción de la longitud de aislación disponible que provocaría tal circunstancia (la longitud de aislación disponible debe ser medida entre los extremos de los electrodos de tierra y de fase desplazados al costado de la cadena). En el siguiente punto se profundiza sobre este aspecto.

Conceptos y criterios asociados a la norma

- **Porción "activa" de la cadena y grado de deterioro de la aislación**

A efectos de evaluar el factor de la cadena de aisladores, ki , que cuantifica el deterioro de la aislación, la norma mide la proporción de aisladores dañados exclusivamente en relación a aquéllos que efectivamente soportan la tensión aplicada: se considera que los aisladores que se encuentran puenteados por cuernos de descarga, raquetas o anillos normalizadores no contribuyen significativamente a la resistencia eléctrica (soportabilidad) de la cadena, con lo cual la porción de aislación "activa" de la cadena es aquella parte que no tiene aisladores puenteados, y consta de no elementos.

Estos aisladores, del tramo "activo" de la cadena, pueden estar tanto sanos como dañados, y en ambos casos se consideran activos porque contribuyen a la aislación. Aunque un aislador se encuentre dañado, todavía mantiene parte de su capacidad aislante. Esta porción de aislación, aportada por el aislador dañado, es función del material con el cual es construido (vidrio o porcelana), y es tenida en cuenta (cuantificada) de acuerdo a la norma.

El número de elementos dañados relevante para el análisis, nd , es el de los aisladores dañados de la porción "activa" de la cadena. Los deterioros en las zonas puenteadas por cuernos, raquetas o aros son menos importantes y estos elementos pueden ser cortocircuitados durante la realización del TCT.

Se destaca que las definiciones anteriores otorgan diferente grado de relevancia a la ubicación del daño, por lo cual al contabilizar los aisladores dañados solo debe considerarse el tramo activo de la cadena.

La norma propone una fórmula de cálculo para el factor de la cadena de aisladores (ki), para cadenas de porcelana o vidrio, en función de la proporción nd/no (proporción de aisladores dañados dentro del tramo "activo" de la cadena).

En la siguiente figura se ilustra los conceptos anteriores, para una cadena de suspensión de 10 aisladores en total, con cuernos que puentean parcialmente los aisladores de los extremos y tres aisladores dañados dentro de la porción "activa" de la cadena:

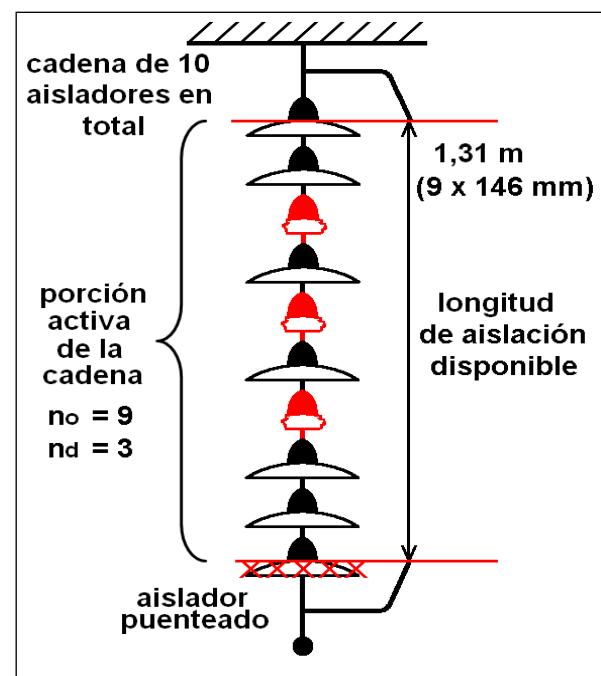


Figura 1 - Cadena de 10 aisladores, uno puenteado por los cuernos y tres dañados

- **Longitud de aislación disponible**

Es la longitud del tramo "activo" de la cadena (el cual se constituye tanto por aisladores sanos como dañados). Coincide con la longitud total de la cadena cuando no hay cuernos, aros ni raquetas. En presencia de cuernos, aros o raquetas, la ubicación relativa de estos elementos determina la longitud disponible (es la longitud entre el electrodo puesto a tierra y el electrodo conectado a la fase).

- **Factor de seguridad K_s**

A efectos del cálculo de la longitud de aislación (Du), la norma considera un factor de seguridad (Ks) y recomienda tomar el valor de Ks = 1.1 para tener un riesgo global de perforación de la aislación coherente con otros trabajos eléctricos.

La norma habilita a reducir el factor de seguridad K_s a 1.0, al momento de determinar una distancia de aproximación durante la ejecución de un TCT, pero solo si se incluye una distancia ergonómica suficientemente grande, que asegure que la distancia de aproximación obtenida de este modo sea mayor que la longitud de aislación para $K_s = 1.1$. Tal posibilidad de reducción de K_s se fundamenta en la improbabilidad de que se dé una sobretensión al mismo tiempo que se sobreponga la distancia ergonómica por parte del trabajador.

La siguiente figura ilustra la situación:

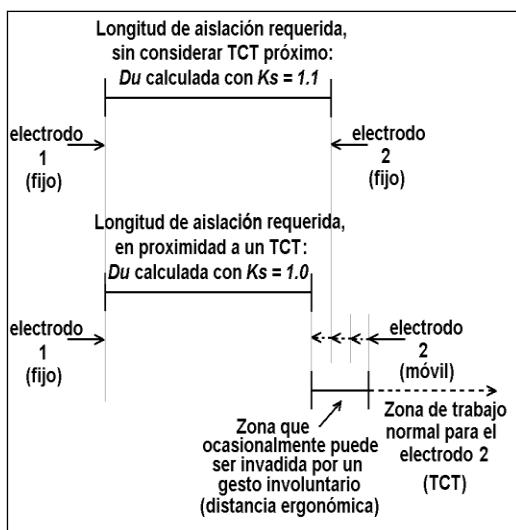


Figura 2 - Reducción de K_s cuando la distancia ergonómica asegura superar la longitud de aislación calculada para $K_s = 1.1$.

- Factor de seguridad (Ks) en el presente estudio

Al momento de realizar un TCT, interesa garantizar que sobre ninguna cadena dañada del sitio de trabajo ocurra un contorneo.

Por un lado, se tiene las cadenas adyacentes al trabajo TCT (de otras fases por ejemplo), donde no se va a realizar el TCT, sobre las cuales no corresponde considerar una distancia ergonómica, ya que las longitudes de aislación

entre fase y tierra no se ven afectadas por los movimientos involuntarios de los operarios.

Por otro lado, se tienen las cadenas donde se está realizando el TCT. En este estudio se va a considerar solo aquellos trabajos donde los trabajadores se mantienen suficientemente alejados de las cadenas como para no ubicarse adyacentes a su aislación, y tampoco colocan elementos conductores adyacentes a esta última (ni siquiera en caso de consumir toda la distancia ergonómica), por lo cual las longitudes de aislación disponibles no son afectadas por las acciones de los mismos (como por ejemplo los trabajos a distancia en 150 kV en cadenas de suspensión).

En los dos casos anteriores, las acciones de los trabajadores no inciden y se está en presencia de electrodos fijos, por lo que no se puede hacer una reducción del factor de seguridad K_s basada en la consideración de una distancia ergonómica.

Por lo tanto, se usará el factor de seguridad pleno sugerido por la norma. $K_s = 1.1$.

- Observación 3: Longitud de aislación disponible y factor de seguridad (Ks) cuando los operarios u objetos conductores pueden moverse a lo largo de las cadenas

Como ya fue indicado, esta situación no es alcanzada por el presente trabajo. Sin embargo, ha sido analizada en UTE, debido a la existencia de trabajos con tensión bajo tales condiciones.

En estos casos, debe considerarse la reducción de la longitud de aislación disponible y la modificación del factor de seguridad (y también la modificación de la proporción nd/no), como consecuencia de la incorporación de una distancia ergonómica.

En la siguiente Figura 3 se muestra cómo quedaría la longitud de aislación disponible en caso de que se trabajara cortocircuitando el primer aislador, contra la torre, para la misma cadena de la Figura 1:

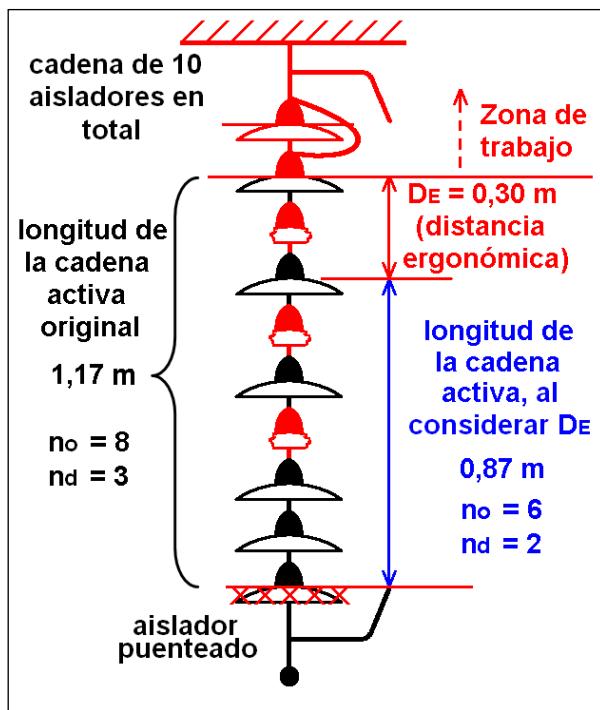


Figura 3 - Cadena de 10 aisladores, TCT cortocircuitando el aislador superior, cuernos puenteando el aislador inferior y tres aisladores dañados en total

Al electrodo del cortocircitador (o descargador de estática), movido por el operario (puesto a tierra en este ejemplo), se le da el mismo tratamiento que la norma le da a los cuernos: se considera que apantalla a todos los aisladores a lo largo de los cuales puede llegar a moverse (en forma voluntaria o no). Por lo tanto, el factor de cadena (k_i) se calcula en relación a los aisladores remanentes (sin puenteear).

La distancia ergonómica (DE) mostrada en la figura es la usada en UTE. Se distingue entonces, para el cálculo, entre la situación sin la incorporación de la distancia ergonómica (con $K_s = 1.1$, $no = 8$ y $nd = 3$) y con la incorporación de la distancia ergonómica (con $K_s = 1.0$, $no = 6$ y $nd = 2$). Si ambas situaciones son admisibles, el TCT es admisible con este método.

- Factor de espacio libre (gap) kg

Este factor refleja la configuración (geometría) entre el conductor vivo y las estructuras metálicas que lo rodean. La norma sugiere usar como valor general y conservador el de $kg = 1.2$, para el cálculo de las distancias requeridas entre fase y tierra. Para las líneas de 132 kV y 150 kV, donde existen varias configuraciones posibles para las fases, se usará siempre el valor sugerido.

Para las líneas de 500 kV, donde siempre se tiene una disposición horizontal de las fases, se distinguirá entre la fase central, que cruza a la torre por una ventana, y las fases exteriores, adoptando los valores de kg típicos indicados en la Tabla D.1 de la norma ($kg = 1.25$ o 1.45 , respectivamente). De este modo se logaría habilitar TCT sobre las fases laterales exigiendo menos cantidad de aisladores sanos que sobre la fase central.

Casos de ejemplo: hipótesis

Se exemplificará el cálculo sobre tres cadenas de suspensión seleccionadas. Los casos considerados y sus hipótesis se resumen en la siguiente tabla:

Casos de ejemplo				
Tensión nominal U_n [kV]	132	132	150	500
Tensión máxima de servicio U_s [kV]	145	145	165	525 o 550
Sobretensión máxima AEA u_{e2} [p.u.]	2.3	2.3	2.3	1.8
Sobretensión máxima UTE u_{e2} [p.u.]	3.0	3.0	3.0	2.4
Aisladores en total (nt)	9	10	10	26
Aisladores puenteados (np)	1 o 2	1 o 2	1 o 2	2
Aisladores activos (no)	8 o 7	9 u 8	9 u 8	24
Longitud de aislación disponible [m]	1.17 o 1.02	1.31 o 1.17	1.31 o 1.17	3.50
Material aisladores	vidrio o porcelana	vidrio o porcelana	vidrio o porcelana	Vidri o
Factor de espacio libre (kg)	1.20	1.20	1.20	1.25 o 1.45

Tabla 1 - Hipótesis para los casos usados como ejemplos.

Para 500 kV se distingue entre dos posibles tensiones máximas de servicio, que corresponden a la tensión máxima de operación actual en UTE (525 kV), y a la tensión máxima a la que se podrá operar las instalaciones futuras

que se incorporarán al sistema interconectado uruguayo (550 kV).

En cuanto a las sobretensiones máximas usadas por UTE, se hace referencia las que se han usado para planificar TCT hasta el presente, las cuales surgen de ser las indicadas como máximas históricas por la norma IEEE 516. En este momento, debido a la incorporación de generación distribuida en circuitos radiales largos, se prevé efectuar el cálculo de las sobretensiones en tales circunstancias, a efectos de establecer más fehacientemente los valores de las sobretensiones desarrolladas en esos casos.

Observación 3: la definición de la tensión base para el cálculo de la sobretensión u_{e2} merece algunas precisiones. La norma toma como base a la tensión máxima de servicio, U_s . Esta convención es la adoptada en el presente trabajo. Los valores típicos (de referencia) indicados en la norma, también deben ser interpretados de esta misma manera. Sin embargo, debe prestarse atención al considerar un valor de sobretensión que pueda provenir de un análisis en el cual se use como tensión base a la tensión nominal (como es usual en los estudios de transitorios de maniobra), y efectuar el cambio de base en caso de ser necesario.

Hipótesis para los aisladores:

- Material: vidrio o porcelana
- $k_d = 1.00$ para el vidrio (sugerido por la norma)
- $k_d = 0.75$ para la porcelana (sugerido por la norma)
- Altura de cada aislador: 14.6 mm

Hipótesis para los cuernos:

- Cada cuerno puentea a lo sumo un aislador.
- Casos con un aislador puenteado: El cuerno del lado frío puentea la caperuza, y el del lado vivo puentea el aislante. Se considera que solo deja de ser activo el aislador del lado vivo, y la longitud de aislación activa disponible se reduce en la longitud de un aislador con respecto a la cadena total.
- Casos con dos aisladores puenteados: Los cuernos puentean por completo los aisladores de ambos extremos.

