



**XXI SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - 001**

**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRAULICA- GGH**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE MONITORAÇÃO DE BARRAGEM DE ITAIPU BINACIONAL**

**César Alfredo Cabrera Bogado (\*)  
ITAIPU BINACIONAL**

**RESUMO**

A experiência de vários anos de auscultação e análise das estruturas civis de Itaipu confirma que a pesar de existir a estabilização das principais tensões e deformações atuantes nas estruturas civis, alguns fenômenos, somados as variações da temperatura ambiente, mantém certo dinamismo no quadro geral do comportamento.

Por isso, a “Monitoração” das mesmas é de fundamental importância para verificar se a situação continuará estável o apresentará alguma evolução, na vista da dinâmica mencionada e á larga vida útil esperada, que garantisse a segurança estrutural, portanto a operação das unidades geradoras.

Este documento apresenta informações específicas acerca do funcionamento e manutenção (Hardware e Software) do Sistema de Aquisição Automática de Dados (ADAS, sigla em inglês), para a Instrumentação Civil da barragem de Itaipu, que consiste na modernização do Sistema de Monitoração das Estruturas Civis, que anteriormente que baseava seu funcionamento unicamente na aquisição de dados a través das leituras manuais dos diversos instrumentos instalados na Barragem, que tinham uma periodicidade diária, semanal e mensal, mediante a implantação de uma ferramenta no tempo real, é dizer a través de um Sistema Automatizado de Monitoração “On-line” com instrumentos e sensores (mais de 300) que se encarregam da interconexão com o campo, traduzindo um fenômeno específico com a precisão requerida.

Este sistema tem como objetivo principal, Supervisar o comportamento das presas de concreto, de pedra, de terra e de suas fundações, por dita razão, considerando que todos os instrumentos de auscultação são dotados de valores de controle, será possível, proceder á rápida detenção de eventuais anomalias no comportamento da presa, de modo a otimizar e agilizar o análise das causas e assim proceder á toma de decisão das medidas corretivas.

Os instrumentos e sensores instalados nas diversas estruturas estão conectados ás Unidades de Aquisição Remotas (UARs), com vista á aquisição automática (determinada por uma frequência de coleta parametrizável pelo Administrador do Sistema) das informações que posteriormente serão transmitidas a pedido, em forma automática á Estação Central (CDA) para seu tratamento, armazenamento e processamento.

As informações provenientes do campo uma vez processadas pela Estação Central (CDA) poderão ser visualizadas finalmente, via rede LAN a través de uma Estação do Usuário (ECA), em donde o análise e as interpretações das magnitudes medidas será realizado a través do uso das ferramentas de um Software Customizado, que otimizará ao máximo as operações necessárias para a avaliação do estado e desempenho das estruturas civis e de suas fundações.

A Rede LAN utilizada para a conexão da Estação Central (CDA) com a Estação do Usuário (ECA), ha sido conectada também ao Sistema SCADA (Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados), aos efeitos de enviar as informações para a emissão de alarmas quando exista um aumento indevido em os valores limites de controle.

## PALAVRAS-CHAVE

Auscultação, Monitoração, Barragem, Instrumentação Civil.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Automático de Aquisição de Dados (ADAS) visa monitorar o comportamento de barragens de concreto, de pedra, de terra e de suas fundações, em tempo real, através de um sistema automatizado para monitoramento "On-line" com instrumentos e sensores, com vista à aquisição automática de informações, com frequência de coleta configurável pelo usuário.

Vários grupos de sensores estão ligados as Unidades Aquisição Remotas (UARs), onde as informações derivadas deles são transmitidas automaticamente para uma estação central (CDA) para o tratamento, armazenamento e processamento e, que finalmente, poderá ser visualizada através de uma Estação do Usuário (ECA).

### 1.1. As principais características do ADAS podem ser assim resumidas:

- \* Aquisição automática de dados de mais de 300 pontos de medição através de diferentes tipos de Sensores ligados aos instrumentos existentes e novos.
- \* Coleta de dados, rápida e segura, com frequência definida através das Unidades de Aquisição Remota (UARs) e transferencia dos mesmos entre estas e a Central de Controle e Processamento do Sistema, conhecido como CDA.
- \* Para a análise e interpretação das variáveis medidas é utilizado um software personalizado que está instalado na estação cliente (ECA). Este software tem as ferramentas necessárias para a otimização completa, a avaliação do status e dados de desempenho das estruturas civis e suas fundações.

