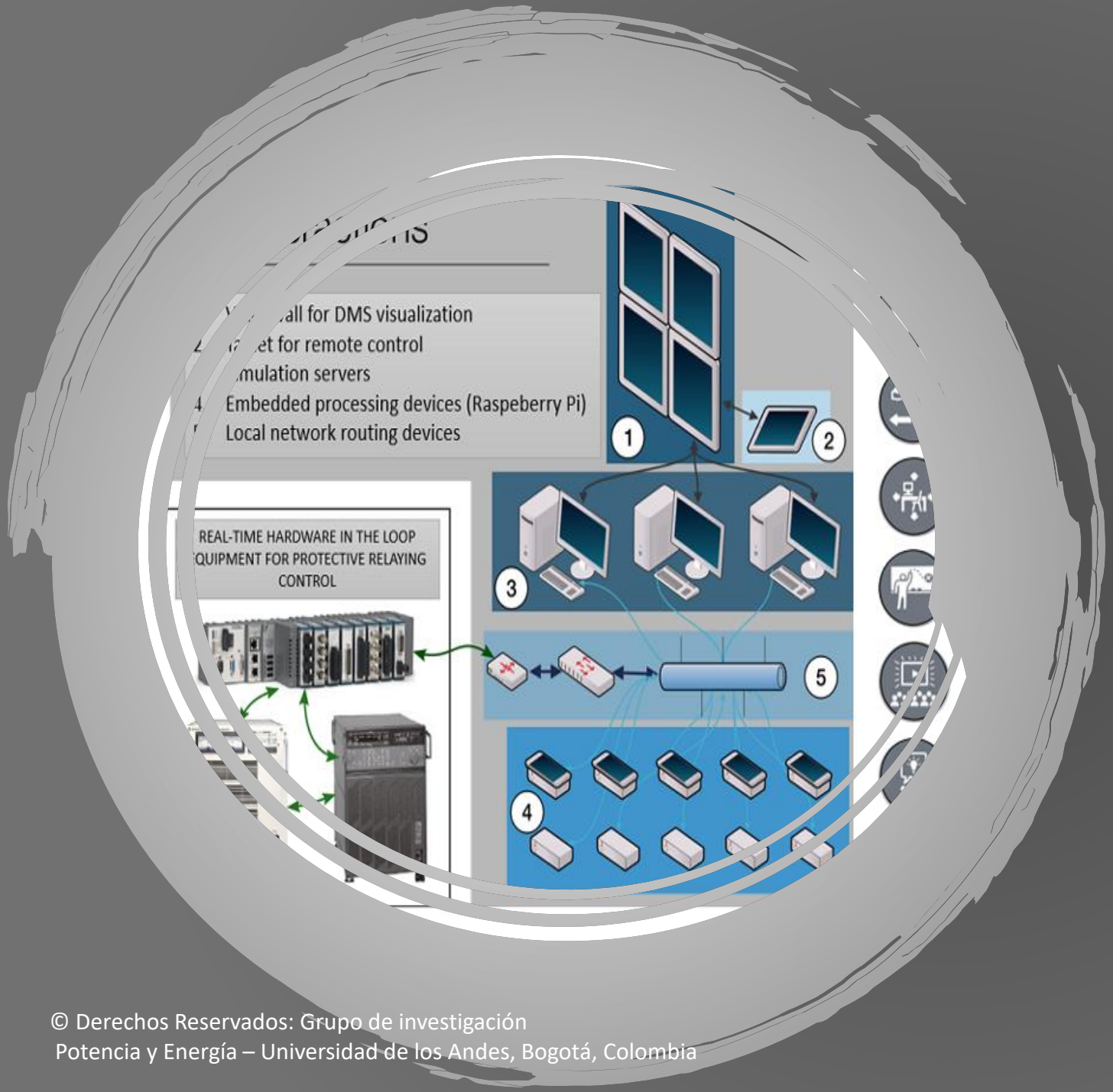


7ª Jornada Técnica del Comité de Distribución

Transformación energética, la nueva apuesta en redes de distribución

Experiencias en la simulación en tiempo real y los gemelos digitales aplicado al análisis de sistemas de distribución

Ing. Gustavo A. Ramos L. Ph.D.
(gramos@uniandes.edu.co)
Profesor Asociado
Departamento de Ingeniería Electrica y Electrónica
Facultad de Ingeniería Universidad de Los Andes
Bogotá-Colombia

© Derechos Reservados: Grupo de investigación
Potencia y Energía – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Temas de la presentación

- Contexto de la simulación en tiempo real y gemelos digitales.
- Aplicación en sistemas de potencia
- Experiencias en el desarrollo
- Temas por discutir

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Contexto de aplicación - Gemelo digital

Airbus integra simulaciones y modelos RT en el desarrollo de su A350

El sistema se diseñó para proporcionar una visión simulada en tiempo real de cada una de las partes del avión.