En cuanto al resto de los parámetros requeridos para el cálculo, se tomará:

- $k_s = 0.936$ (sugerido por la norma)

- $k_a = 1.00$ (altura al nivel del mar)
- $k_f = 1.00$ (por la aplicación, $F = 0$)

Casos de ejemplo: cálculos

La longitud de aislación requerida por la norma (D_u) es una función exponencial, creciente con la tensión (sobretensión). Esta longitud, para la cadena sana, no depende del material de los aisladores.

La consideración del deterioro de la aislación se efectúa incrementando la longitud necesaria de acuerdo al factor de la cadena de aisladores, k_i . Este factor varía de acuerdo al material usado.

Se puede graficar la longitud de aislación requerida, en función de las sobretensiones de maniobra esperadas, junto con la longitud de aislación disponible, y la zona donde la primera es menor que la segunda, es donde es posible realizar el TCT.

Graficando las curvas de longitud de aislación requerida en forma paramétrica en la proporción de aisladores dañados, se puede vincular la cantidad de aisladores sanos requeridos con las sobretensiones de maniobra.

Como ejemplo, para una cadena de 10 aisladores de vidrio, trabajando a 150 kV, con un aislador puenteado por los cuernos ($n_0 = 9$), se obtiene la siguiente gráfica que ilustra la longitud de aislación requerida entre fase y tierra, en función de las sobretensiones de maniobra esperadas, para distinto número de aisladores dañados dentro del tramo activo (n_d paramétrico, con $n_d = 0$ para la cadena sana), y se compara contra la longitud de aislación disponible (recta horizontal):

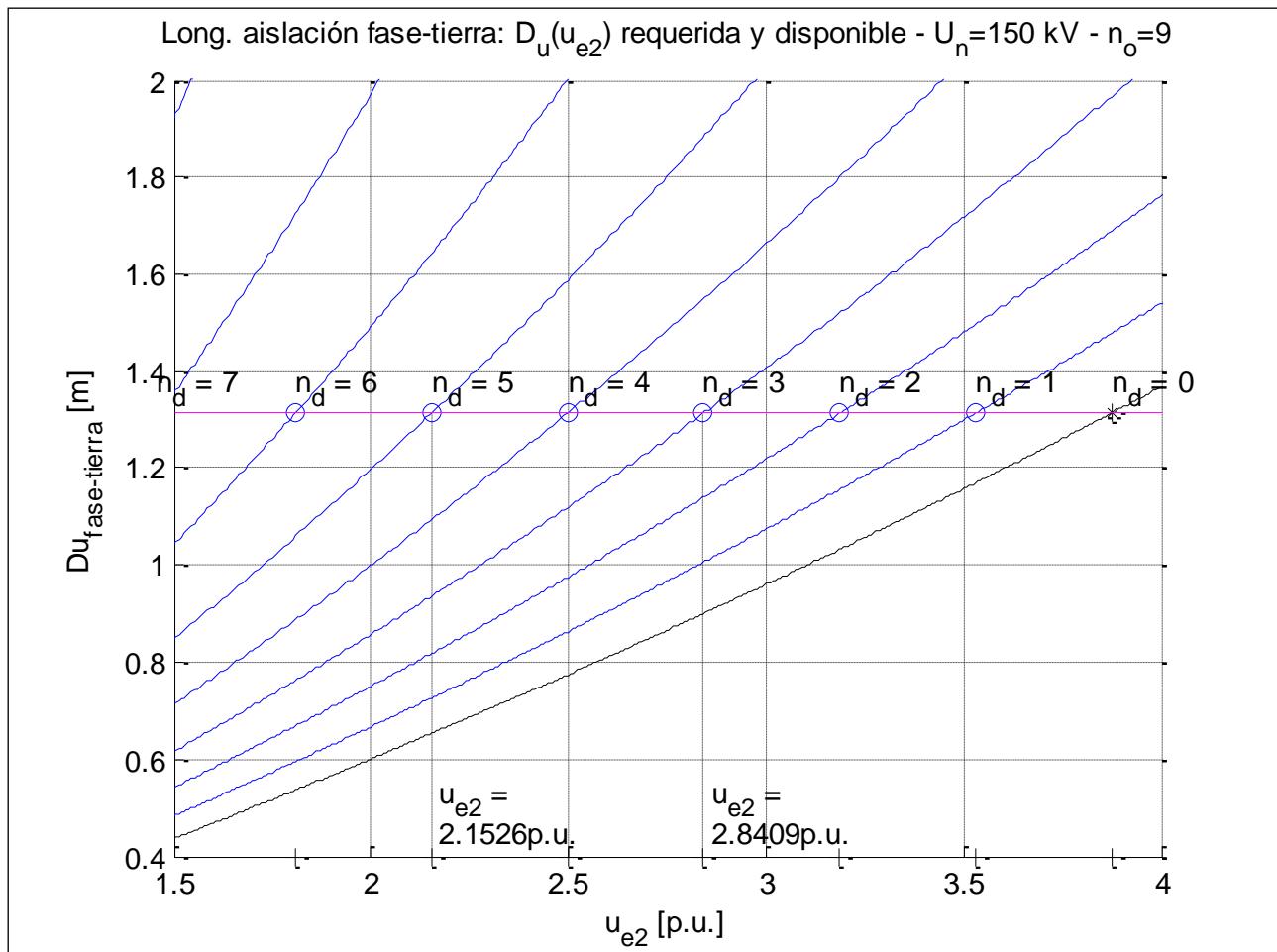


Figura 4 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 10 aisladores de vidrio en 150 kV, con uno puenteado por los cuernos.

Puede observarse que las curvas de aislación requerida son cada vez más empinadas cuanto más aisladores dañados haya, y también se observa el efecto del crecimiento exponencial frente al aumento de las sobretensiones. Los valores de las sobretensiones donde las curvas de aislación requerida se intersectan con la recta de aislación disponible (que es fija, dada por la disposición física de los cuernos), son las máximas sobretensiones admisibles para realizar el TCT, en cada caso.

Todas las curvas de aislación requerida pasan por cero, y a más aisladores dañados, debe trabajarse con menos sobretensiones.

El acceso a la información de la gráfica puede efectuarse de dos maneras:

1) Si se tiene determinado el número de aisladores dañados, y se busca establecer la máxima sobretensión a la cual se puede realizar un TCT en tales condiciones:

El valor máximo (límite) de sobretensión surge de la intersección de la correspondiente curva de aislación requerida con la disponible. Por ejemplo, en la Figura 4, para admitir TCT con 3 aisladores dañados, debería limitarse las sobretensiones a lo sumo a 2.84 p.u. (puede trabajarse desde sobretensiones de 2.84 p.u. hacia abajo).

2) Si se tiene determinada la máxima sobretensión que puede desarrollarse en el sitio de trabajo, y se busca establecer el número máximo de aisladores con el cual se puede realizar TCT:

Debe identificarse el nd de la primera curva de aislación requerida que corta a la recta de aislación disponible en una sobretensión (límite) inmediatamente superior a la sobretensión máxima dada (los aisladores dañados, con los que se puede trabajar, corresponden a las curvas de aislación requerida, que intersectan a la recta de aislación disponible, hacia la derecha de la sobretensión dada). Por ejemplo, en la Figura 4, en caso de que se espere que las sobretensiones sean siempre menores a 2.3 p.u., se podría trabajar hasta con 4 aisladores dañados (entre 4 y ninguno), ya que nunca se alcanzará la sobretensión límite para $nd = 4$, que es 2.50 p.u. (ni se alcanzará sobretensiones límites mayores, asociadas a nd menores).

Los valores de sobretensiones límites, requeridos para efectuar TCT, se listan en la

Tabla 2, a continuación, y se resumen en la Tabla 6, al final del siguiente punto.

Cadena de vidrio 10 aisladores en total 1 aislador puenteado por cuernos (no = 9)					
nd	0	1	2	3	4
ue2 (p.u.)	3.87	3.53	3.19	2.84	2.50
nd	5	6	7	8	(9)
ue2 (p.u.)	2.15	1.81	1.46	1.11	(0.77)

Tabla 2 - ue2(nd) límites para cadena de 10 aisladores de vidrio en 150 kV, con uno puenteado por los cuernos.

Análogamente a la gráfica anterior, pueden construirse otras variando los parámetros de interés. Para la misma cadena, pero con dos aisladores puenteados por los cuernos, se tiene:

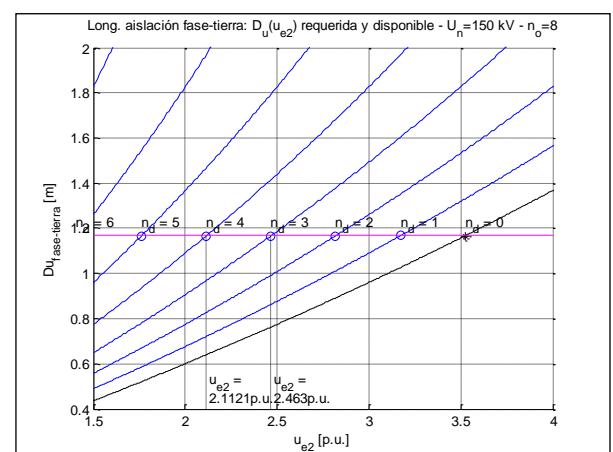


Figura 5 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 10 aisladores de vidrio en 150 kV, con dos puenteados por los cuernos.

En este caso, por tener menos aisladores activos ($no = 8$), el impacto de tener un aislador dañado es mayor, y se requiere trabajar con menores sobretensiones. Para admitir TCT con 3 aisladores dañados, debería limitarse las sobretensiones a lo sumo a 2.46 p.u.. En caso de que las sobretensiones fueran menores a 2.3 p.u., ya no se podría trabajar con 4 aisladores dañados, y el rango de trabajo sería entre 0 y 3 aisladores dañados.

La curva para aislación sana coincide con la del caso anterior, y el espacio en las sobretensiones admisibles es mayor:

Cadena de vidrio 10 aisladores en total 2 aisladores puenteados por cuernos (no = 8)					
nd	0	1	2	3	4
ue2 (p.u.)	3.52	3.17	2.81	2.46	2.11
nd	5	6	7	(8)	(9)
ue2 (p.u.)	1.76	1.40	1.05	(0.70)	(0.35)

Tabla 3 - ue2(nd) límites para cadena de 10 aisladores de vidrio en 150 kV, con dos puenteados por los cuernos.

Cuando se considera que la aislación dañada es de porcelana, las exigencias se reducen. La contribución, a la aislación, de los aisladores de

vidrio dañados, es menor que la de los de porcelana, ya que los primeros se destruyen por completo, a diferencia de los segundos que pueden mantener trozos de porcelana significativos. Usando los valores sugeridos en la norma, se concluye que se puede tener un tercio más de aislación dañada de porcelana que de vidrio (para la misma sobretensión).

La siguiente gráfica (Figura 6) muestra la comparación de resultados, entre vidrio y porcelana, para cadenas como las anteriores (10 aisladores en total, con 1 o 2 puenteados) con tres aisladores del tramo activo dañados.

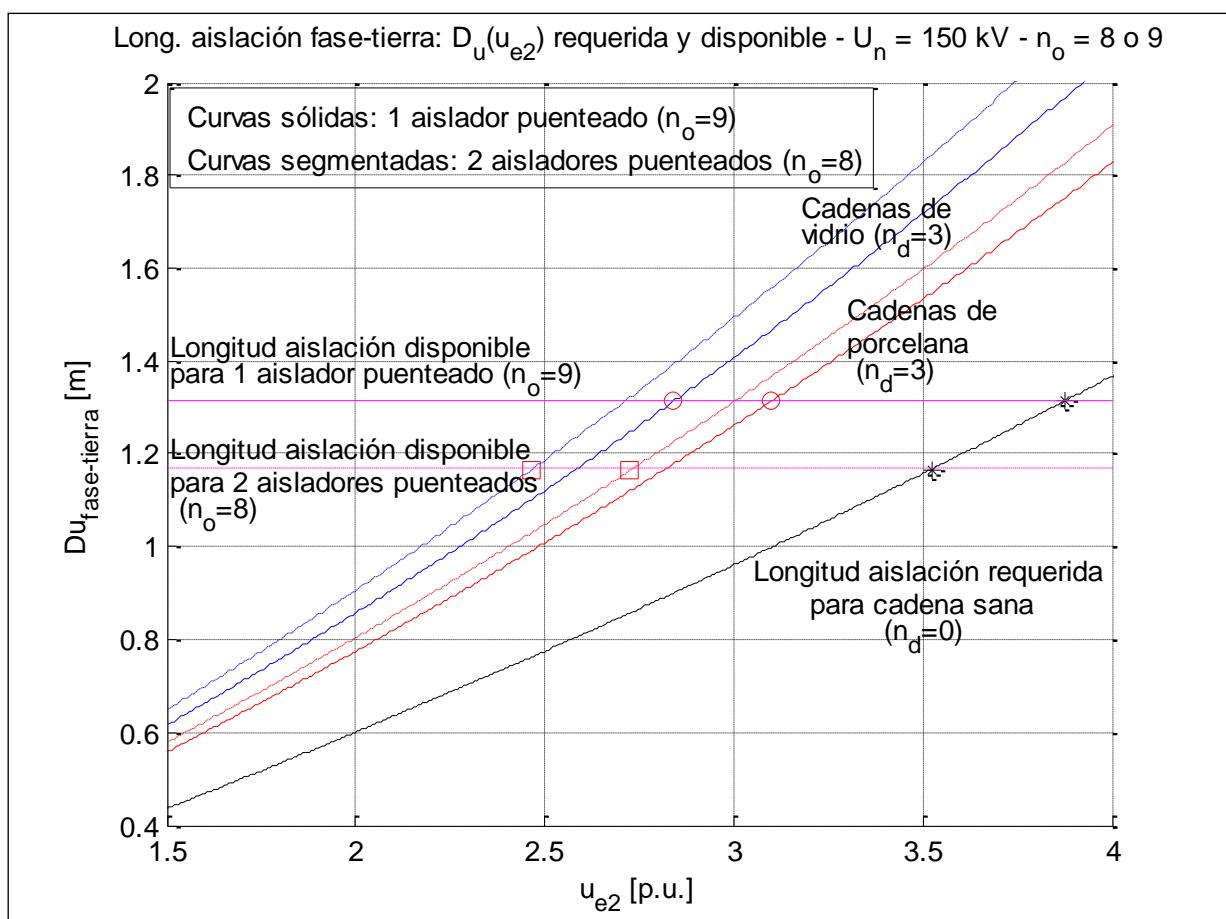


Figura 6 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 10 aisladores de vidrio en 150 kV, con uno o dos puenteados por los cuernos, y tres aisladores del tramo activo dañados.

