



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

## ENSAYOS DE ACEPTACIÓN DE LOS PARARAYOS DE ALTA TENSIÓN EN LA FÁBRICA

Renan Knoll, Waldimir Batista Machado, Cláudio Morais

ITAIPU Binacional

Brasil / Paraguay

### RESUMEN

El siguiente artículo presenta las actividades realizadas durante la etapa en la División de Inspección de la hidroeléctrica de ITAIPÚ, un área responsable del Control de Calidad de la adquisición de nuevos equipos en la fábrica. En este estudio se abordará específicamente los ensayos en pararrayos. Los ensayos son realizados para asegurar que el equipo se ha construido para cumplir las normas en cuestión y funcionar adecuadamente en el plazo de vida útil estimada, con la disponibilidad y confiabilidad requerida.

### PALABRAS CLAVES

Controle de Qualidade, Pára-raios, Ensaios de Aceitação

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)



## 1 PÁRA-RAIOS

São dispositivos destinados a proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões transitórias elevadas, a limitar a duração e a intensidade da corrente subsequente.

### 1.1 Descrição

Os pára-raios são equipamentos responsáveis por funções de grande importância nos sistemas elétricos, contribuindo decisivamente para a sua confiabilidade, economia e continuidade de serviço porque, estando conectados próximos aos principais equipamentos da subestação, impedem que as sobretensões alcancem valores superiores àqueles para os quais os equipamentos foram projetados. A sua atuação tem por base a absorção de uma parte da corrente associada à onda de tensão que se propaga em direção aos equipamentos que protegem, fazendo com que a tensão no seu terminal não ultrapasse o valor máximo permitido. São utilizados para controle de sobretensões de qualquer natureza. A tensão no seu terminal, depende da magnitude e da forma de onda do surto incidente e da impedância de surto do sistema no qual o pára-raios está conectado.

De uma forma geral pode-se afirmar que se trata de um equipamento bastante simples do ponto de vista construtivo. Um pára-raios completo é constituído de um elemento resistivo não-linear (Carboreto de Silício, Óxido de Zinco, Peróxido de Chumbo), associado ou não a um centelhador em série, uma válvula de alívio de pressões internas para a atmosfera e o corpo, que destina a proteger e estruturar o pára-raios. Em operação normal o pára-raios é semelhante a um circuito aberto. Quando ocorre uma sobretensão o centelhador dispara e uma corrente circula pelo resistor não-linear, impedindo que a tensão nos seus terminais ultrapasse um determinado valor. É possível a eliminação do centelhador utilizando-se somente o resistor não-linear, se o material não-linear apresenta uma característica suficientemente adequada para esta finalidade.

### 1.2 Ensaios

São realizadas duas modalidades de ensaios para a aceitação de pára-raios: Ensaios de Tipo e de Rotina.

Os Ensaios de Tipo testam a confiabilidade do projeto. São ensaios geralmente destrutivos e fornecem uma comprovação de conformidade de todos os quesitos do produto. Consiste em uma seqüência de operações de ensaio. Estes ensaios verificam se o equipamento adquirido esta em conformidade com as características do projeto. Normalmente são aceitos relatórios de ensaios realizados em unidades similares ao produto em questão.

Os Ensaios de Rotina são ensaios não destrutivos, realizados em todo o lote ou em amostras, como forma de comprovar o desempenho do equipamento e assegurar que o produto satisfaça normas envolvidas.

## 2 ENSAIOS DE TIPO

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

## 2.1 Tensão suportável do invólucro a impulso atmosférico

O ensaio deve ser efetuado em conformidade com as recomendações da NBR 6936 para tensão normalizada de impulso atmosférico, com forma de onda 1,2/50  $\mu$ s. Durante cada ensaio devem ser aplicados quinze impulsos consecutivos de cada polaridade. A conformidade deve ser verificada de acordo com os seguintes critérios:

a) não deve haver nenhuma descarga disruptiva (descarga de contorno ou perfuração);

b) se somente uma descarga de contorno ocorrer, devem ser aplicados mais dez impulsos adicionais da polaridade correspondente e não deve ocorrer nenhuma descarga disruptiva em qualquer destas aplicações;

c) se ocorrer uma perfuração ou duas ou mais descargas de contorno, o equipamento deve ser considerado como não aprovado no ensaio.

## 2.2 Tensão suportável a frequência industrial sob chuva

O objetivo deste ensaio é verificar a suportabilidade do equipamento à aplicação de uma tensão de ensaio em frequência industrial, estando a estrutura submetida a uma chuva artificial de parâmetros normatizados.