- Aceleración del proceso de desarrollo
- Simulación del proceso de fabricación
- Formación del equipo de mantenimiento de los clientes

Fuente: La Evolución de La Simulación, Penny Jones - Rafa M Claudín. Datacenter Dynamics

https://www.hispaviacion.es/la-evolucion-de-la-simulacion-2/

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

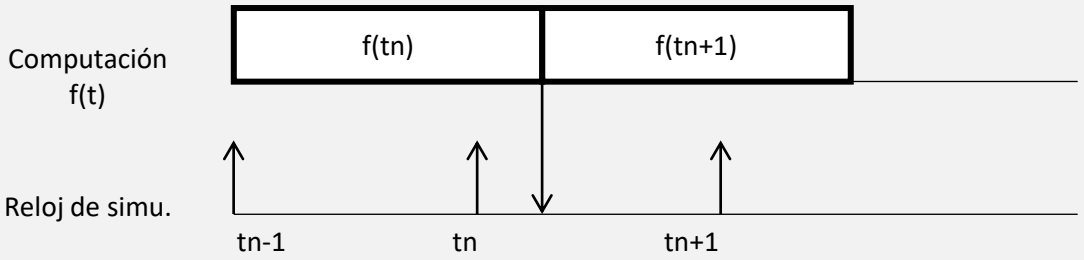
Simulación

- Proceso de cálculo que reproduce el comportamiento y los fenómenos que se presentan en un sistema eléctrico.
- El modelo permite conocer la respuesta ante condiciones de funcionamiento normal o anómala.
- On-Line vs. Off-Line:
  - Análoga: modelo físico reducido
  - Digital: Solución basada en métodos numéricos
  - Híbrida: reúne las capacidades de las anteriores

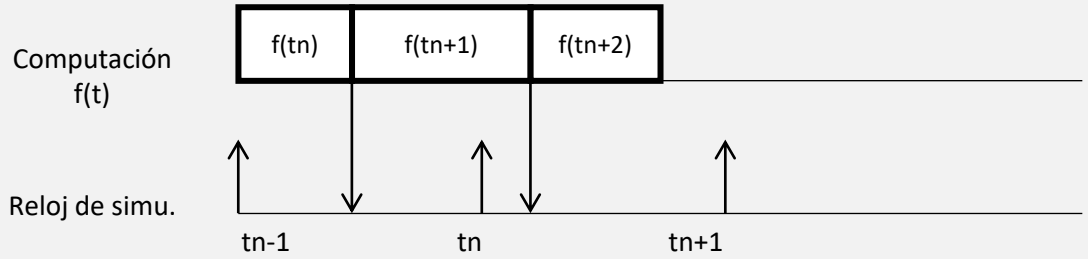
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Tipos de simulación

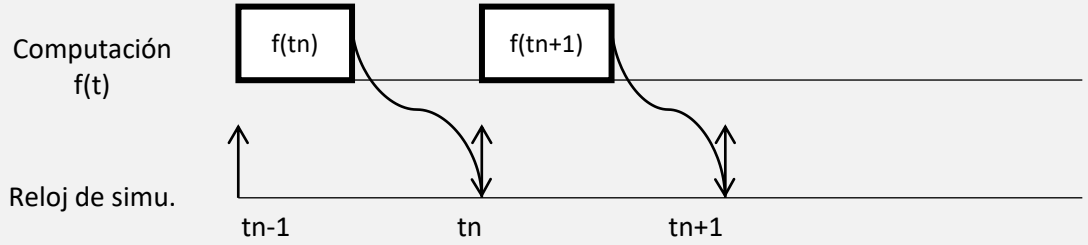
A) Simulación offline: más lenta que el tiempo real