En la Figura 6, las curvas azules (las dos superiores) corresponden a aisladores de vidrio y las rojas (las dos siguientes) a aisladores de porcelana, para $no = 9$ u 8 . Se puede ver que según se considere uno o dos aisladores puenteados, y un tipo u otro de aislación, para la misma cantidad de aisladores

dañados, se tiene que las sobretensiones requeridas varían entre 2.46 y 3.10 p.u..

Gráficas similares pueden construirse para otros niveles de tensión de operación. Para una cadena de 10 aisladores en 132 kV, como se mantiene las

mismas hipótesis que para 150 kV (exceptuando la de servicio), y en particular los números de aisladores activos considerados, valen las mismas curvas anteriores pensadas en tensiones absolutas (tienen las mismas formas), y solo corresponde realizar la corrección de la base de tensión para las sobretensiones: las sobretensiones pasan a ser las ilustradas antes pero aumentadas por el factor 165/145 (proporción entre las respectivas tensiones máximas de servicio).

En la Tabla 5, al final del siguiente punto, se presenta los valores de sobretensiones límites corregidos para 132 kV.

El caso de una cadena de 9 aisladores en 132 kV, con un aislador puenteado por los cuernos, puede derivarse del caso de 10 aisladores con dos puenteados por los cuernos (observar que los únicos parámetros relevantes para describir la cadena dañada son n_d variable y $n_o = 8$).

El caso de una cadena de 9 aisladores en 132 kV, con dos aisladores puenteados por los cuernos, debe ser recalculado ya que cambia n_o . La siguiente figura muestra los resultados para una cadena de vidrio:

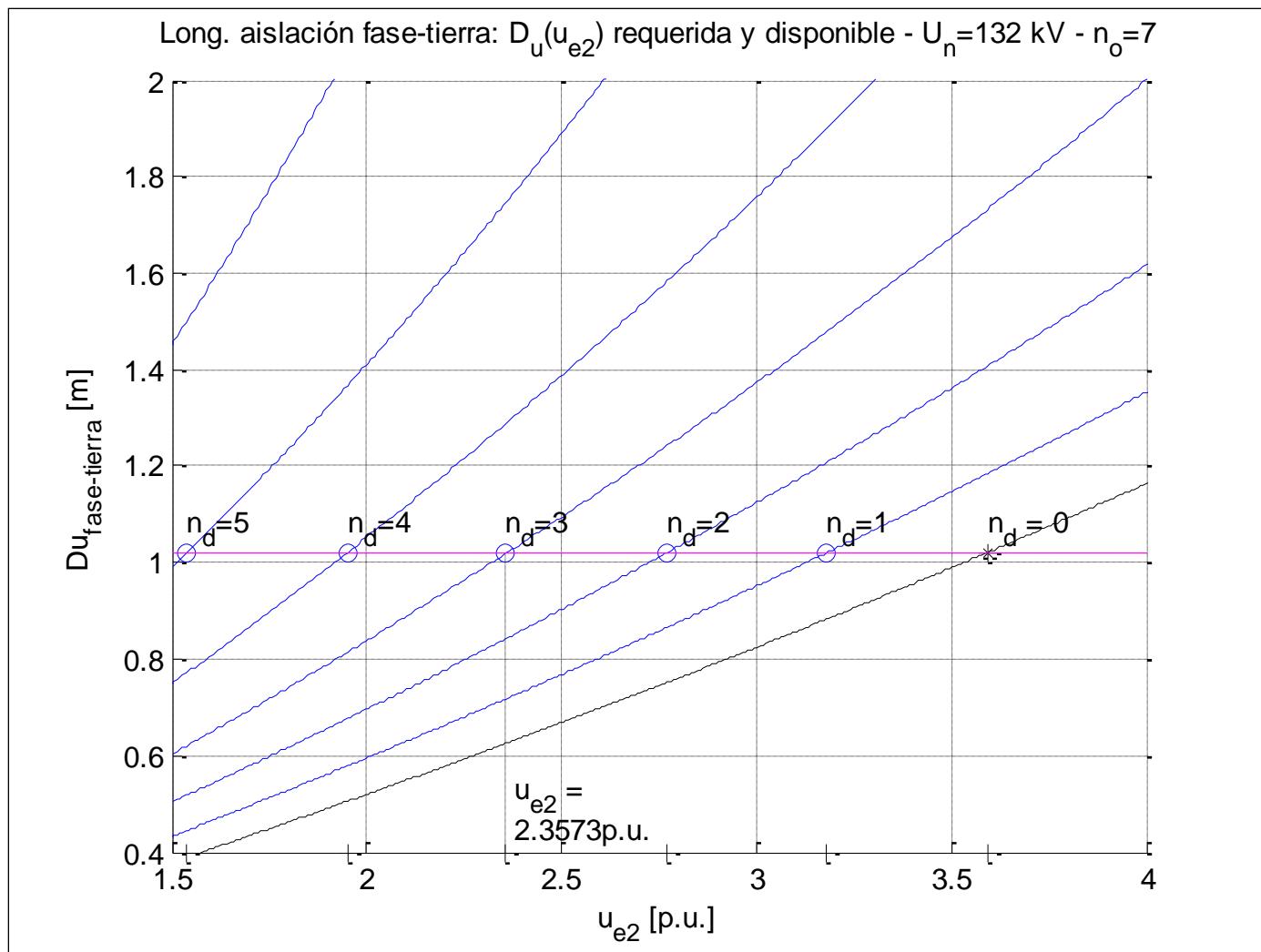


Figura 7 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 9 aisladores de vidrio en 132 kV, con dos puenteados por los cuernos.

Para 500 kV, aumenta el número de aisladores y siempre se tiene aislación de vidrio con al menos dos aisladores puenteados. Como ya fue indicado, se distinguirá entre la fase central y las fases laterales, mediante la consideración del factor de espacio libre (kg) correspondiente.

Las Figuras 8 y 9, a continuación, ilustran el efecto de la variación del factor de espacio libre, para una tensión máxima de servicio de 550 kV.

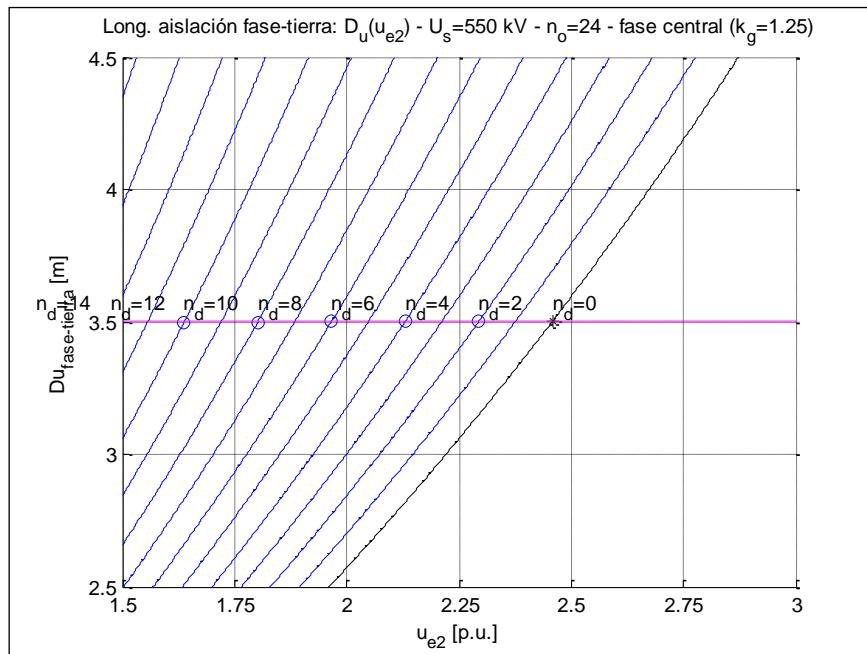


Figura 8 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 26 aisladores de vidrio en 500 kV ($U_s = 550$ kV), con dos puenteados por los cuernos, en la fase central ($k_g = 1.25$).

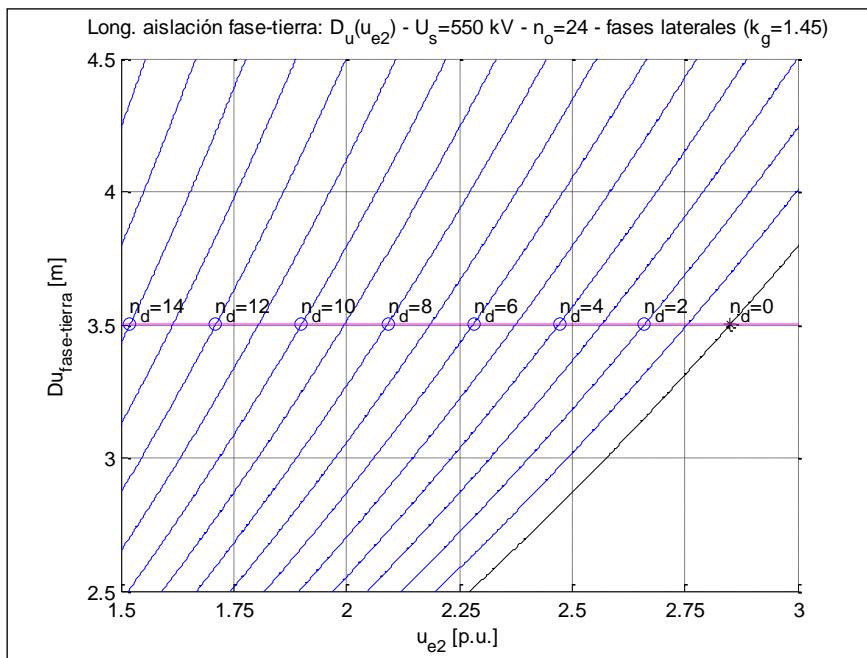


Figura 9 - $D_u(u_{e2})$ para cadena de 26 aisladores de vidrio en 500 kV ($U_s = 550$ kV), con dos puenteados por los cuernos, en las fases laterales ($k_g = 1.45$).

Puede apreciarse la reducción obtenida en las exigencias en cuanto a la limitación de las sobretensiones o del número de aisladores rotos, sobre las fases laterales, al usar un factor de espacio libre más adecuado a la configuración considerada.

En la Tabla 7, al final del siguiente punto, se lista los valores de sobretensiones límites obtenidos para los dos factores de espacio libre, trabajando a la tensión máxima de servicio tanto de 525 kV como de 550 kV.

Casos de ejemplo: tablas de resultados

A continuación se lista las sobretensiones límites obtenidas, para cada caso de ejemplo, asociadas al número de aisladores dañados correspondiente. Los resultados se analizan en el punto a continuación.

Las tablas están organizadas en dos formatos distintos. En las Tablas 4 a 7 se encuentran todos los resultados obtenidos, orientados a quienes deban efectuar un TCT en una línea ya determinada, con sus características constructivas y aisladores dañados conocidos, y requieran verificar si el trabajo es admisible (es decir, requieran verificar si la sobretensión límite es mayor a la esperada). La Tabla 8 vuelve a presentar los resultados para 150 kV, ordenados en sobretensiones decrecientes, orientados a quienes deban planificar políticas de mantenimientos basados en las sobretensiones esperadas en los circuitos de interés.

El coloreado del fondo de las celdas responde a los valores usados como máximos por AEA y UTE: si las sobretensiones se limitan a 2.3 p.u. en 132 kV o 150 kV, o 1.8 p.u. en 500 kV, puede efectuarse TCT en todas las celdas de fondo amarillo o verde, y si las sobretensiones se limitan a 3.0 p.u. en 132 kV o 150 kV, o 2.4 p.u. en 500 kV, puede efectuarse TCT en todas las celdas de fondo verde (los trazos gruesos destacan los cambios de categorías).

Además, en 150 kV y 500 kV, se resalta (en rojo y negrita) los casos donde se verifica que el número de aisladores dañados (dentro de los activos) es aproximadamente un tercio del número de aisladores total de la cadena (criterio vigente en UTE para la aceptación de TCT).

Cadena de 9 aisladores en 132 kV con 1 o 2 aisladores puenteados				
nd	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	np=2
	no=8	no=7	no=8	no=7
0	4,008	3,594	4,008	3,594
1	3,609	3,179	3,709	3,286
2	3,202	2,772	3,409	2,972
3	2,803	2,357	3,102	2,664
4	2,403	1,950	2,803	2,357
5	2,004	1,536	2,503	2,050
6	1,597	1,129	2,204	1,743
7	1,198	0,714	1,904	1,436
8	0,799	---	1,597	0,799

Tabla 4 - ue2(nd) límites para una cadena de 9 aisladores en 132 kV.

Cadena de 10 aisladores en 132 kV con 1 o 2 aisladores puenteados				
	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	Np=2
	no=9	no=8	no=9	No=8
nd	ue2máx	ue2máx	ue2máx	ue2máx
0	4,408	4,008	4,408	4,008
1	4,016	3,609	4,116	3,709
2	3,624	3,202	3,816	3,409
3	3,233	2,803	3,525	3,102
4	2,841	2,403	3,233	2,803
5	2,450	2,004	2,933	2,503
6	2,058	1,597	2,641	2,204
7	1,659	1,198	2,350	1,904
8	1,267	0,799	2,058	1,597
9	0,875	---	1,758	---

Tabla 5 - ue2(nd) límites para una cadena de 10 aisladores en 132 kV.

Cadena de 10 aisladores en 150 kV con 1 o 2 aisladores puenteados				
	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	np=2
	no=9	no=8	no=9	no=8
Nd	ue2máx	ue2máx	ue2máx	ue2máx
0	3,873	3,522	3,873	3,522
1	3,529	3,172	3,617	3,259
2	3,185	2,814	3,354	2,996
3	2,841	2,463	3,097	2,726
4	2,497	2,112	2,841	2,463
5	2,153	1,761	2,578	2,200
6	1,808	1,404	2,321	1,937
7	1,458	1,053	2,065	1,674
8	1,113	0,702	1,808	1,404
9	0,769	---	1,545	---

Tabla 6 - ue2(nd) límites para una cadena de 10 aisladores en 150 kV.