## 2. COMPOSIÇÃO GERAL DO SISTEMA ADAS

### 2.1. Subsistemas em que o Sistema ADAS é dividido basicamente:

#### 2.1.1. Subsistema de Sensores e Instrumentos (descrito no item 3)

Gerencia a interface da interligação com o campo, onde cada sensor ou instrumento traduzirá um fenômeno específico com uma precisão necessária.

##### 2.1.1.1 Tipos de Sensores

- Pêndulos Diretos.
- Pêndulos Inversos.
- Medidores de Vazão.
- Extensômetros.
- Piezômetros.
- Medidores de Tensão.
- Pluviômetros.
- Termômetros.

## 2.1.2. Subsistema de Unidades de Aquisição Remota (UARs).

### 2.1.2.1. Características das Unidades das Estações Remotas.

- ☐ Gestão de Interface com os instrumentos e sensores.
- ☐ Monitora o estado de instrumentos e sensores.
- ☐ Supervisionar a recolha de leituras feitas.
- ☐ Armazena e processa dados a partir das leituras feitas.
- ☐ Transmissão de Dados (A pedido) para a Estação Central (CDA).
- ☐ Transmissão de Dados para a Estação Central é feita através do par telefónico e duas UARs o fazem via rádio até uma distancia determinada e, em seguida, através de um par telefónico.
- ☐ Auto-diagnóstico de falhas e geração de alarmes.
- ☐ Parametrização in Situ (via laptop) ou por Comando da Estação Central.
- ☐ Alimentadas pela rede eléctrica local de 220 Vac e duas estações são alimentadas por um sistema de energia com painéis solares.

### 2.1.2.2. Descrição de Componentes Principais da UAR.

- Multiplexor Canary Systems, modelo MultiMux.
- Datalogger Campbell Scientific, modelo CR10X2M.
- Interfase para Corda Vibrante Campbell Scientific, modelo AVW1.
- Short Range Modem.
- Supresor de Picos.
- Convertidor RS232/485.
- Convertidor DC/DC.
- Power Supply 220Vac/13,8 Vcc.

## 2.1.3. Subsistema de Comunicação, Controle e Processamento Central (ver Figura 1).

### 2.1.3.1. Características da Estação Central (CDA).

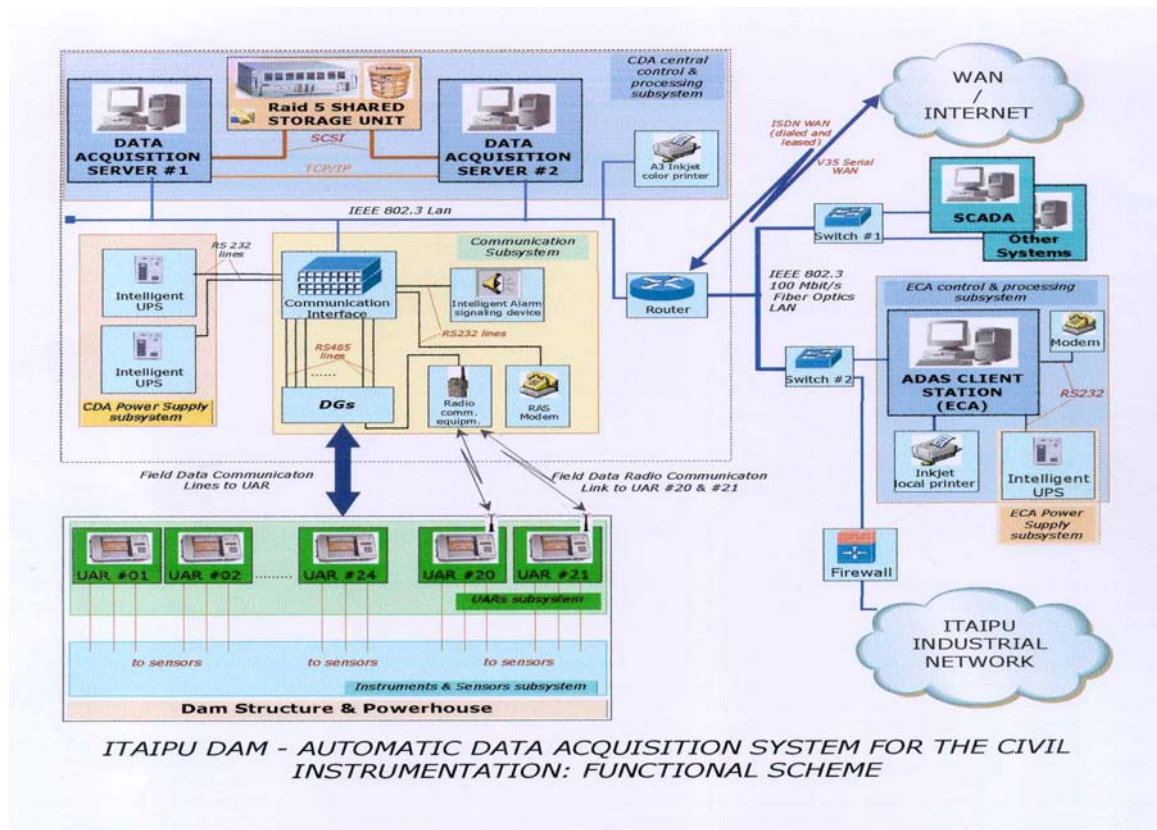
- \* Núcleo e Gestão total do Sistema ADAS.
- \* Obtenção de dados das Remotas.
- \* Armazenamento e Processamento de Dados.
- \* Conversão de leituras para unidades de engenharia.
- \* Configuração e parametrização do Sistema.
- \* Apresentação e geração de alarmes.
- \* Backup de dados (back-up) e Restauração.
- \* Apresentação Dados do Usuário (ECA) e alarmes.
- \* Comunicação com outros Sistemas.