B) Simulación offline: más rápida que el tiempo real



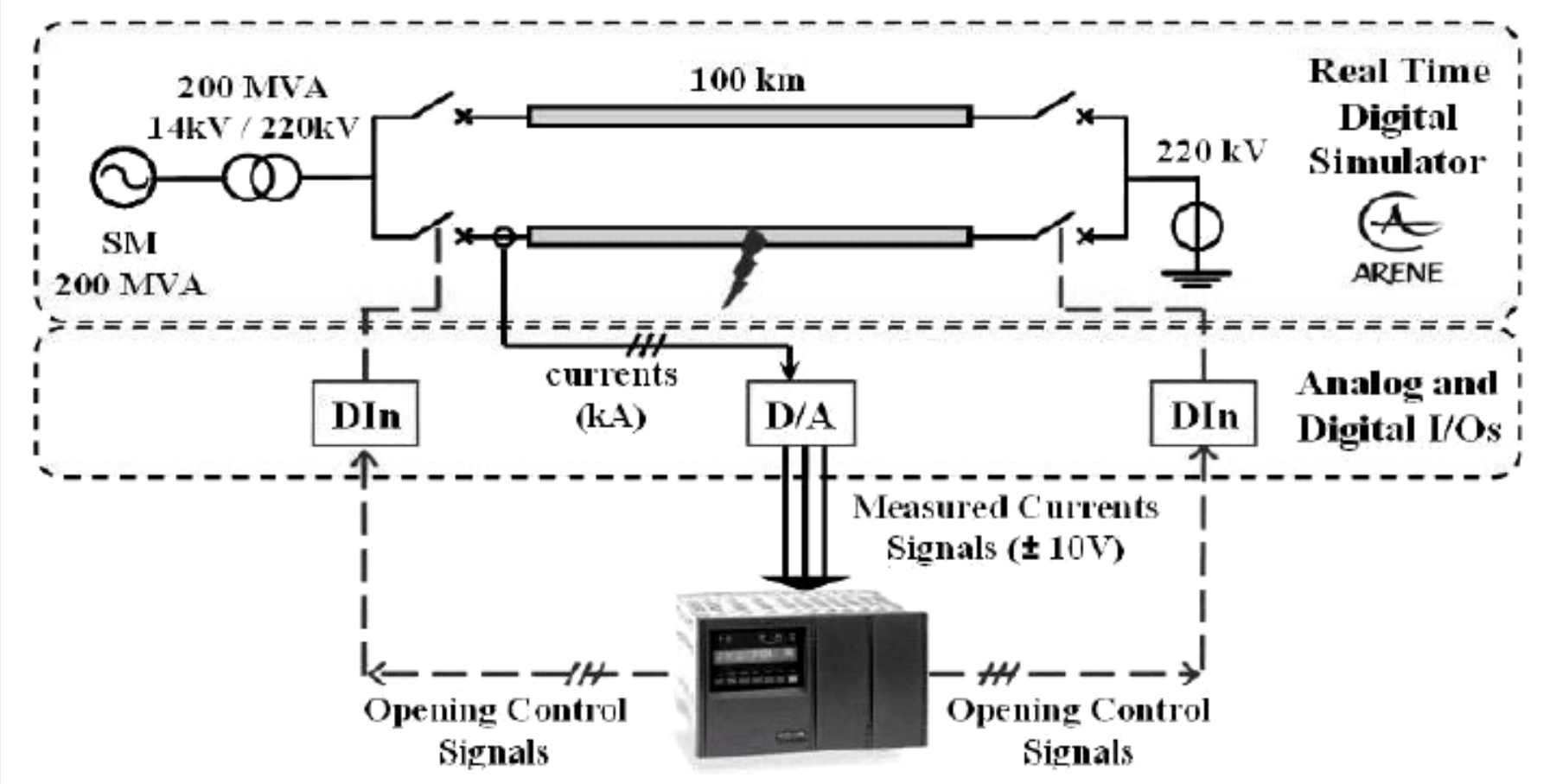
C) Simulación en tiempo real sincronizado



© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Fuente: Belanger, J.; Venne,P.; Paquin,J.-N.; , "The What, Where and Why of Real-Time Simulation," PES IEEE, general meeting, Oct. 2010