Cadena de 26 aisladores en 500 kV con 2 aisladores puenteados				
Vidrio - np = 2 - no = 24		Us = 525 kV Us = 550 kV		
	ue2máx	Fase central	Fase lateral	Fase central
nd	ue2máx	ue2máx	ue2máx	ue2máx
0	2,575	2,986	2,458	2,850
1	2,490	2,886	2,377	2,755
2	2,403	2,787	2,294	2,660
3	2,318	2,687	2,213	2,565
4	2,231	2,589	2,130	2,472
5	2,146	2,490	2,049	2,377
6	2,059	2,390	1,966	2,281
7	1,974	2,290	1,885	2,186
8	1,887	2,191	1,802	2,091
9	1,803	2,091	1,721	1,996
10	1,716	1,991	1,638	1,901
11	1,631	1,892	1,557	1,806
12	1,544	1,792	1,474	1,711
13	1,459	1,692	1,393	1,615
14	1,372	1,593	1,310	1,520
15	1,287	1,493	1,229	1,425
16	1,200	1,393	1,146	1,330
17	1,116	1,294	1,065	1,235
18	1,029	1,194	0,982	1,140
19	0,944	1,094	0,901	1,045
20	0,857	0,995	0,818	0,949
21	0,772	0,895	0,737	0,854
22	0,685	0,795	0,654	0,759
23	0,600	0,696	0,573	0,664
24	0,513	0,596	0,490	0,569

Tabla 7 - ue2(nd) límites para una cadena de 26 aisladores en 500 kV.

Cadena de 10 aisladores en 150 kV con 1 o 2 aisladores puenteados				
ue2máx	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	np=2
	no=9	no=8	no=9	no=8
3,873	0		0	
3,617			1	
3,529	1			
3,522		0		0
3,354			2	
3,259				1
3,185	2			
3,172		1		
3,097			3	
Si ue2 \square 3,0 puede efectuarse TCT en todos los casos superiores				
2,996				2
2,841	3		4	
2,814		2		
2,726				3
2,578			5	
2,497	4			
2,463		3		4
2,321			6	
Si ue2 \square 2,3 puede efectuarse TCT en todos los casos superiores				
2,200				5
2,153	5			
2,112		4		
2,065			7	
1,937				6
1,808	6		8	
1,761		5		
1,674				7
1,545			9	
1,458	7			
1,404		6		8
1,113	8			
1,053		7		
Los casos inferiores no tienen interés práctico (ue2 \square 1,0)				

Tabla 8 - ue2(nd) límites para una cadena de 10 aisladores en 150 kV.

Conclusiones y análisis de los resultados para los casos de ejemplo

Se dispone de un criterio para la autorización de TCT en la proximidad de cadenas dañadas, sustentado en la norma IEC 61472, 2004.

Bajo dicha norma, se reconoce dos grados de relevancia diferente para los aisladores:

- los de los extremos, puenteadas por cuernos, raquetas o aros, que son menos importantes y pueden ser cortocircuitados durante el TCT (no deben considerarse al contabilizar los aisladores dañados)
- los interiores a los cuernos, raquetas o aros, que son los activos, y es sobre ellos que debe calcularse la proporción de aisladores dañados

Los requerimientos en cuanto a aislación sana deben ser cumplidos en la porción activa de la cadena (entre los cuernos, raquetas o aros).

Como consecuencia de las características físicas de los materiales de los aisladores, se tiene que los de porcelana contribuyen más que los de vidrio a la aislación, cuando están dañados. Tomando los valores sugeridos por la norma, se puede tener un tercio más de aislación dañada de porcelana que de vidrio (para la misma sobretensión).

Un factor de particular relevancia en los cálculos es el de espacio libre (kg). Para las cadenas de 500 kV, el número de aisladores con el que se puede trabajar aumenta significativamente para las fases laterales, al usar un factor de espacio libre más adecuado a dicha configuración.

En cuanto a los resultados obtenidos, en la Tabla 9, a continuación, se resume la cantidad de aisladores dañados admisible para cada tipo de cadena (en su porción activa), si se limita las sobretensiones a los valores actualmente en uso, para AEA y UTE.

Cadenas en 132 kV nd máximo para ue2 □ 2,3				
Total de aisladores	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	np=2
9	4	3	5	4
10	5	4	7	5
Cadenas en 150 kV nd máximo para ue2 □ 3,0				
Total de aisladores	Vidrio		Porcelana	
	np=1	np=2	np=1	np=2
10	2	1	3	1
Cadenas en 500 kV (vidrio, np = 2) nd máximo para ue2 □ 1,8				
Total de aisladores	Us = 525 kV		Us = 550 kV	
	Fase central	Fase lateral	Fase central	Fase lateral
26	9	11	8	11
Cadenas en 500 kV (vidrio, np = 2) nd máximo para ue2 □ 2,4				
Total de aisladores	Us = 525 kV		Us = 550 kV	
	Fase central	Fase lateral	Fase central	Fase lateral
26	2	5	0	4

Tabla 9 - Número de aisladores dañados (nd) máximo, para cada tipo de cadena.

Tanto en la Tabla anterior, como en las Tablas 4, 5, 6 y 8, puede observarse la ganancia en el número admisible de aisladores dañados al usar porcelana, y que se gana más platos cuanto más bajas sean las sobretensiones admisibles consideradas. Además, en las Tablas 4, 5, 6 y 8, se visualiza que se puede tener un tercio más de aislación dañada de porcelana que de vidrio (observar, por ejemplo, que se tiene la misma sobretensión límite para 3 aisladores dañados de vidrio que para 4 de porcelana).

En 132 kV, con el criterio de limitar las sobretensiones a 2,3 p.u., se concluye que se requiere tener 4 aisladores activos sanos o menos (recordar que los aisladores puenteados por los cuernos pueden estar dañados, ya que no inciden en el cálculo del factor de daño de la cadena, k_i). Dichos aisladores sanos deben estar ubicados entre los cuernos (para ser activos).

En 150 kV, limitando las sobretensiones a 3,0 p.u., el criterio actual de UTE de 3 aisladores dañados como máximo, valdría solo para cadenas de porcelana con 1 aislador puenteado. Si las sobretensiones fueran menores a 2,3 p.u., el criterio se cumpliría satisfactoriamente. Con los resultados de estudios de maniobras que se dispone en UTE en la actualidad, que llegan a 2.36 p.u. (son 2.6 p.u. de 150 kV), el criterio se cumple justo.

Mirando el problema desde la perspectiva del número de aisladores sanos requeridos, para las cadenas de 10 aisladores en 150 kV, con sobretensiones máximas de 3,0 p.u., se tiene que la cantidad de aisladores sanos requeridos resultó ser aproximadamente la misma con la que se venía trabajando en UTE, con la salvedad de que ahora dichos aisladores deben tener que estar en una ubicación preferencial dentro de la cadena, en su porción activa: casi siempre se requiere 7 aisladores sanos fuera de los cuernos, excepto cuando se tiene porcelana y un solo aislador puenteado, donde alcanza con tener 6 aisladores sanos fuera de los cuernos.

Los resultados para 500 kV muestran cómo se reducen las exigencias sobre las fases laterales al usar un factor de espacio libre más adecuado a la configuración considerada (se admiten más aisladores dañados para la misma sobretensión). Este efecto es mayor para sobretensiones más altas.

Considerando las sobretensiones limitadas a 2,4 p.u. (criterio actual de UTE), no sería válido admitir 9 aisladores dañados. Se destaca además que para una tensión máxima de servicio (Us) de 550 kV, en la fase central sana se estaría al límite de sus posibilidades operativas, ya que con ningún aislador activo dañado, la sobretensión límite vale 2.46 p.u..

Si las sobretensiones fueran de 1,8 p.u. o menores, sí sería válido admitir 9 aisladores dañados al trabajar con una tensión máxima de servicio (Us) de 525 kV.

Con los resultados de estudios de maniobras que se dispone en UTE en la actualidad, que llegan a 2.1 en 525 kV o 2.0 en 550 kV (son 2.2 p.u. de 500 kV), el criterio de admitir 9 aisladores dañados se cumple justo en las fases laterales, pero no en la fase central.

El número de aisladores sanos requerido es mayor que con el que actualmente se viene trabajando en UTE (que es 17), tanto para las sobretensiones máximas aceptadas (2,4 p.u.) como para las máximas disponibles por simulaciones de maniobras (2.2 p.u. de 500 kV). En el segundo caso, se requeriría al menos 19 aisladores sanos, en la porción activa de la cadena (ver Tabla 7).

Aplicación a la explotación

La aplicación de la metodología anterior, a la explotación de las líneas, requiere procesar más información. Algunas de las tareas que hay que desarrollar son:

- identificar todas las configuraciones de cadenas relevantes, registrando las distancias reales disponibles entre sus electrodos
- fijar posición sobre el tratamiento de cadenas múltiples, en "V", y poliméricas, que no son cubiertas por la norma
- determinar los factores de espacio libre (kg) adecuados a las configuraciones analizadas
- analizar los procedimientos de TCT donde los operarios u objetos conductores puedan moverse a lo largo de las cadenas

Lecciones aprendidas

La aislación debe considerarse dada exclusivamente por los aisladores que no son apantallados por un electrodo (los que no tienen elementos conductores adyacentes a ellos).

Debido a la alta sensibilidad que presentan los resultados a las configuraciones de las cadenas (np, no, longitud disponible) y a las configuraciones conductor – torre (kg), debe mantenerse una base de

datos precisa con la información constructiva de las líneas.

Recomendaciones

En UTE, cuando se tiene cadenas cortas de 150 kV, de 8 o 9 aisladores, resulta muy exigente el uso de los límites genéricos indicados para las sobretensiones (3 p.u.). En estos casos, conviene realizar el análisis de las sobretensiones de maniobra (por medio de simulaciones), para determinar las sobretensiones máximas en forma más realista.

Se deben adoptar medidas preventivas adicionales, al subir torres con aisladores cerámicos y poliméricos, ya que se desconoce, a priori, el estado de la aislación antes de escalar.

Se ve la necesidad de ampliar el campo de aplicación de la norma al caso de aisladores poliméricos, determinando qué valores utilizar en los cálculos del factor de cadena k_i , pero no parece tan sencilla su aplicación ya que no es tan fácil la detección de daños en este tipo de aisladores.

A estratégia do centro de inteligência no combate às perdas não-técnicas e para otimização de investimentos - a experiência da light

José Geraldo Souza Pereira, Rui Figueira Mano, Denis Maciel Maia, Gustavo Seize

LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. , CHOICE TECHNOLOGIES S.A. – BRASIL

Rui.mano@choice.com.br

INTRODUÇÃO

Na última década, não obstante todos os investimentos realizados, os índices de perdas não-técnicas na Light se elevaram continuamente, chegando as perdas totais sobre a carga fio a um patamar de 21% em 2007.

Quando o índice total de perdas é maior que o aprovado pela ANEEL no processo de revisão tarifária, há prejuízo aos acionistas da distribuidora e menor geração de caixa. Um índice de perdas elevado reflete ainda em tarifas mais altas, implica em maior investimento na rede e, pela ineficiência energética, irá requerer compra de energia adicional. Assim, os prejuízos atingem toda a sociedade e também o meio-ambiente, além dos acionistas.

Ao longo de muitos anos, diversas iniciativas realizadas por profissionais competentes, com graus diferentes de sucesso, não conseguiram reverter a tendência de crescimento do índice de perdas na rede de distribuição da Light. Seria necessária uma quebra de paradigma buscando maior eficácia das ações.

A Light está conseguindo reverter essa tendência com uma inovadora estratégia de "Centro de Inteligência" que combate as perdas com uma equipe de analistas altamente qualificados, suportada por uma base tecnológica que utiliza ferramentas de inteligência computacional e mapeamento geoelétrico no estado da arte da tecnologia. A solução implementada ataca de forma integrada a identificação e combate às fraudes na medição e ao furto de energia. Adicionalmente, a tecnologia apóia na seleção da melhor estratégia e na priorização da implantação de tecnologias (no caso, com medição centralizada e blindagem de

rede) a serem aplicadas seletivamente em segmentos geoelétricos da rede, objetivando otimizar os resultados técnicos e maximizar o retorno do investimento.

A implantação da estratégia de Centro de Inteligência foi uma mudança de paradigma que trouxe uma visão sem precedentes do processo de investigação de ofensores da rede. Como resultado, é possível descobrir padrões e monitorar comportamentos, trazendo uma metodologia de investigação científica ao associar à percepção humana dos especialistas a utilização de ferramentas de inteligência computacional baseados em lógica nebulosa e sistemas evolutivos. Através do Centro de Inteligência, a Light, em dois anos, dobrou a recuperação de energia, representando um valor adicional em energia faturada de aproximadamente R\$ 63 milhões durante o período. A essa experiência inicial bem-sucedida, a Light associou de forma integrada outra aplicação para priorização e otimização dos investimentos na rede, estimando-se um aumento de cerca de 70 a 80% no ROI (retorno do investimento) na implantação de uma infraestrutura de medição centralizada e blindagem da rede.

O artigo proposto descreve os antecedentes, a estratégia e a solução implementada, a evolução dos resultados obtidos por esta estratégia e pelas soluções, que podem ser aplicadas em qualquer distribuidora de utilidades da América Latina.

1. Estrutura e Desafio de um Centro de Inteligência de Proteção da Receita

Os índices de perdas não-técnicas (PNT) na Light na última década vinham crescendo continuamente, chegando em 2007 as perdas totais sobre a carga fio a 21%, apesar de todos os esforços e investimentos em rede e em turmas de inspeção de fraudes no campo.

O desafio imposto era grande, visto que ao longo de muitos anos, as diversas iniciativas não foram suficientes para reverter a tendência de aumento contínuo do índice de perdas da Light. Os problemas se avolumaram com o aumento do custo da energia tornando as fraudes ainda mais rentáveis, gerando uma “indústria de fraudes” que foi se tornando, a cada dia, mais sofisticada; com o incentivo à fraude pela generalização do delito, tornando o roubo de energia um delito socialmente “aceitável”; a cada vez mais alta taxa de reincidência; as dificuldades econômicas ocasionando maior inadimplência, e os consequentes cortes de fornecimento, acarretando mais fraudes e furtos / conexões diretas.

Uma estratégia de combate com apenas o aumento do número de inspeções não geraria retorno suficiente para alcançar os índices almejados. Analisando os resultados que a estratégia do Centro de Inteligência da Choice obteve em outras distribuidoras, era possível constatar que havia espaço para uma maior eficácia. A Light então contratou a Choice para a implementação de um Centro de Inteligência, trabalhando em conjunto com especialistas da Light para modificar o cenário enfrentado nos últimos anos.