### 2.1.3.2. Software utilizado no Centro de Aquisição e processamento de Dados

- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| * Sistema Operativo:            | Microsoft Windows Server 2000. |
| * Gestor de Base de Dados:      | Microsoft SQL Server 2000.     |
| * Aplicação:                    | INDACO (Enel.NewHydro).        |
| * Base de Dados:                | Interna - Proprietária.        |
| * Base de Dados de Intercambio: | MS SQL Server 2000.            |

O Software de aplicação chamado INDACO, de propriedade da Companhia Enel.Hydro, tem as seguintes características gerais:

- ☐ Gerenciamento de Conexão à Internet / Intranet.
- ☐ Gestão de Alarmes.
- ☐ 24 Horas de Aquisição e Supervisão de Dados.
- ☐ Validação de Dados.
- ☐ Modelagem matemática.
- ☐ Suporte para manutenção.
- ☐ Apresentação de Dados IHM (interface homem / máquina).



**Figura 1: Esboço geral do Sistema ADAS**

#### 2.1.4. Subsistema de Manejo de Alimentação de Energia.

Composto por equipamento específico para as UARs, CDA e ECA.

A Fonte de Alimentação Ininterrupta (UPS), com um alto grau de confiabilidade, em um regime 24horas/365dias é responsável pelo fornecimento de energia elétrica necessária para o funcionamento da Central de Processamento (CDA), bem como da Estação Cliente (ECA).

### 3. DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE LEITURAS AUTOMATIZADAS

A instrumentação para a auscultação das Estruturas Civas da Itaipu consiste em mais de 2.000 instrumentos instalados e funcionando.

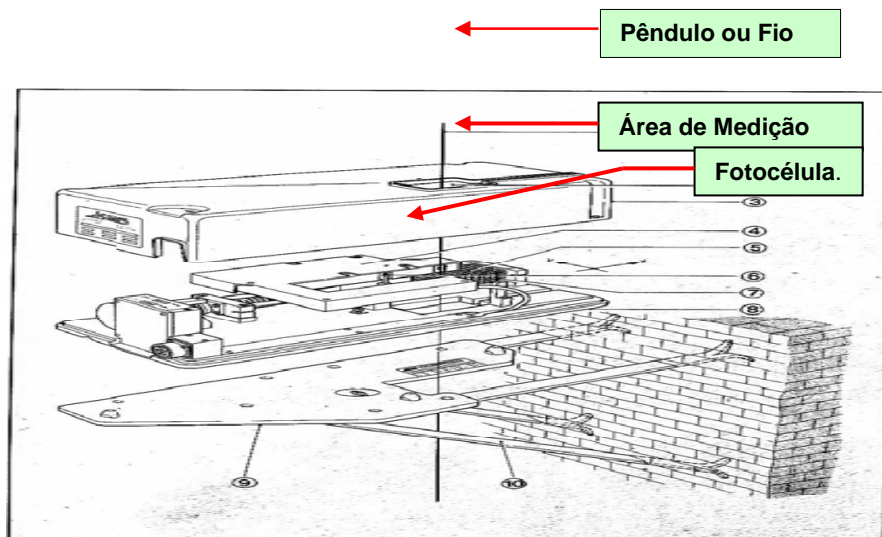
Desse total, foram selecionados para serem automatizados os instrumentos que representam as quantidades consideradas importantes para avaliar a segurança de estruturas e de suas fundações.