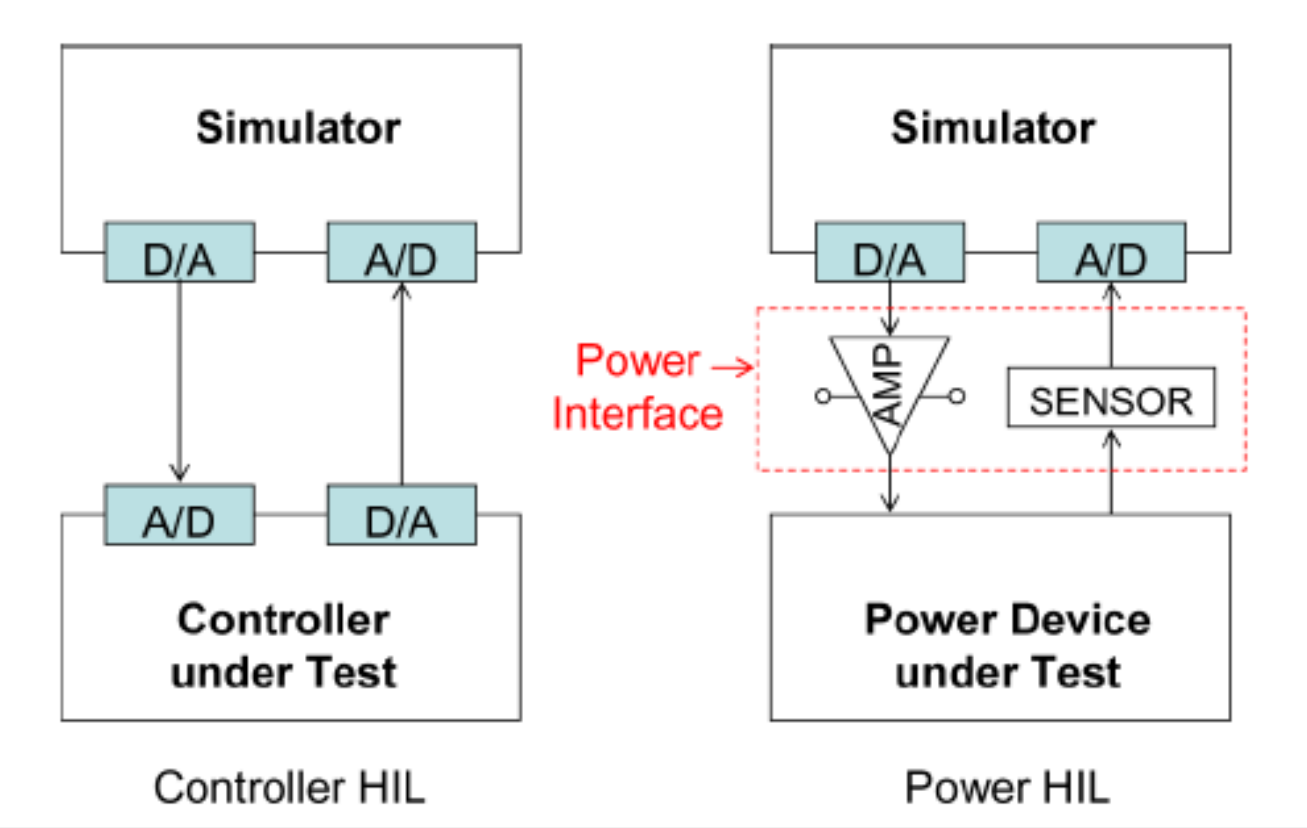
Áreas de aplicación sistemas de potencia