2. Abordagem e Resolução

Um dos pontos fundamentais do desafio de combate às perdas é a identificação das melhores iniciativas e onde aplica-las. Nesse processo, não existe a chamada “bala de prata”, ou seja, uma solução “mágica” que resolva todos os problemas. Cada iniciativa terá resultados distintos, de acordo com os diferentes perfis de consumidores. Também os custos unitários de cada ação não são constantes e seus resultados (retornos técnico e econômico) variam de acordo com fatores característicos dos consumidores e do local, tais como: consumo médio, IDH, presença e atuação do Estado na comunidade.

O Centro de Inteligência consiste em uma estrutura composta por um grupo de especialistas da Light e da Choice dedicados ao uso de tecnologias de software de inteligência Revenue Intelligence, com a

utilização de melhores práticas de processos de recuperação e garantia de receita, conforme a Figura 1.

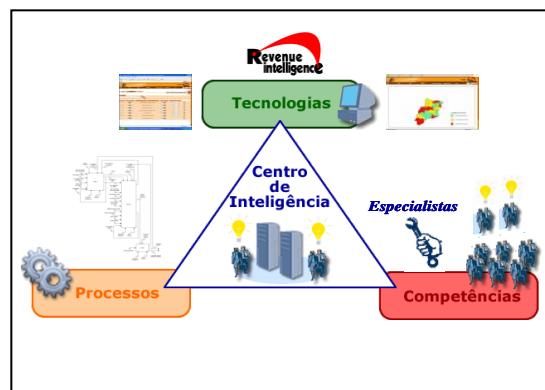


Figura 1 - Centro de Inteligência

Outra abordagem para a redução de perdas é a implantação de uma infraestrutura de rede que impeça (ou pelo menos dificulte) a instalação de conexões diretas ou fraudes à medição. Isso pode ser conseguido com o uso de novas tecnologias de medição avançada, com o uso de *smart meters* conjugado com a blindagem da rede. Essas tecnologias, comprovadamente dificultam o furto de energia, assim como permitem, entre outros recursos, monitoração do consumo, execução de diagnósticos e emissão de alarmes, além de telecomandos tais como conexão / desconexão.

No entanto, como o investimento para essas soluções é elevado, impõem-se limites orçamentários na possibilidade de novas instalações por ano. O desafio, assim, é determinar os segmentos geoelétricos que ofereçam o melhor retorno, técnico e econômico, para a implantação dessas infraestruturas, de forma que o benefício financeiro otimizado possibilite realizar mais instalações em menor tempo. Com isso se acelera o processo, permitindo atingir um maior número de consumidores (e aqueles que trazem melhor retorno) em menos tempo e, consequentemente, uma maior redução das perdas não-técnicas, gerando um ciclo virtuoso.

3. Tecnologias de inteligência computacional e sistemas especialistas

A tecnologia das soluções se baseia no uso da inteligência computacional e algoritmos avançados para determinar cada ação de redução de perdas não-técnicas, inclusive as inspeções de campo – a Light realiza anualmente cerca de 300 mil inspeções. O objetivo é aumentar a eficácia dessas ações, de

forma a maximizar a recuperação e incorporação de energia por inspeção, o que permite um retorno tal que impacte as perdas totais da distribuidora.

Como se pode verificar pelo gráfico 2 abaixo, o resultado médio de energia recuperada por inspeção, na Light, estava muito abaixo do obtido

em outras distribuidoras com a estratégia do Centro de Inteligência usando a tecnologia Revenue Intelligence.

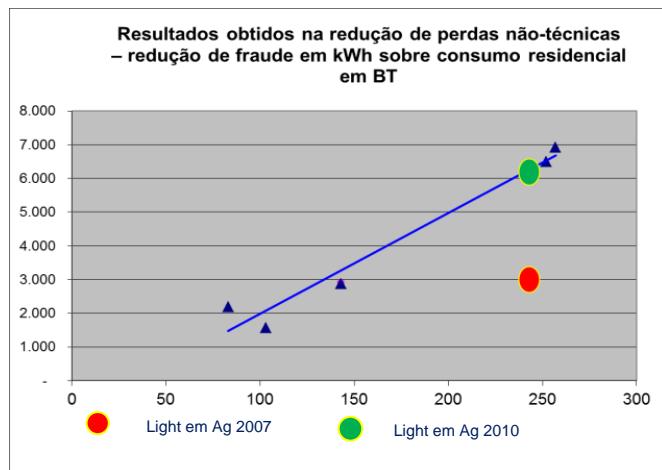


Gráfico 1 – Produtividade de recuperação de energia por inspeção em relação ao consumo residencial médio em BT

A solução de software inovadora implementou técnicas de lógica nebulosa e sistemas evolutivos com o software de inteligência RI (Revenue Intelligence, módulo Portfólio) da Choice, que permite a identificação de consumidores com maior probabilidade de apresentarem fraude e, ao mesmo tempo, maior potencial de recuperação de energia, criando um portfólio risco (probabilidade) x retorno, tal como um portfólio de investimentos, para as ações de combate às perdas.

O módulo de seleção de inspeções permite criar regras de investigação e perfis (combinações de regras) complexos. As regras são formadas por várias cláusulas lógicas, combinando dados das mais diversas bases de dados da empresa, tanto das áreas comerciais (tal como CCS, sistema de faturamento, Call Center etc) como técnicas (ordens de serviço etc) e GIS (Sistema de Informações Geográficas). As regras mais eficazes são em geral as baseadas em anomalias de consumo, que devem ser identificadas levando em consideração todos os fatores que podem influir no consumo, tais como, por exemplo, os sazonais e climáticos. Outros aspectos condicionantes a ser considerados e que podem trazer à tona indícios de fraude ou, ao contrário, uma indicação de falso positivo (em que um comportamento de consumo anômalo não seja fraudulento) dizem respeito, por exemplo, a ordens de serviços solicitadas e realizadas.

A identificação de um consumidor como provável fraudor, através de uma ou mais regras, não é por si própria suficiente para determinar uma ação de inspeção no campo. A ação da concessionária de entrar na propriedade do consumidor para fazer uma inspeção por suspeita de fraude, caso nenhuma irregularidade seja constatada, a par do prejuízo por uma ação infrutífera, é causadora por si só de um constrangimento indesejável, penalizando um cliente inocente e, por conseguinte, estressando a relação do prestador de serviço com seu cliente. A decisão de realizar uma inspeção, assim, deve se lastrear em uma análise justificada por dados e fatos e não por meras suposições, intuição ou simplesmente por ações de varredura.

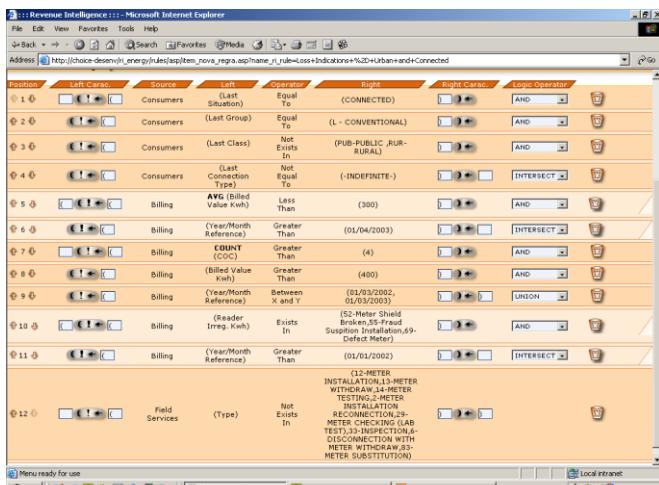


Figura 2 – Interface de criação de regras no software

O software Revenue Intelligence inclui algoritmos que calculam o risco de que um consumidor esteja cometendo uma fraude ou roubo, baseado na efetividade das regras que o identificaram ponderadas por seu histórico. Esses algoritmos têm mecanismos de ajuste realimentados pelos resultados de cada ação de inspeção realizada, que reduzem erros, corrigem desvios e em geral ampliam a confiabilidade das análises conforme a acumulação de experiência, pela maior disponibilidade e confiabilidade dos dados e resultados.

Outro aspecto relevante é o valor econômico proveniente de cada ação. Uma suspeita de fraude com alto grau de certeza pode eventualmente trazer um retorno econômico (energia recuperada mais energia agregada) de pequeno valor – por exemplo, em uma comunidade de baixa renda. Em contrapartida, uma inspeção de menor probabilidade de fraude pode trazer substancial resultado econômico, dependendo do potencial de consumo do infrator. O software RI dispõe de algoritmos que estimam esse retorno, baseados em parâmetros de consumo histórico e comparação com pares do mesmo cluster (consumidores com características similares).

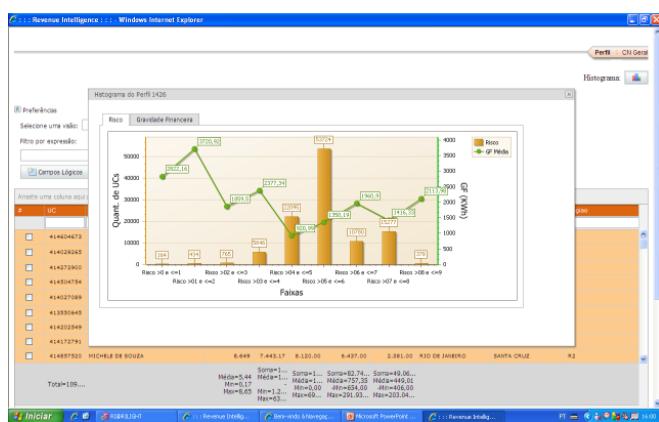


Gráfico 2 – Definição de alvos prioritários baseado em portfólio de risco e gravidade financeira

A combinação ponderada dos fatores de risco (probabilidade de fraude) e valor financeiro (energia recuperada mais energia agregada) estimado pelo software nos fornece como um portfólio de investimento e nos dará uma indicação muito mais eficaz sobre a ordem de prioridade das unidades consumidoras a serem inspecionadas.

4. Tecnologias evolutivas e adaptabilidade

O ambiente de fraude não é estático, por conseguinte as ferramentas precisam ser dinâmicas e adaptativas. Um dos principais aspectos que torna importante esse dinamismo é o princípio de sistemas evolutivos. O fraudador quando é descoberto buscará uma adaptação e poderá tentar um novo método de fraude que não seja conhecida. Desta forma, e como um fraudador em geral influencia seus pares (vizinhos e amigos), a regra de investigação bem sucedida de hoje poderá não ser tão eficaz em breve. Por essa razão, o conjunto de regras de investigação não pode ser estático, e a criação de novas regras de investigação (ou a adaptação das regras existentes) é vital para manter a eficácia e ampliar o nível de resultados. Isso é conseguido através de um time dedicado de especialistas em análises para recuperação de perdas e inteligência computacional, em um Centro de Inteligência baseado em técnicas de inteligência computacional e sistemas evolutivos.

A relação entre a área de recuperação de perdas e o conjunto de fraudadores é tal como uma relação de predador-presa existente em ecossistemas. A teoria da evolução indica que quanto mais os predadores desenvolvem suas habilidades de caça às presas, mais as presas terão que desenvolver suas habilidades para fugir da ameaça dos predadores. Esse processo prossegue indefinidamente, criando o que a literatura chama de *corrida armamentista* [1] ou a *teoria da rainha vermelha* [2], ou até que um

dos lados desenvolva uma habilidade superior e prevaleça, e o outro lado seja extinto.

Essa teoria foi desenvolvida pelo biólogo americano Leigh van Valen, que fez a analogia com a história de Lewis Caroll, onde Alice corria com a rainha vermelha e não saía do lugar. Alice então comentou que no país dela, se eles corressem assim, logo chegariam a outro lugar. A rainha vermelha comentou: "Que país lento! Aqui você precisa correr para permanecer no mesmo lugar, e se você quiser chegar a outro lugar, terá que correr muito mais depressa que isso".

Dada a imensa quantidade de dados disponível nas bases de dados da empresa e a complexidade das correlações a serem feitas, somente com inteligência computacional seria possível aumentar a produtividade de recuperação de perdas e ser mais rápido que a adaptação dos fraudadores, para reduzir os níveis de perdas.

O software utiliza algoritmos baseados em sistemas evolutivos que, baseados nos resultados obtidos em cada ação de campo, calculam a eficácia de cada regra de investigação e automaticamente reajustam os parâmetros de relevância das regras. Numa empresa como a Light, são inúmeras combinações para adaptar as próximas ações de campo de acordo com a evolução das fraudes. Qualquer tentativa de executar tais adaptações exclusivamente por ação humana seria inviável gerando, na melhor das hipóteses, resultados sub-ótimos.

5. Execução e acompanhamento dos processos

A concepção e execução de um projeto de recuperação de perdas precisa inevitavelmente contemplar os aspectos relativos aos processos a serem executados, no Centro de Inteligência e nos processos de campo. Além disso, devem ser implementadas rotinas de monitoramento e acompanhamento da execução, e mecanismos de realimentação alimentados pelos resultados das ações. Essas rotinas estão suportadas pelas ferramentas do software RI.

Essas ferramentas permitem ainda o acompanhamento e controle da produtividade das equipes que executam as inspeções, facilitando a identificação de discrepâncias de desempenho que indiquem a conveniência de treinamento adicional ou outras ações que sejam necessárias.

6. Execução e acompanhamento dos processos

A concepção e execução de um projeto de recuperação de perdas precisa inevitavelmente contemplar os aspectos relativos aos processos a serem executados, no Centro de Inteligência e nos processos de campo. Além disso, devem ser implementadas rotinas de monitoramento e acompanhamento da execução, e mecanismos de realimentação alimentados pelos resultados das ações. Essas rotinas estão suportadas pelas ferramentas do software RI.

Essas ferramentas permitem ainda o acompanhamento e controle da produtividade das equipes que executam as inspeções, facilitando a identificação de discrepâncias de desempenho que indiquem a conveniência de treinamento adicional ou outras ações que sejam necessárias.

7. Projeto Optimus – Maximização do Retorno dos Investimentos na Rede com foco em Redução de Perdas

A abordagem de otimização da eficácia das inspeções via Centro de Inteligência não abrange uma importante questão, que é a identificação dos investimentos em infraestrutura que possam resultar em maior retorno econômico. Para enfrentar este desafio a Light contratou um Projeto de Pesquisa & Desenvolvimento com a Choice para a elaboração de uma metodologia e um sistema de otimização para a escolha das melhores unidades consumidoras para executar investimentos em medição avançada e áreas para blindagem da rede, sob a ótica do retorno econômico.