#### 3.1. Descrição das Leituras Automatizadas:

##### 3.1.1. Medição de Deslocamento Horizontal das Estruturas.

As leituras são feitas por instrumentos chamados pêndulo direto e pêndulo invertido, medem os deslocamentos da crista da barragem em relação à sua base ou pontos mais profundos do Maciço rochoso da fundação.

Essas leituras são automatizados através de um dispositivo eletrônico chamado Telecoordinómetro óptico (ver Figura 2) que monitora os movimentos em dois eixos ortogonais (X e Y) para uma exatidão de 0,02 mm em X e 0,03 mm. em Y.

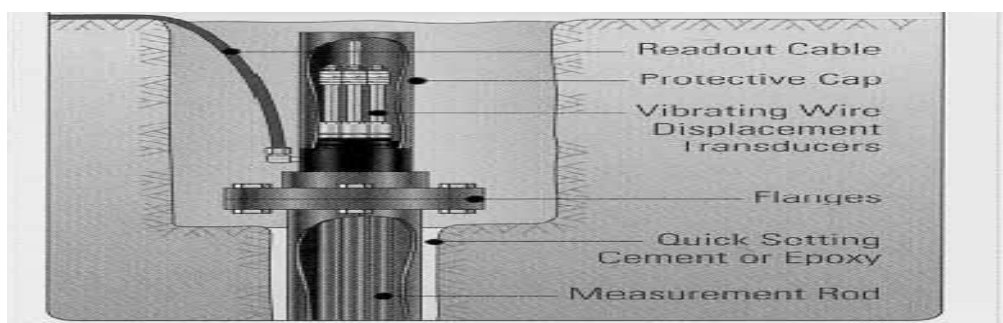


**Figura 2: Telecoordinômetro Óptico.**

### 3.1.2. Medição da Deformação do Maciço Rochoso da Fundação

As medições das deformações da Fundação de Itaipu são feitas através dos chamados Extensômetros de Barras Múltiplas que foram instalados nas capas mais deformáveis do *Maciço Rochoso* (em descontinuidades geológicas e nas distintas camadas geológicas), para as medidas de possíveis aberturas de juntas ou assentamentos em áreas do *Maciço Rochoso da Fundação*.

O sensor está localizado na parte superior destas barras, que consiste basicamente de um transdutor de corda vibrante com uma margem de erro de 0,1% da escala completa. A Figura 3 mostra o sensor (Vibrating Wire Displacement Transducer), que é anexado às barras dos Extensômetros para acusar o movimento das deformações da Fundação.



**Figura 3: Sensor para Extensômetros.**

### 3.1.3. Medição da Subpressão na Fundação

A *Subpressão* devido à permeabilidade do *Maciço Rochoso da Fundação* é medida convencionalmente através de piezômetros "Stand Pipe" ou elétrico tipo Geonor.

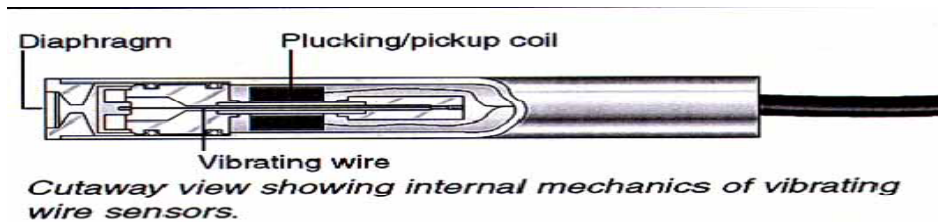
Dita medida no Sistema ADAS é automatizada através de sensores que possuem um diafragma de aço inoxidável com um transdutor de corda vibrante ligado a ele.