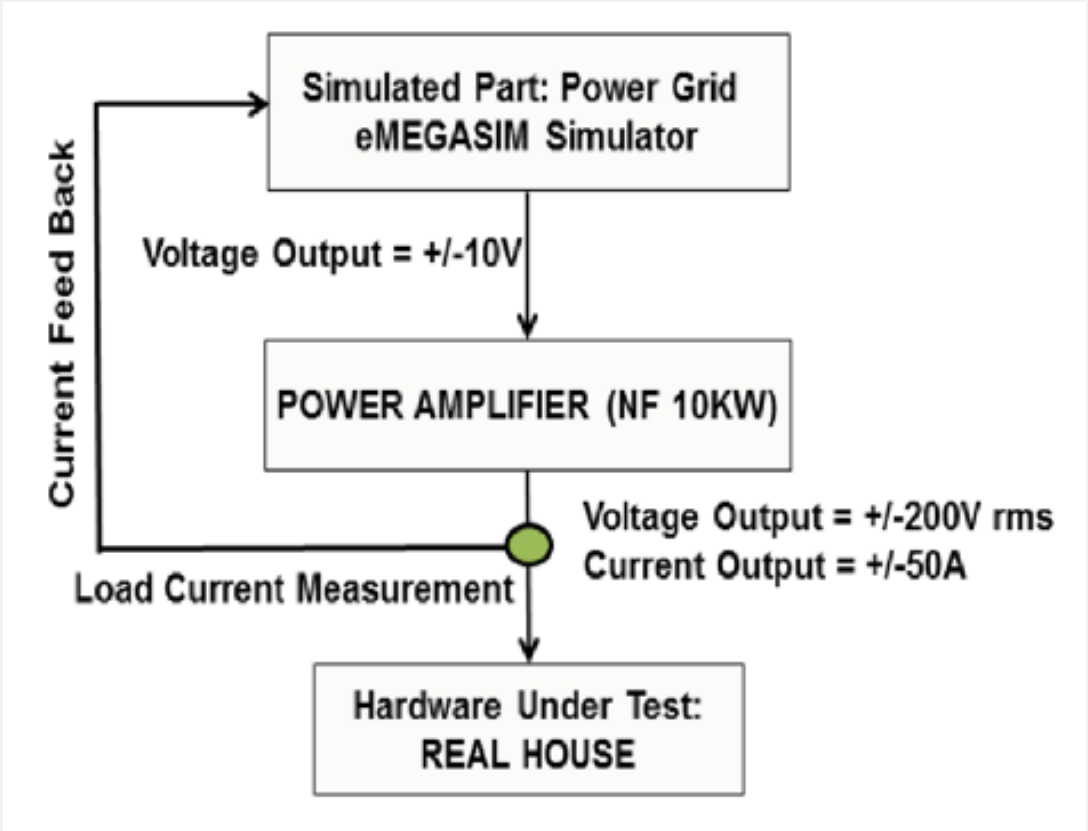
Tomado: Ocnasu et al., **Real-time hybrid facility for the study of distributed power generation systems,** *Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3 (2008) 343 – 356.*

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Plataforma hardware-software