Não é um desafio trivial, embora o relativamente pequeno número de opções a serem consideradas: (i) instalação de medição eletrônica, (ii) de blindagem de rede, (iii) das duas tecnologias, (iv) execução de inspeções de campo, e (v) nenhuma ação. No entanto, a Light tem cerca de 4.000.000 de consumidores e cerca de 79.000 transformadores instalados. Considerando que a granularidade do estudo enfoque os transformadores, teríamos 5^{79.000} possibilidades. Considere-se ainda que, para cada ação, o custo e o benefício variam conforme uma grande variedade de parâmetros distintos.

Inicialmente foram modeladas as funções de custo e receita para a implantação da medição avançada. A função de custo leva em consideração o comprimento e calibre dos cabos de distribuição em baixa tensão, a densidade de consumidores, as características elétricas de cada consumidor, entre

outras. A função de receita leva em consideração a estimativa de energia incorporada e agregada, a redução de energia requerida, custos evitados, entre outros.

Com as funções de custo e receita desenvolvidas, foi criada uma função objetivo para maximizar o retorno econômico, subtraíndo da receita estimada para uma determinada área o respectivo custo.

Foi desenvolvido um otimizador, através de algoritmos não-convexos, para definir as melhores áreas para investimento dadas restrições orçamentárias e operacionais. Este foi um desafio científico resolvido, pois como cada decisão é binária (investe ou não investe) por área, os algoritmos de otimização lineares e não-lineares não são aplicáveis. Essa tecnologia foi objeto de um pedido de patente aplicado (atualmente em processo de análise) no INPI e no escritório de patentes norte-americano.

8. Implantação e Execução

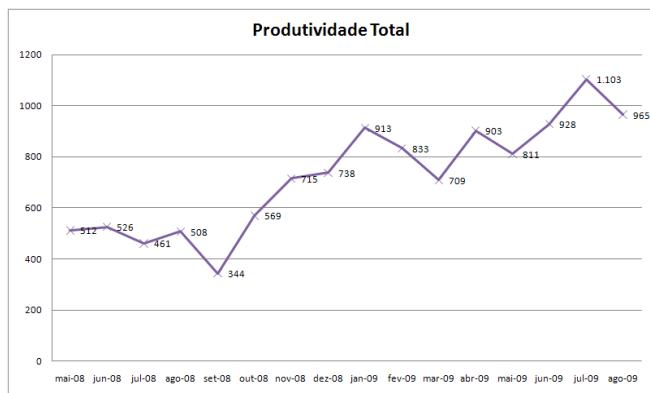
O projeto do Centro de Inteligência foi iniciado em 14 de dezembro de 2007. A implantação do software Revenue Intelligence – módulo Portfólio e a integração com o sistema CCS da SAP foram realizados pela Choice em conjunto com a área de TI da Light.

A operação do Centro de Inteligência foi iniciada em 08 de abril de 2008 sendo geradas as primeiras inspeções de campo baseadas na utilização do software RI da Choice. Considerando a complexidade inerente ao processo de integração com o sistema CCS da SAP, além da criação das regras de investigação específicas para a Light que requerem muitos estudos sobre os dados da distribuidora, o prazo de menos de 4 meses para o início da operação pode ser considerando um dos pontos expressivos deste projeto.

A urgência era justificada pela necessidade de reversão da tendência de elevação do índice de perdas, onde cada mês de adiamento representaria milhões de reais de prejuízo. Como sempre, a responsabilidade da entrada em operação era alta, pois as ações iniciais não deveriam implicar em problemas operativos ou em redução dos resultados que vinham sendo obtidos, mesmo que momentânea. Os resultados favoráveis vieram desde o início e foram crescentes conforme a maior experiência, maior conhecimento do comportamento dos consumidores, maior confiabilidade dos dados e pelos ajustes automáticos feitos através da tecnologia evolutiva.

O projeto Optimus referente à identificação de investimentos com melhor relação de custo x benefício foi realizada posteriormente, após a

plataforma inicial do Centro de Inteligência estar estabelecida, inclusive gerando insumos necessários para a resolução do problema. O projeto utilizou um componente do software Revenue Intelligence – Módulo Topos, como infraestrutura adicional para integrar os dados de vinculação elétrica e de medição para balanço energético do sistema GIS, com os dados do sistema comercial e com o módulo de inteligência de inspeção.



Investidores do 4º trimestre de 2008 [3], o aumento da recuperação de energia foi de 80%, representado uma adição de 57,8 GWh ao faturamento. Conforme o Relatório para Investidores do 4º trimestre de 2009 [4], o aumento da recuperação de energia foi de 16,9%, representado uma adição de faturamento de 21,9 GWh, com um incremento da energia incorporada de 165,1%, igual a 70,5 GWh. No total, o aumento de energia faturada de 2009 em relação a 2008 foi de 92,4 GWh. Usando a tarifa residencial líquida de R\$0,30293 tem-se um valor adicionado de R\$27,99 milhões sobre a base de 2008.

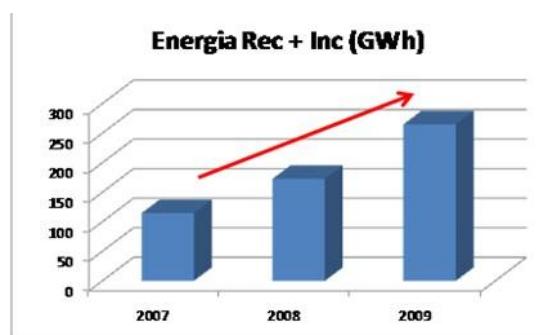
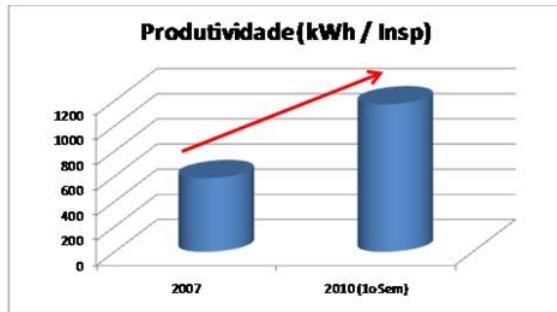


Gráfico 4 – Energia Recuperada mais Energia Incrementada em GWh



O resultado acumulado 2008-2009 do Centro de Inteligência já é de R\$ 63 milhões, sem considerar o benefício do ano de 2010, conforme pode ser observado no crescimento em GWh do montante de energia recuperada e incorporada nos gráficos 4 e 5 acima.

Adicionalmente a estes resultados, foi avaliado o retorno do módulo Optimus, comparando-se os investimentos já realizados pela Light com as áreas que seriam selecionadas através do Optimus.

Para comparar resultados foram utilizadas: (i) a função de custo real, sendo conhecidos os dados de rede e dos consumidores, permitindo precisar o custo da implantação; (ii) a função de receita estimada usada no business-case aprovado pela

9. Resultados Obtidos

O resultado da implantação do Centro de Inteligência foi um sucesso absoluto. A tendência do aumento do índice de perdas foi revertida, o que era o principal objetivo. Conforme o Relatório para

Diretoria com VPL em 5 anos e (iii) restrições de custo semelhantes, de forma que o custo da implantação de blindagem e medição avançada pelo Optimus deveria ser igual ao investimento realizado (com tolerância de $\pm 2\%$).

O comparativo em uma área de 4 subestações onde foi realizada pela Light uma implantação de blindagem e medição avançada em 15.875 consumidores é demonstrada abaixo. Com um custo semelhante, o Optimus indicou áreas distintas, atingindo um volume de UCs (unidades consumidoras) 48% maior. O lucro estimado foi 87% superior.

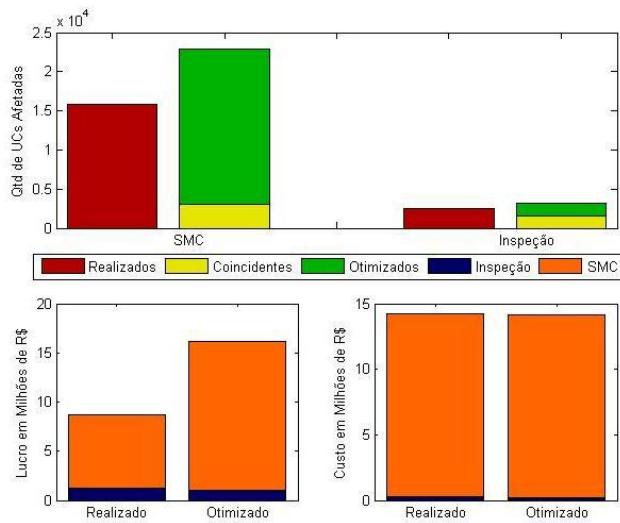


Gráfico 6 – Comparativo de investimento em medição avançada em 15.875 UCs

Foi realizado também um comparativo abrangendo a Regional Oeste, onde foi implantada blindagem e medição avançada em 63.392 UCs. No gráfico 7 pode ser observado que a otimização realizada pelo Optimus indicaria outras áreas e permitiria atender uma quantidade de consumidores 24% superior com um lucro 71% maior, equivalente a R\$27,6 milhões.

	Realizado	Otimizado
Qtd de Ucs Afetadas	63.392	78.892
Custo	R\$ 55.233.000,00	R\$ 56.242.000,00
Receita	R\$ 94.015.000,00	R\$ 122.632.000,00
Lucro	R\$ 38.782.000,00	R\$ 66.390.000,00
Aumento do Lucro	R\$ 27.608.000,00	
Ganho Percentual	71%	

Gráfico 7 – Comparativo do atendimento da Regional Oeste com medição avançada e blindagem de rede

Esses resultados demonstram que a otimização realizada com o Optimus permitiria atingir um maior número de UCs, com o mesmo investimento, aumentando em 71% o retorno econômico, o que adicionaria mais recursos para instalar medição avançada em mais UCs, funcionando assim como um acelerador da implantação de uma nova tecnologia em uma área de concessão.



Figura 3 – Comparativo para toda a Regional Oeste - seleção pela equipe

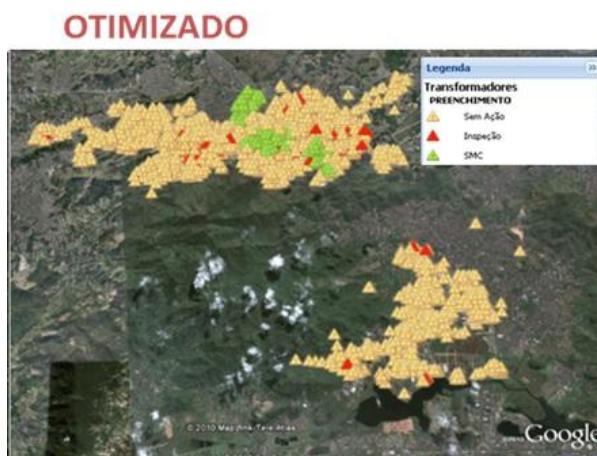


Figura 4 – Comparativo para toda a Regional Oeste – seleção otimizada pelo Optimus

10. Conclusão

O problema de fraudes em medição e roubo de energia afeta concessionárias em todo o mundo, em especial em países da América Latina (Brasil e outros), Oriente Médio (Turquia), Sudeste Asiático (Índia, Paquistão, Malásia, Indonésia, Filipinas etc), África (África do Sul etc), mas também países desenvolvidos como, apenas para citar uns poucos exemplos, EUA,

Canadá e Inglaterra acarretando perdas financeiras estimadas em US\$ 85 bilhões/ano.

O combate às perdas não-técnicas (PNT) é uma guerra ainda sem um fim à vista, mas não necessariamente uma guerra sem vencedor. A redução das perdas é um objetivo que pode ser atingido com o uso de novas tecnologias tais como inteligência computacional, gerando resultados expressivos.

Referências

- [1] Dawkins, Richard – *The blind watchmaker*, 1986
- [2] Van Valen, Leigh – “A new evolutionary law”, *Evolutionary Theory* v.1, 1973
- [3] Relatório para Investidores do 4º trimestre de 2008 – Light.
- [4] Relatório para Investidores do 4º trimestre de 2009 – Light.

Chaves telecomandadas em redes de distribuição: critérios de alocação para melhoria da qualidade do serviço

EDISON ANTONIO CARDOSO ARANHA NETO^{1*}, DANIEL TENFEN¹, JORGE COELHO¹, CELSO DE BRASIL CAMARGO¹, ANDRÉ RODIGHERI¹, MARCELO MENEZES REIS², THIAGO FREIRE GUTH³, ERIKA FERRARI CUNHA³

¹LABPLAN-UFSC, ²INE-UFSC, ³ENERGISA

earanha@labplan.ufsc.br

RESUMO

O problema da alocação de chaves telecomandadas em redes de distribuição é de natureza multiobjetiva, uma vez que a empresa deseja encontrar a localização que melhor atende simultaneamente aos seus objetivos ao investir na automação de sua rede.

Neste trabalho foram levados em consideração diversos critérios, apontados por especialistas da empresa, visando construir uma Árvore de Decisão Multicritério. Dentre os critérios utilizados estão contemplados os índices coletivos de continuidade (DEC e FEC), índice de fornecimento – Energia Não Distribuída (END) e número de chaves instaladas.

Em relação aos Clientes Especiais, foram utilizados os índices individuais de continuidade (DIC e FIC) e contabilizado o número de Clientes Especiais que deixam de levar multa pela ultrapassagem de suas metas com a alocação da chave.

Na metodologia desenvolvida são consideradas também as manobras de socorro que alimentadores vizinhos podem realizar para atender o alimentador em contingência e o respectivo benefício obtido com este recurso.

Por meio de pesos associados aos critérios é possível então estabelecer um *ranking* das alternativas de alocação das chaves telecomandadas nas diversas posições do alimentador.

A metodologia proposta foi aplicada em um alimentador real de uma Concessionária do Nordeste do Brasil e estudos foram realizados alocando de uma a três chaves ao longo deste alimentador.

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, os consumidores de energia elétrica necessitam de um serviço com maior qualidade enquanto o órgão regulador busca a modicidade tarifária e, por outro lado, a concessionária necessita aplicar seus recursos de modo estratégico e eficiente. A melhoria da qualidade do fornecimento de energia elétrica, no nível da distribuição de energia elétrica, envolve uma série de fatores, e neste sentido a alocação de chaves telecomandadas vem a contribuir com a automação dos alimentadores e com a qualidade do serviço técnico.

Para a alocação destas chaves telecomandadas deve-se responder a diversas perguntas: Onde alocar? Devem ser atendidos os Clientes Especiais (CEs)? Como melhorar os indicadores de qualidade do serviço, buscando maior confiabilidade da rede e a redução dos impactos da descontinuidade do fornecimento para os clientes? Estas chaves terão um *pay-back* factível? Assim, o problema da alocação de chaves telecomandadas em redes de distribuição é de natureza multiobjetiva, onde estes e outros critérios devem ser levados em consideração para que a empresa encontre a localização "ótima", ou seja, àquela que melhor atende simultaneamente aos objetivos almejados pela concessionária ao investir na automação de sua rede.