A estrutura deve suportar a aplicação da tensão de ensaio durante o tempo especificado sem que haja a ocorrência de perfuração do dielétrico, descargas disruptivas ou quaisquer outras anormalidades.

## 2.3 Tensão residual

É a tensão que surge entre os terminais do equipamento após a passagem de uma corrente de descarga. O ensaio deve ser efetuado conforme a norma IEC 60099-1.

O ensaio de tensão é efetuado em conformidade com os itens 7.1 e 8.1 da norma IEC 60099-1 em três amostras de pára-raios completos ou em seções. A tensão nominal de ensaio das amostras deve ser de pelo menos 3 kV se a tensão nominal do pára-raios não for inferior a esta e não deve exceder a 12 kV.

### 2.3.1 Para impulso atmosférico

O ensaio deve ser executado conforme a norma IEC 60099-4, aplicando-se a corrente nominal de descarga padronizada, com forma de onda 8/20  $\mu$ s, sendo que o valor medido deve ser inferior ao especificado.

### 2.3.2 Para impulso de corrente íngreme

O ensaio deve ser executado segundo a norma IEC 60099-4 com impulso de corrente de frente íngreme, com forma de onda 1/20  $\mu$ s e valor de pico igual ao da corrente

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)



de descarga nominal.

### **2.3.3 Para impulso de Manobra**

Aplicar um impulso de corrente com tempo virtual de frente entre 30 e 100  $\mu$ s e tempo virtual até o meio valor de cauda de aproximadamente duas vezes o tempo virtual de frente, com valores especificados na norma IEC 60099-4 e tolerância de  $\pm 5\%$ . A maior tensão obtida nas correntes especificadas na norma IEC 60099-4 é o nível de proteção a impulso de manobra.

### **2.4 Corrente suportável de baixa intensidade e longa duração**

O ensaio deve ser realizado conforme norma IEC 60099-4 em pára-raios completo ou em seção termicamente equivalente, devendo o mesmo suportar uma corrente de 75 A, onda retangular, com uma duração virtual de crista de 1000  $\mu$ s.

### **2.5 Corrente suportável de alta intensidade e curta duração**

O ensaio deve ser realizado conforme norma IEC 60099-4, o pára-raios deve suportar os efeitos térmicos, elétricos e mecânicos de uma corrente de 100 kA, onda 4/10  $\mu$ s, valor de crista.

### **2.6 Ciclo de operação**

Este ensaio deve ser realizado conforme norma IEC 60099-4, em pára-raios completos ou em seções termicamente equivalentes de, no mínimo, 12kV. Se o ensaio for realizado em seções a equivalência térmica deve ser comprovada. Durante o ensaio não poderá haver atuação do desligador automático, descarga de contorno, perfuração ou qualquer tipo de dano aos resistores não lineares. A tensão residual sob corrente de descarga nominal não poderá sofrer variação superior a 5% em relação ao valor determinado antes do ensaio.

### **2.7 Estanqueidade**

#### a) medições Iniciais

- perdas ôhmicas medidas a um valor entre 80 e 100% da tensão nominal e temperatura ambiente de 20°C ( $\pm 15^\circ$ C);
- descargas parciais a 1,05 vezes a máxima tensão de operação contínua;
- tensão residual à corrente de descarga nominal.

#### b) Pré-Condicionamento

Um torque de 30 daN.m deve ser aplicado aos terminais do pára-raios durante 30



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

segundos.

A seguir as amostras devem ser submetidas ao condicionamento termo-mecânico que consiste na aplicação de uma carga de valor igual a 40% do momento fletor de engastamento do pára-raios completo em quatro direções ortogonais, em uma câmara climática com variações de temperatura conforme especificado.

As variações térmicas consistem de dois ciclos de aquecimento e resfriamento. As temperaturas dos períodos de aquecimento e resfriamento devem ser mantidas por, pelo menos, 16 h.

Os pára-raios devem permanecer imersos em água em estado de ebulição deionizada com 0,1% de NaCl, durante 42 h.

c) Ensaios de Verificação - Avaliação dos Resultados

Todos os ensaios devem ser realizados dentro de, no máximo, 8 h, com as amostras estabilizadas à temperatura ambiente, na seguinte seqüência:

- perdas ôhmicas medidas na mesma tensão utilizada nos ensaios preliminares: o incremento em relação à medição inicial deve ser inferior a 20%;

- descargas parciais: o valor não deve exceder 10 pC medido a 1,05 vezes a tensão nominal;

- tensão residual medida na mesma corrente de descarga utilizada nos ensaios preliminares: o desvio em relação à medição inicial não deve exceder 5%, adicionalmente os oscilogramas de tensão e corrente não devem indicar a ocorrência de descargas disruptivas;

- inspeção visual: qualquer alteração mecânica deve ser avaliada.