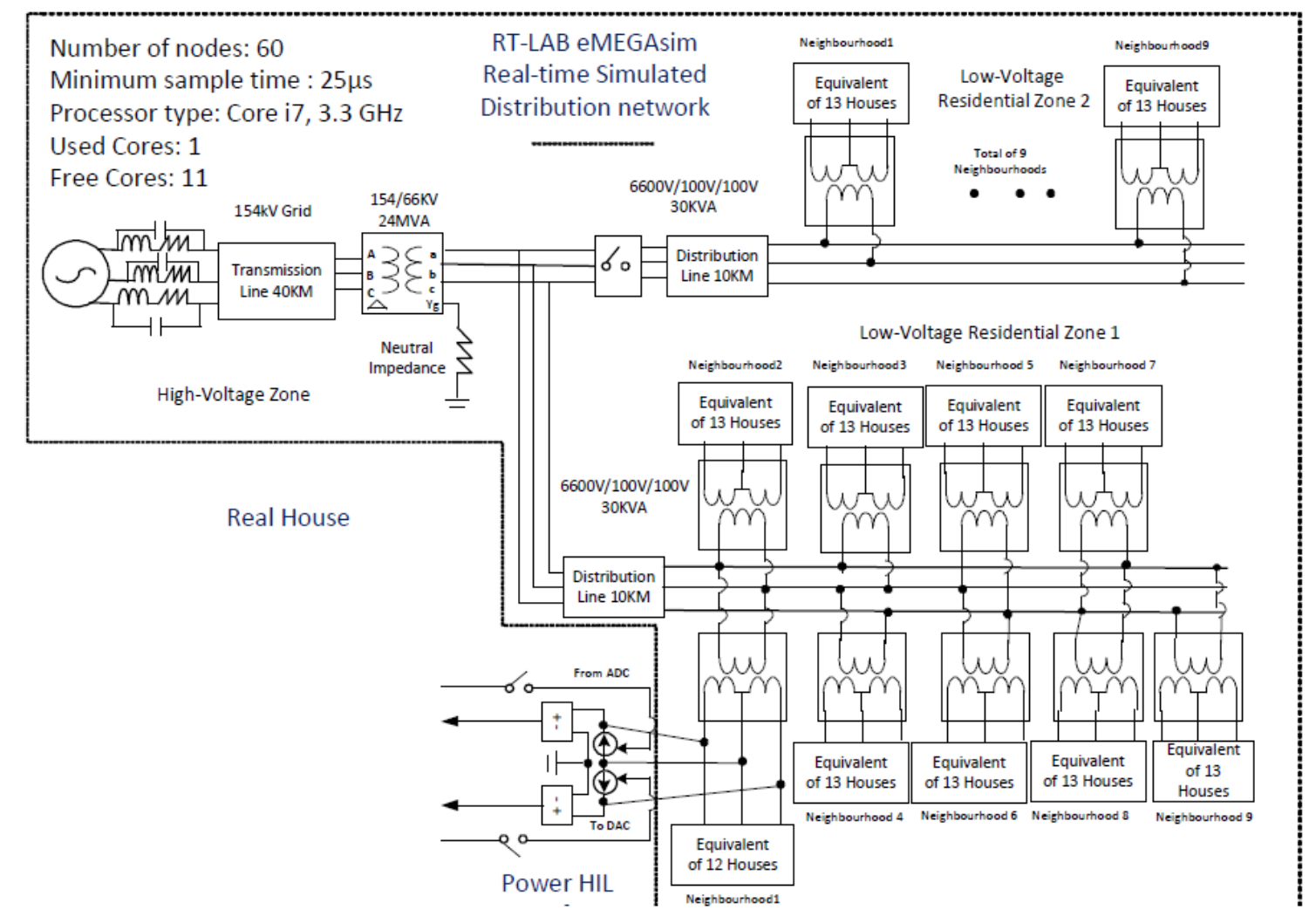
Tomado de: IEEE Task force on Interfacing Techniques for Simulation Tools, "Interfacing Issues in Real-Time Digital Simulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 26, No. 2, pp. 1221-1230, Ap. 2011