Deste modo, neste trabalho foram levados em consideração diversos critérios, apontados por especialistas da empresa, visando construir uma Árvore de Decisão Multicritério, baseada na Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – MCDA.

A metodologia proposta foi aplicada em um alimentador real de uma Concessionária do Nordeste do Brasil e estudos foram realizados alocando até três chaves ao longo deste alimentador.

Metodologia

Na tomada de decisão os valores envolvidos geralmente são mais relevantes que as alternativas a serem consideradas. Deste modo, no processo de decisão que hierarquiza os investimentos, fica evidente que as alternativas são apenas meios para alcançar aqueles valores.

Na avaliação estratégica de investimentos, o processo de tomada de decisão convencional geralmente tenta avaliar apenas as alternativas, normalmente via análise custo-benefício. Quando os objetivos não estão completos ou parcialmente definidos em relação aos valores da empresa (ou decisões) os critérios e dados para avaliar as

alternativas de investimentos não são provavelmente tão úteis quanto deveriam. Caso os valores não estejam explícitos na tomada de decisão, o julgamento de cada alternativa e a hierarquização dos investimentos serão comprometidos.

Na metodologia monocritério, a melhor alternativa é aquela que otimiza um determinado critério. Tem como maior desvantagem não conseguir levar em consideração os diferentes aspectos relevantes nas alternativas. De acordo com Ensslin *et al.* (2001), os métodos multicritério consideram mais de um aspecto e, portanto, avaliam as ações segundo um conjunto de critérios. Cada critério é uma função matemática que mede a performance das ações potenciais com relação a um determinado aspecto. Neste enfoque, deseja-se otimizar essas funções de forma simultânea.

O método multicritério tem funções básicas, segundo Hobbs e Meier (2000), que dão suporte aos seguintes objetivos globais:

- Estruturar o processo de decisão – a análise de decisões de mercado de forma sistemática de acordo com uma estrutura lógica com definição de alternativas e comparação de performances sob vários pontos de vista.
- Facilitar a negociação – o método quantifica e comunica as prioridades aos diferentes decisores e move a discussão para longe das alternativas na direção dos objetivos fundamentais.
- Documentar como as decisões são feitas – detalhando cada passo da análise.
- Informar, aos agentes envolvidos, sobre as implicações e consequências dos atributos examinados, inspirando mais segurança na tomada de decisão.

Baseando-se na Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – MCDA, o modelo multicritério foi construído por meio de uma estrutura arborescente – Árvore Multicritério ou Árvore de Pontos de Vista (ENSSLIN *et al.*, 2001), onde foram definidos três Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) e seus respectivos Pontos de Vista Elementares (PVEs), conforme Figura 1.

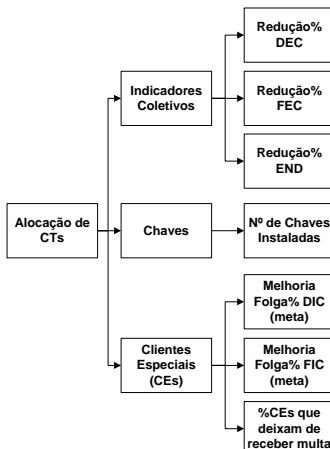


Figura 1 – Árvore de Pontos de Vista

Dentre os critérios utilizados estão contemplados os índices coletivos de continuidade (DEC e FEC), índices de fornecimento – Energia Não Distribuída (END) e número de chaves alocadas. Em relação aos Clientes Especiais (CEs), foram utilizados os índices individuais de continuidade (DIC e FIC) e contabilizado o número de consumidores especiais que deixam de levar multa (pela ultrapassagem de suas metas) face à alocação da chave.

Como técnica para a hierarquização das alternativas, foi utilizado o *Analytic Hierarchy Process* – AHP (SAATY, 1980), que tem como um dos objetivos representar os modelos de modo mais realista incluindo todas as medidas tangíveis ou intangíveis, consideradas relevantes, assim como fatores quantitativos ou qualitativos.

A ordenação hierárquica é um tipo de estrutura hábil para fornecer uma visão global do problema e da relação de complexidade, que ajuda o decisivo na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios, através da comparação homogênea dos elementos. Como consequência, o processo se reduz a uma sequência de comparações par-a-par desses componentes identificados.

O método AHP usa comparações por pares entre as alternativas, bem como entre os critérios, objetivando determinar as prioridades das alternativas ao longo da hierarquia, normalmente de baixo para cima na mesma.

O algoritmo desenvolvido realiza uma busca exaustiva, alocando de uma a três chaves ao longo do alimentador, calculando os valores para cada critério da Árvore Multicritério.

Como o universo de soluções é muito grande, é utilizado o conceito de dominância para reduzir o número de soluções totais a um conjunto de soluções chamadas de ótimas de Pareto (CASTRO, 2001), que são soluções não dominadas pelas outras soluções.

No algoritmo desenvolvido são consideradas também as manobras de socorro que alimentadores vizinhos (da mesma SE ou outra SE) podem realizar

para atender o alimentador em contingência e o respectivo benefício obtido com este recurso.

Por meio de pesos associados aos critérios, obtidos em um sistema de multivotação com especialistas da área, é possível então estabelecer um *ranking* (hierarquização) da alocação das chaves telecomandadas nas diversas posições do alimentador.

Resultados

A metodologia proposta foi aplicada em um alimentador real de uma Concessionária do Nordeste do Brasil. A demanda total do alimentador é de 8.224,19 kW, atendendo 13.540 consumidores com 70 ramais atendendo Consumidores Especiais (CEs). Inicialmente o alimentador continha 1.297 pontos, mas com a rotina de redução e ordenação da rede, ficou com 500 pontos. Destaca-se que com essa rotina de ordenação e redução, obtém-se um alto ganho em processamento e tempo computacional sem com isso alterar os resultados, uma vez que as extensões dos trechos agrupados são somadas para manter os valores reais de resistência e reatância. Na Figura 2 pode-se observar o traçado georreferenciado do alimentador após redução e ordenação da rede.

Os Pontos Candidatos à Transferência de Carga (PCTC) de cada interligação com outro alimentador, inicialmente, são os nós que fazem a interligação do nó da SE do alimentador em análise até a chave de interligação analisada. A busca pela eliminação dos PCTCs, que não atendem as restrições ou limites estabelecidos através do fluxo de potência, pode ocorrer no sentido da chave de interligação até o nó da SE do alimentador em análise, sendo as cargas a jusantes do PCTC analisado seccionadas, uma a uma, para cada PCTC. Para a primeira violação encontrada, este e todos os PCTCs a jusante deste analisado, são eliminados dos PCTCs. Esta análise também pode ser feita no sentido reverso, da SE para a chave de interligação, contudo agora todos os nós a montante da primeira não violação dos limites são PCTCs.

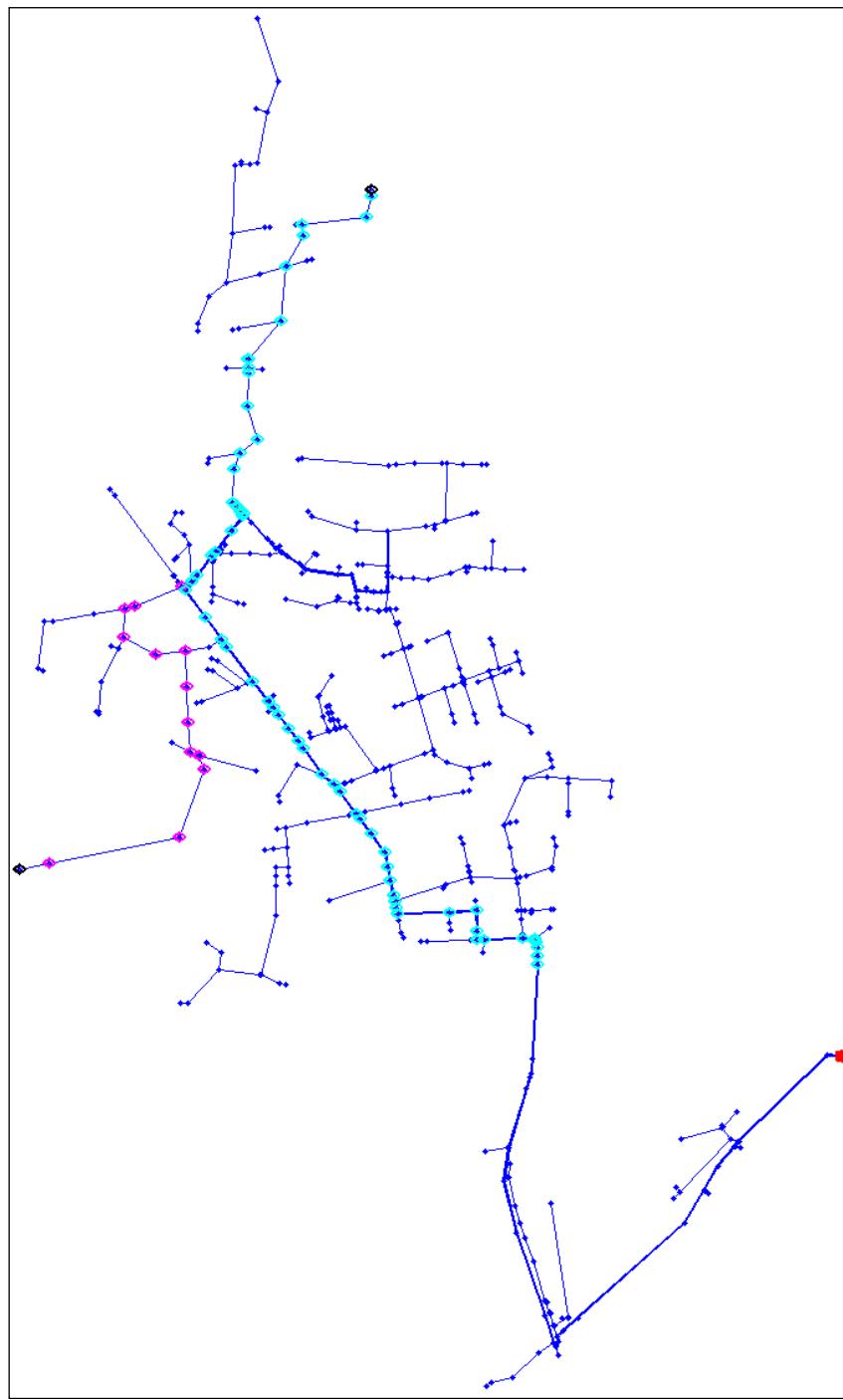


Figura 2 – Traçado Georreferenciado do Alimentador

Na Figura 2 pode-se observar a Subestação (SE) em vermelho, as chaves de interligação em preto e os PCTCs em azul claro e em magenta, sendo o primeiro os PCTCs com um alimentador de outra SE e o segundo os PCTCs com um alimentador da mesma SE.

Foi encontrado um total de 122 PCTCs, o que em uma busca exaustiva acarreta em uma análise combinatorial de 122 combinações para uma chave, 7.381 para duas chaves, 295.240 para três chaves e 3.764.376 para 4 chaves, o que inviabiliza a busca exaustiva por quatro chaves devido ao elevado tempo computacional que levaria para realizar todas as combinações possíveis, além da memória necessária para armazenar o resultado dos índices para todas as combinações.

Aplicando o conceito de dominância, restaram um total de 66 alternativas pareto-relevantes, ou seja, alternativas dominantes, sendo 15 com uma chave, 19 com duas chaves e 32 com três chaves. Na Tabela 1 estão apresentadas as alternativas possíveis de instalação de chaves telecomandadas.

Tabela 1 – Alternativas de Instalação de Chaves Telecomandadas

Alt.	Nº CTs	Ganho DEC (%)	Ganho FEC (%)	Ganho END (%)	Melhoria Folga DIC_CE (%)	Melhoria Folga FIC_CE (%)	%CEs que deixam de levar multa
1	1	27,459	40,890	19,346	38,845	55,199	44,643
2	1	27,465	41,422	19,216	37,654	55,199	46,429
3	1	27,247	41,901	18,892	38,485	69,690	48,214
4	1	27,257	42,071	18,862	38,085	69,334	48,214
5	1	25,140	43,764	16,629	39,605	83,291	48,214
6	1	24,922	43,770	16,449	39,720	82,745	48,214
7	1	24,673	43,901	16,205	39,138	82,009	48,214
8	1	23,660	44,024	14,666	37,556	89,364	53,571
9	1	22,810	43,938	14,014	37,971	89,043	53,571
10	1	22,412	43,907	13,706	37,981	88,153	46,429
11	1	21,865	43,404	12,991	34,477	90,071	39,286
12	1	22,001	43,345	13,044	34,724	91,310	41,071
13	1	22,077	43,301	13,075	35,162	91,989	41,071
14	1	22,379	43,163	13,189	36,531	93,590	41,071
15	1	22,567	43,047	13,260	36,185	93,027	44,643
16	2	39,409	62,818	25,637	59,566	120,719	75,000
17	2	38,741	61,257	25,045	57,858	128,181	67,857
18	2	38,466	61,253	24,812	58,197	129,239	66,071
19	2	36,749	58,661	24,269	57,658	129,723	66,071
20	2	35,517	58,172	23,643	56,241	130,515	64,286
21	2	39,148	62,776	25,350	60,435	120,528	75,000
22	2	38,569	61,436	24,816	57,405	128,181	67,857
23	2	38,301	61,441	24,587	57,745	129,239	67,857
24	2	38,643	62,618	24,866	60,790	121,723	76,786
25	2	38,162	61,525	24,393	58,646	129,381	67,857
26	2	37,900	61,537	24,168	58,956	130,293	67,857
27	2	36,232	59,065	23,640	58,175	130,778	67,857
28	2	35,674	58,786	23,364	57,558	130,997	67,857
29	2	35,155	58,666	23,094	57,649	130,997	66,071
30	2	38,117	61,589	24,332	58,538	129,381	67,857
31	2	37,857	61,604	24,108	58,878	130,115	67,857
32	2	36,195	59,146	23,582	58,232	130,600	67,857
33	2	35,639	58,870	23,307	57,444	130,819	67,857
34	2	35,122	58,753	23,038	57,592	130,819	66,071
35	3	43,726	69,672	28,167	69,040	138,231	80,357
36	3	43,562	69,781	27,980	68,174	138,847	78,571
37	3	43,633	70,050	27,935	68,330	138,847	76,786
38	3	42,728	69,972	27,441	68,845	139,168	75,000
39	3	43,982	69,702	28,369	69,016	138,182	82,143
40	3	43,821	69,812	28,182	68,331	138,086	80,357
41	3	44,044	70,145	28,179	67,953	137,602	78,571
42	3	43,689	70,131	27,981	68,192	137,929	76,786
43	3	43,252	70,092	27,744	68,468	138,734	75,000
44	3	43,155	70,074	27,691	68,590	138,847	75,000
45	3	43,268	70,053	27,757	68,950	138,847	75,000
46	3	43,288	70,027	27,768	69,016	138,847	75,000
47	3	43,359	70,001	27,822	69,172	138,847	75,000
48	3	43,363	69,987	27,823	69,351	138,983	75,000
49	3	43,403	69,959	27,848	69,526	139,100	75,000