O aspecto exterior deste sensor é mostrado na Figura 4.



**Figura 4: Sensor Piezômetros.**

Basicamente, a pressão hidráulica agindo sobre a superfície exterior do diafragma provoca uma deformação do mesmo, e conseqüentemente a mudança da corda vibrante, troca de tensão mecânica alterando a frequência de vibração (ver Figura 5), que é então traduzido em unidades de pressão (MPa), com uma margem de erro de 0,1% da escala completa.



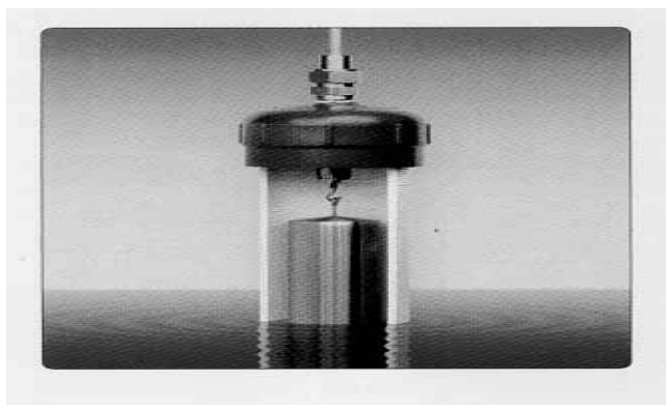
**Figura 5: Sensor de Corda Vibrante.**

#### 3.1.4. Medição de Vazão de Filtração

Convencionalmente medições de vazão são feitas através de medidores de placa triangular ou retangular. O sistema ADAS automatiza a coleta de tais informações através da utilização de sensores baseados no processo de cordas vibrantes.

Com esta metodologia, basicamente, o sensor é imerso no canal de medição.

Este dispositivo consiste de uma corda vibrante, semelhante ao dos outros sensores, ao mesmo é anexado um peso de massa específica maior que 1, ele recebe um empuxo hidrostático de acordo com a altura ou do nível de água canalizada (ver Figura 6), que se traduz na ECA na medida de  $\text{m}^3/\text{s}$  o  $\text{l/s}$  unidade, com uma margem de erro de 0,01% da escala completa.



**Figura 6: Sensor do Medidor de Vazão**

- 3.1.5. Medição de deslocamento das junções entre os blocos da Barragem, tensões no interior do concreto e as armaduras.

Os Medidores de Junções, como os das tensões internas do concreto e armaduras da casa de máquinas estão instalados e funcionando aproximadamente, há 20 anos.

São do tipo Carlson os que indicam valores de resistência elétrica, lidas através da Ponte de Wheatstone, traduzindo os deslocamentos em mm, e as tensões em MPa. Estes instrumentos são simplesmente interligados as UARs para fazer parte do sistema automático.

- 3.1.6. Medidas de precipitação no local da Barragem

Há dois pluviômetros, um em cada margem, para medir a precipitação em cada local. Os Sensores dos pluviômetros basicamente medem intervalos de pulso provenientes de 2 mm. de chuva dentro de um recipiente de aço inoxidável.

#### 4. CONTROLE E AVALIAÇÃO DE DADOS

Finalmente, no ADAS, a análise, e interpretação das variáveis medidas são feitas através de um software personalizado no ECA (Figura 7, Estação de clientes), com ferramentas para otimizar as operações necessárias para avaliar os dados de estado e desempenho das estruturas Civas e das suas fundações.