## 2.8 Poluição artificial

Estes ensaios são necessários para obter informações sobre o comportamento da isolação externa sob condições representativas de contaminação quando em serviço. Todavia não representam necessariamente uma condição particular de serviço. O grau de poluição especificado e os métodos de ensaio deverão ser objeto de acordo entre fabricante e o consumidor e são especificados na norma IEC 6000099-3. Durante o ensaio não deve ocorrer nenhuma descarga disruptiva.

## 3 ENSAIOS DE ROTINA

### 3.1 Controles visual e dimensional

Os pára-raios devem ser submetidos a uma inspeção visual onde deverão ser verificados acabamento, identificação, material e embalagem e inspeção dimensional onde são verificadas as dimensões estabelecidas nos desenhos aprovados pela empresa

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)



contratante.

### 3.2 Controle de revestimento anti-corrosão

Todas as peças ferrosas devem ser zincadas pelo método de Imersão a Quente conforme NBR 6323. Devem ser testadas a espessura (NBR 7399), aderência (NBR 7398), massa (NBR7397) e a uniformidade do revestimento (NBR7400).

As superfícies em aço inoxidável possuem maior resistência a ação oxidante.

### 3.3 Estanqueidade

O ensaio deve ser realizado na seguinte seqüência:

a) medições preliminares

- um torque de 30 daN.m deve ser aplicado aos terminais do pára-raios durante 30 segundos;

- tensão de referência para corrente de 1 mA;

- perdas ôhmicas entre 80 e 100% da máxima tensão de operação contínua;

- descargas parciais a 1,05 vezes a máxima tensão de operação contínua;

- tensão residual com corrente de descarga nominal.

b) as amostras devem então ser submetidas a quatro ciclos de aquecimento e resfriamento, como segue: inicialmente colocá-las em estufa onde devem permanecer por 1 h, a seguir transportá-las para um recipiente com água à temperatura ambiente, também por 1 h. A diferença entre a temperatura ambiente e a da estufa deve ser de  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ . Após estes quatro ciclos as amostras deverão ser imersas em água por um período mínimo de 12 h, findo o qual o processo deverá ser repetido por mais quatro ciclos.

c) medições após os ensaios e avaliação dos resultados

- tensão de referência para corrente de 1 mA: a variação não pode superar 5%;

- perdas ôhmicas medidas entre 80 e 100% da máxima tensão de operação contínua: o acréscimo deve ser inferior a 20%;

- descargas parciais a 1,05 vezes a máxima tensão de operação contínua: o acréscimo deve ser inferior a 20%;

- tensão residual com corrente de descarga nominal: o desvio em relação à medição inicial não deve exceder 5%; adicionalmente os oscilogramas de tensão e corrente



não devem indicar a ocorrência de descargas disruptivas;

- desmontagem e verificação visual da parte interna do pára-raios.

### 3.4 Tensão de referência

É a tensão em que o pára-raios deve atuar. Este ensaio deve ser realizado em pára-raios completos conforme prescrito na IEC 60099-4, não podendo ocorrer uma tensão inferior à especificada.

### 3.5 Descargas parciais;

Descarga parcial é uma descarga elétrica que ocorre numa região do espaço sujeita a um campo elétrico, cujo caminho condutor formado pela descarga não une os dois eletrodos de forma completa.

Descargas superficiais ocorrem em gases ou líquidos na superfície de um material dielétrico, normalmente partindo do eletrodo para a superfície. Quando a componente de campo elétrico que tangencia a superfície excede um certo valor crítico o processo de descarga superficial é iniciado. Descargas superficiais ocasionam alterações na superfície do dielétrico, iniciando caminhos condutores que se propagam ao longo da direção do campo elétrico. Este fenômeno, conhecido como trilhamento, pode levar à ruptura completa da isolação.

Descargas corona ocorrem em gases a partir de pontas agudas em eletrodos metálicos. Estes pontos concentradores de estresse, ou seja, partes com pequenos raios de curvatura, formam regiões nas vizinhanças do condutor com campo elétrico elevado, o qual ultrapassa o valor de ruptura do gás, dando origem a ocorrência de descargas parciais. Descargas corona no ar geram ozônio, o qual pode causar o fissuramento da isolação polimérica. Óxidos de nitrogênio combinados com vapor de água podem corroer metais e formar depósitos condutores na isolação promovendo o trilhamento do material.

Descargas internas ocorrem em inclusões de baixa rigidez dielétrica, geralmente vazios preenchidos com gás, presentes em materiais dielétricos sólidos utilizados em sistemas de isolação de alta tensão. Um tipo particular de descargas internas são as descargas que ocorrem em arborescências elétricas.