Tomado de: Yaman, Li, Belanger et al, "Smart Grid Laboratory" IECON 2011

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

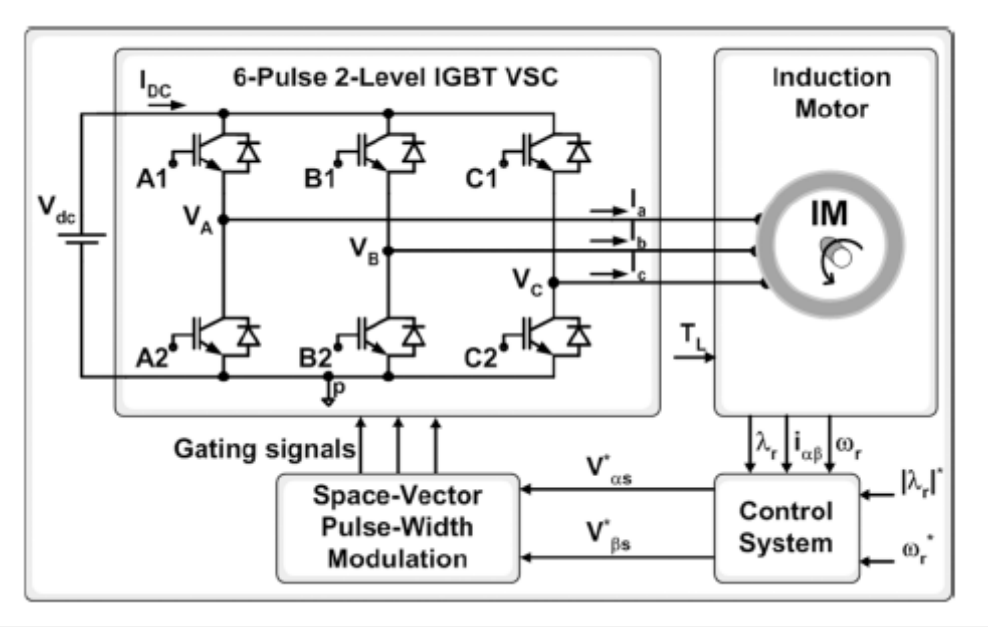
Áreas de aplicación

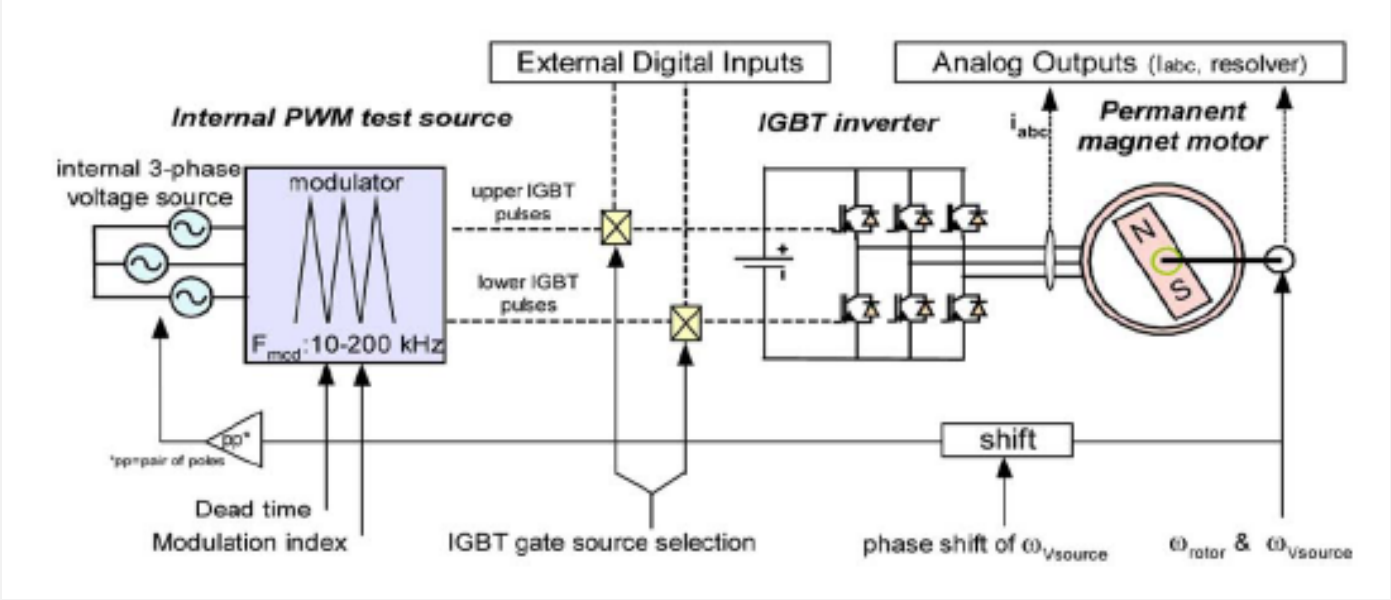


Tomado de: Yaman, Li, Belanger et al, “Smart Grid Laboratory” IECON 2011

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Áreas de aplicación

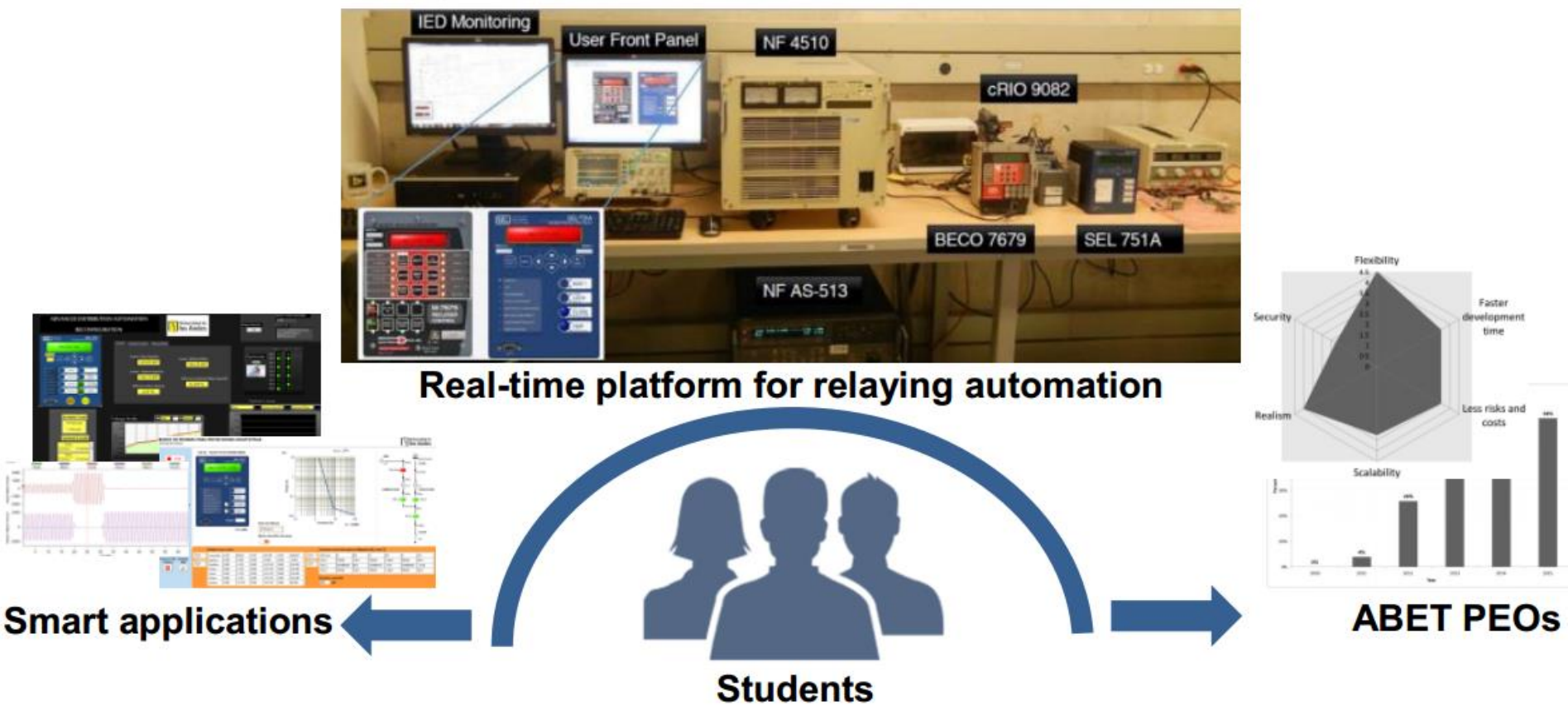




Tomado de: IEEE Task force on Interfacing Techniques for Simulation Tools, "Interfacing Issues in Real-Time Digital Simulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 26, No. 2, pp. 1221-1230, Ap. 2011