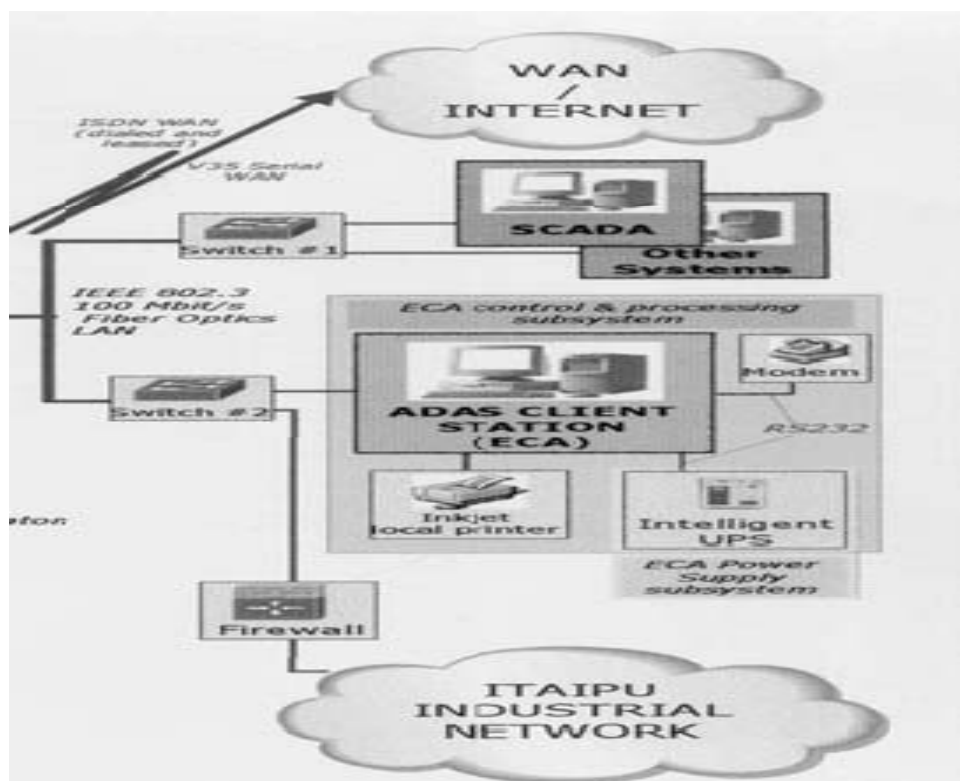


Figura 7: Diagrama da Estação Cliente (ECA)



## 5. CONCLUSÕES

O principal ponto importante da automação parcial da Instrumentação de Auscultação das estruturas civis da Barragem de Itaipu é que com o sistema de controle automático, é possível a detecção precoce de eventuais anomalias no comportamento da barragem, de modo a aperfeiçoar e agilizar a análise das causas e tomar decisões de ação corretiva para o qual todos os instrumentos de Auscultação foram equipados de valores de controle muito específicos.

Cabe mencionar que o fato de ter uma instrumentação automática, não significa que os outros tipos de instrumentos de Auscultação, lidos em forma convencional, sejam relegados para segundo plano, enquanto continuam a operar, também é essencial assegurar a atividade de inspeção visual de estruturas, realizada diretamente por os próprios técnicos leituristas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Especificação Técnica do Sistema ADAS. Itaipu de 2002, páginas 24/02

[2] Automatic Data Acquisition System for the Civil Instrumentation of the Dam (ADAS).  
Work Statement. Enel. Hydro. 2004, páginas 4-100.

[3] Estabelecimento de Níveis de alerta para Instrumentação das Estruturas Civis. Itaipu de 2002, páginas 5-35.

## 7. DADOS BIOGRÁFICOS

- Nome: César Alfredo Cabrera Bogado.
- Local e Ano de Nascimento: Assunção, Paraguai – 13 de julho de 1.958.
- Local e Ano de Graduação:
  - 1.982 – Faculdade Politécnica - Universidade Nacional de Assunção, Paraguai - Formado como Técnico Superior em Eletrônica.
  - 1996 - Faculdade de Ciencias Informáticas - Universidade Católica - Ciudad del Este, Paraguay. Formado como Licenciado em Análise de Sistemas,
  - 2004 - Faculdade de Engenharia Informática – Universidade Privada del Este, Ciudad del Este, Paraguai - Formado como Engenheiro em Informática.
- Experiência Profissional:
  - Desde 1984, trabalhei na Usina hidroelétrica da Itaipu Binacional, como técnico na área de telecomunicações (Microondas, VHF Sistemas, Sistemas de Telemetria, Telefonia), de Teleproteção (Carrier System), de Redes Sismológicas e de Sistemas de Monitoramento por Sensores.
  - Desde 2007, trabalho como Engenheiro na área da Engenharia de Manutenção Eletrônica (Área de Telecomunicações e Sistemas de Monitoramento por Sensores).