A arborescência elétrica é um fenômeno de pré-ruptura que ocorre no interior da isolação de equipamentos elétricos, tais como cabos de potência isolados, tendo sua origem devido à ocorrência contínua de descargas parciais internas (em vazio ou a partir de uma falha no eletrodo).

Os ensaios de descargas parciais são realizados em pára-raios completos, ou em seção, sendo submetidos a uma tensão de frequência industrial até sua tensão nominal. Após 10 segundos deve ser reduzida para 1,05 vezes a tensão de operação contínua, na qual deve ser feita a medição do nível de descargas parciais (IEC 60270). O valor

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

encontrado não deve exceder 10 pC. O corpo de prova deve ser blindado contra descargas parciais externas.

### **3.6 Característica de Tensão e frequência industrial x tempo;**

O fabricante deve atender as sobretensões máximas previstas no sistema, suportáveis pelo pára-raios.

### **3.7 Ensaio Mecânico de Terminais, Desligador e Suporte de Fixação.**

O suporte de fixação deve suportar um esforço igual a três vezes o peso do pára-raios, e também um torque de 3 daN.m aplicado ao parafuso de fixação.

Os terminais com os condutores de maior seção para os quais foram projetados, devem suportar um torque de 2,4 daN.m, aplicado simultaneamente a ambos, mantido por pelo menos 1 minuto. Após a retirada não podem ocorrer ruptura, deformação permanente (tanto nos conectores quanto no desligador automático), perda de vedação ou qualquer tipo de dano aos condutores.

### **3.8 Ensaio do desligador automático**

O ensaio deve ser efetuado conforme IEC 60099-4 (2006), em pára-raios de 12 e 30 kV, a característica tempo x corrente deve ser obtida considerando-se, no mínimo, os níveis de corrente, em regime simétrico, correspondentes aos valores eficazes de 20, 80, 200 e 800 A, com tolerância de 20%.

A tensão de ensaio não deve exceder 6 kV e os oscilogramas devem incluir as formas de onda da tensão e corrente aplicadas.

A coordenação entre elo e desligador deve ser verificada através da atuação do desligador ou pela atuação do desligador e elo fusível. Em ambas as situações, a separação entre o cabo de aterramento e o corpo de prova deve ser efetiva e permanente.

## **4 CONCLUSÃO**

Através da análises dos resultados obtidos nos ensaios de tipo e de rotina, podemos verificar se os equipamentos estão de acordo com sua especificação técnica e características de projeto. A aprovação nos ensaios garante a qualidade dos equipamentos adquiridos de modo que não ocorram falhas durante a operação.

Os ensaios de Aceitação Técnica de pára-raios apresentaram um avanço na metodologia de testes a partir da emenda efetuada em 1996, oferecendo um detalhamento maior dos testes a serem realizados no Fabricante.

O trabalho acima, também, prevê a necessidade de estudo complementares envolvendo os Procedimentos de Ensaio Elétricos aplicáveis.

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)





Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

## 5 REFERÊNCIAS

- [1] Baptista, Gildo Neves. PÁRA-RAIOS EM SISTEMA DE POTÊNCIA. Recife, CHESF, 1985
- [2] INTERNATIONAL ELECTROTECHINICAL COMMISSION IEC 60099-1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems. Suíça, 1999.
- [3] INTERNATIONAL ELECTROTECHINICAL COMMISSION IEC 60099-3: Artificial Pollution testing of surge arresters. Suíça, 1990.
- [4] INTERNATIONAL ELECTROTECHINICAL COMMISSION IEC 60099-4: Metal-oxide surge arresters without GAPS for a.c. systems. Suíça, 2006.
- [5] INTERNATIONAL ELECTROTECHINICAL COMMISSION IEC 60270: High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements. Suíça, 2001.
- [6] Cunha da Silva, Guilherme. DESCARGAS PARCIAIS ESTIMULADAS POR RAIOS-X CONTÍNUO E PULSADO EM MATERIAIS DIELÉTRICOS: SIMILARIDADES E DIFERENÇAS. Curitiba – PR, 2005.
- [7] NORMA TÉCNICA CELG – NTC 13. Pára-Raios a Óxido Metálico sem Centelhadores. Janeiro de 2006
- [8] NORMA TÉCNICA COPEL - NTC 810033. Pára-raios de distribuição. Janeiro de 2006
- [9] ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA COELCE - ET 155/2008. Pára-raios de óxido de zinco. Março de 2008

Renan Knoll, e-mail: [renanknoll@hotmail.com](mailto:renanknoll@hotmail.com)