50	3	43,426	69,710	27,845	69,850	137,910	75,000
51	3	43,380	69,478	27,818	70,214	137,322	76,786
52	3	43,310	69,293	27,785	70,508	137,375	76,786
53	3	42,855	69,834	27,157	66,531	137,607	78,571
54	3	41,950	69,756	26,664	67,537	139,489	76,786
55	3	42,059	69,725	26,728	67,781	139,376	76,786
56	3	42,079	69,699	26,739	67,961	138,889	76,786
57	3	42,146	69,663	26,790	68,038	138,880	76,786
58	3	42,151	69,650	26,792	67,943	138,880	76,786
59	3	42,188	69,616	26,815	67,843	138,880	76,786
60	3	43,215	69,501	27,598	67,110	137,284	83,929
61	3	43,278	69,945	27,408	66,606	136,138	80,357
62	3	42,522	69,827	26,997	66,449	138,987	76,786
63	3	42,593	69,801	27,051	66,631	139,150	76,786
64	3	42,597	69,787	27,053	66,717	139,311	76,786
65	3	42,637	69,759	27,077	66,892	139,393	76,786
66	3	42,543	69,093	27,014	69,497	135,774	78,571

Para verificar a influência dos pesos dados aos Pontos de Vista da Árvore Multicritério, foram realizadas três simulações no AHP. A primeira consiste em deixar todos os pesos com o mesmo valor e o resultado pode ser visualizado na Tabela 2 (10 melhores e 10 piores posições).

Tabela 2 – Hierarquização com Pesos Iguais

Alt.	Valor Global	CT1	CT2	CT3
39	0,016587977	47	48	66
35	0,016498356	47	49	66
40	0,016481392	46	48	66
60	0,016436850	47	48	64
41	0,016426208	45	48	66
36	0,016397374	46	49	66
37	0,016355547	45	49	66
51	0,016352871	35	48	66
52	0,016350985	34	48	66
42	0,016344574	44	48	66
...
7	0,012967914	60	0	0
9	0,012913926	58	0	0
2	0,012730917	65	0	0
1	0,012710506	66	0	0
10	0,012617815	57	0	0
15	0,012518206	48	0	0
14	0,012413421	49	0	0
13	0,012311413	50	0	0
12	0,012277468	51	0	0
11	0,012178720	52	0	0

A segunda simulação foi realizada deixando o critério Número de Chaves Telecomandadas Instaladas com o triplo do peso em relação aos outros critérios. As 10 melhores e 10 piores posições se encontram na Tabela 3.

Alt.	Valor Global	CT1	CT2	CT3
5	0,016483619	62	0	0
3	0,016468675	64	0	0
6	0,016457013	61	0	0
4	0,016455228	63	0	0
8	0,016442674	59	0	0
7	0,016405271	60	0	0
9	0,016363280	58	0	0
2	0,016220940	65	0	0
1	0,016205065	66	0	0
10	0,016132972	57	0	0
...
64	0,014670710	38	48	64
63	0,014666102	39	48	64
57	0,014660528	39	49	64
58	0,014657705	38	49	64
59	0,014657226	37	49	64
55	0,014653261	41	49	64
56	0,014652717	40	49	64
62	0,014652316	40	48	64
54	0,014639159	42	49	64
20	0,014634781	42	66	0

Tabela 3 – Hierarquização com Triplo de Peso para Número de Chaves Instaladas

Por último foi feita uma simulação desconsiderando os critérios relacionados aos Consumidores Especiais (CEs), e deixando o FEC com o dobro de peso em relação aos critérios restantes (DEC, END e Número de Chaves Telecomandadas Instaladas). A Tabela 4 contém as 10 melhores e 10 piores posições para a alocação das Chaves Telecomandadas seguindo tais critérios.

Alt.	Valor Global	CT1	CT2	CT3
41	0,016034822	45	48	66
39	0,016009832	47	48	66
40	0,015983994	46	48	66
42	0,015979335	44	48	66
37	0,015960819	45	49	66
35	0,015960423	47	49	66
36	0,015934141	46	49	66
49	0,015922048	37	48	66
47	0,015919236	39	48	66
48	0,015918395	38	48	66
...
6	0,014156641	61	0	0
7	0,014118430	60	0	0
8	0,013852356	59	0	0
9	0,013691528	58	0	0
10	0,013616778	57	0	0
15	0,013487391	48	0	0
14	0,013474566	49	0	0
13	0,013449097	50	0	0
12	0,013443337	51	0	0
11	0,013431365	52	0	0

Tabela 4 – Hierarquização Sem Considerar CEs e FEC

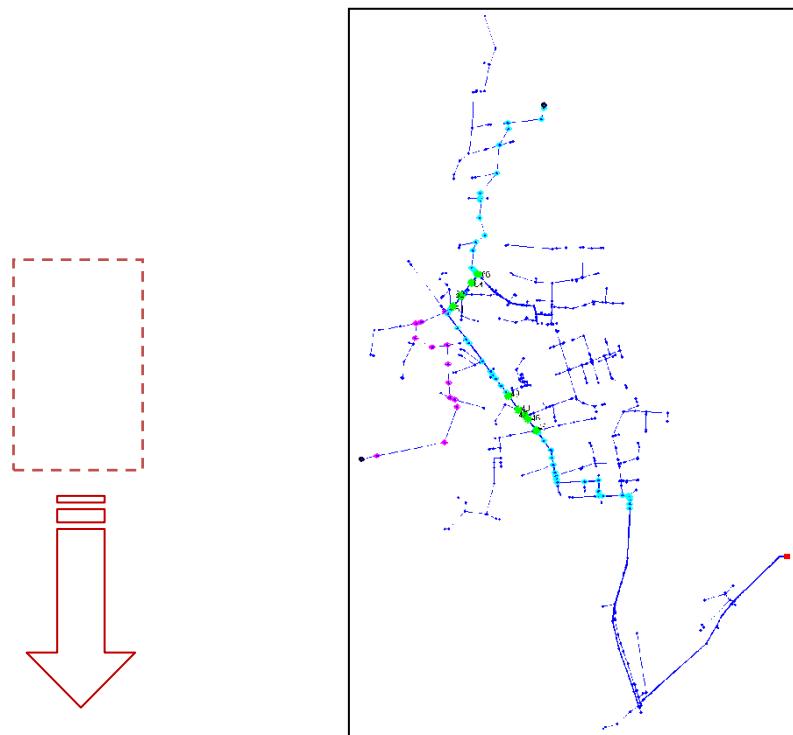
Na Figura 3 pode-se observar no traçado georreferenciado do alimentador as posições das Chaves Telecomandadas que ficaram melhor posicionadas nas três simulações realizadas, e que estão destacadas em cinza nas Tabelas 2, 3 e 4.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentada uma proposta de árvore de decisão multicritério para o problema de alocação de chaves telecomandadas em redes de distribuição. Foram utilizados dados de um alimentador real de uma concessionária do nordeste do Brasil e uma busca exaustiva foi executada, alocando de uma a três chaves ao longo do alimentador. Como destacado anteriormente, não foi possível a execução com quatro chaves, devido ao elevado tempo computacional que levaria para realizar todas as combinações possíveis.

Os resultados obtidos mostraram-se eficazes para as diversas simulações realizadas com os pesos selecionados, refletindo assim os possíveis objetivos da concessionária com a alocação das chaves telecomandadas.

Para solucionar o problema do elevado tempo computacional, possibilitando assim a alocação de mais do que três chaves simultaneamente no alimentador, estão sendo estudadas e implementadas técnicas de Inteligência Artificial como o PMOGA (*Pareto Multi-objective Genetic Algorithm* – Algoritmo Genético Multiobjetivo de Pareto).



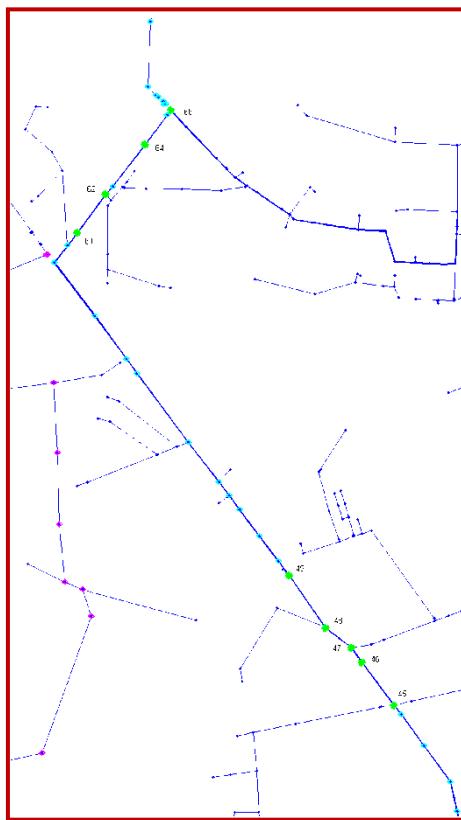
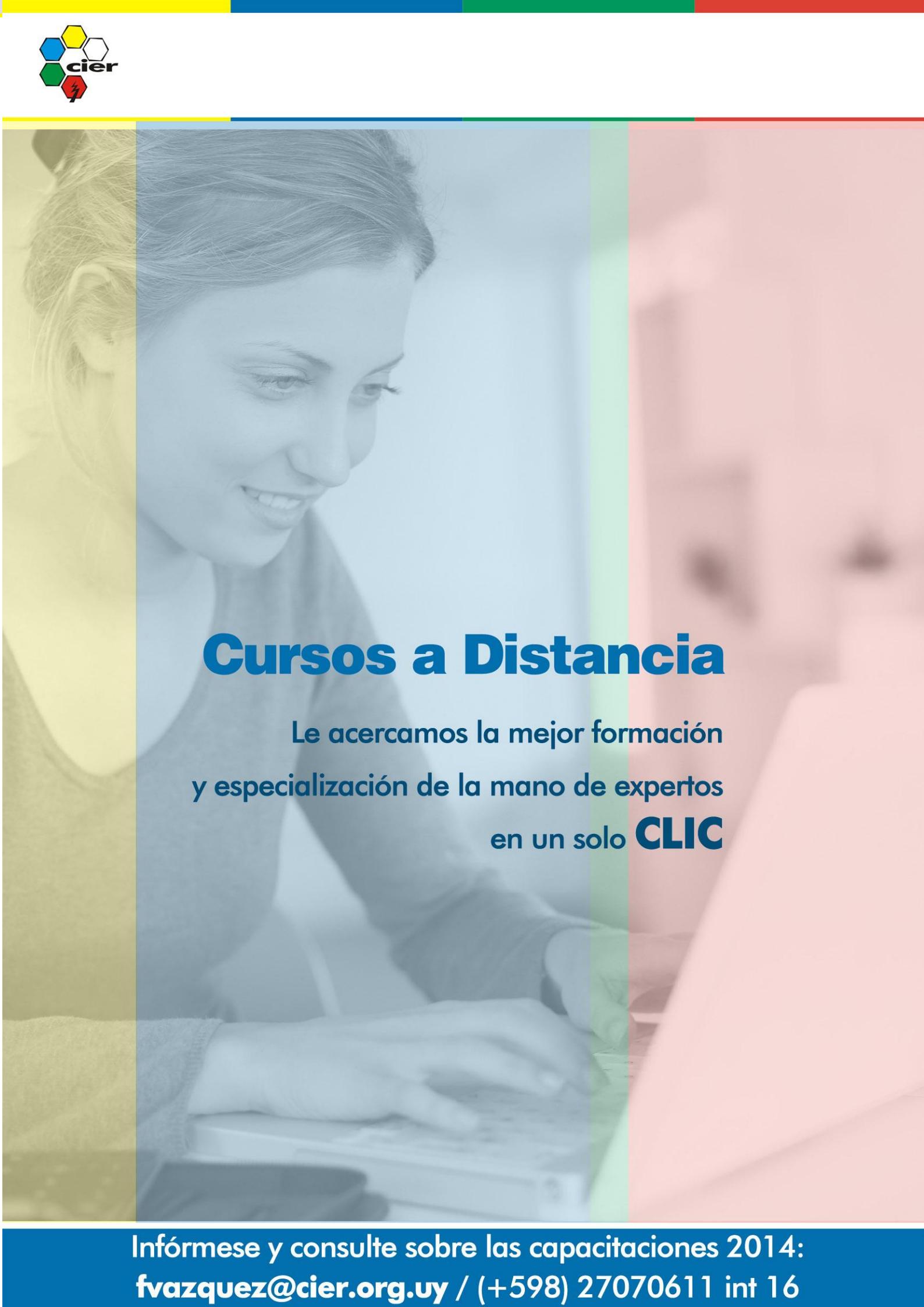


Figura 3 – Posições das Chaves Melhores Classificadas

Futuramente pretende-se também incorporar funções de custos na árvore multicritério, como valor de instalação e realocação das chaves telecomandadas, custo da Energia Não Distribuída, custo da manutenção evitada com a melhoria dos índices coletivos, entre outros.

Por fim, uma vez finalizada a árvore de decisão, uma multivotação deverá ser realizada entre os agentes responsáveis pela alocação das chaves telecomandadas (especialistas) a fim de definir os pesos que serão utilizados na árvore, lembrando que sempre que houver uma mudança de valores ou objetivos na empresa, os pesos podem ser revistos e alterados conforme a necessidade.

A grayscale photograph of a young woman with blonde hair, smiling and looking down at an open book she is holding. The background is a soft, out-of-focus gradient of yellow, blue, green, and red.

Cursos a Distancia

Le acercamos la mejor formación
y especialización de la mano de expertos
en un solo **CLIC**