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

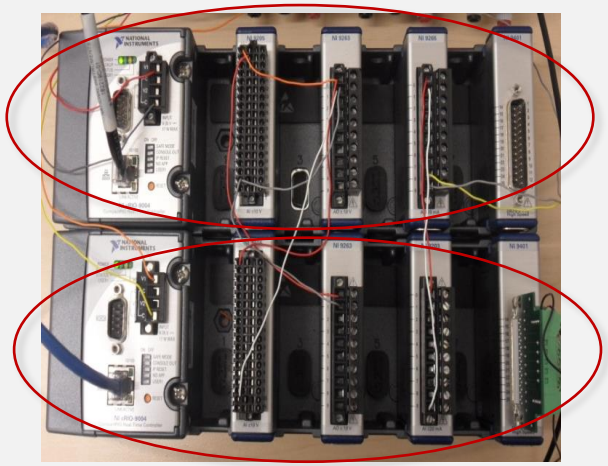
Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes

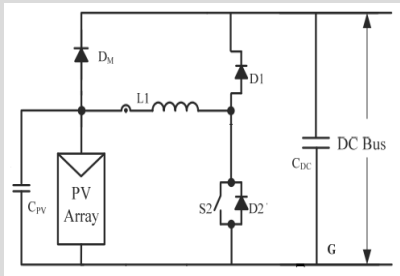


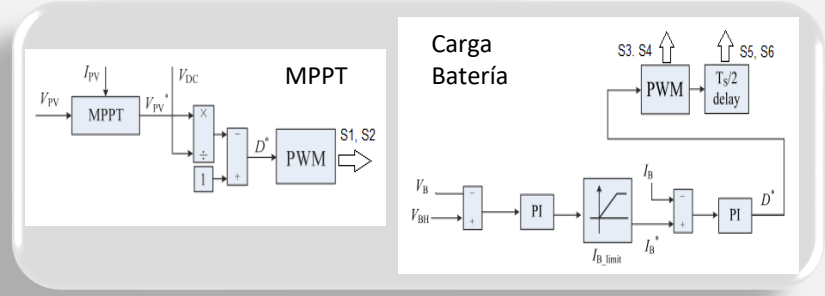
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

D. Celeita, M. Hernandez, G. Ramos, N. Peñafiel, M. Rangel, J.D. Bernal, **Implementation of an educational real-time platform for relaying automation on smart grids,** Electric Power Systems Research, Vol. 130, No. 1, pp. 156-166, Jan 2016.

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes

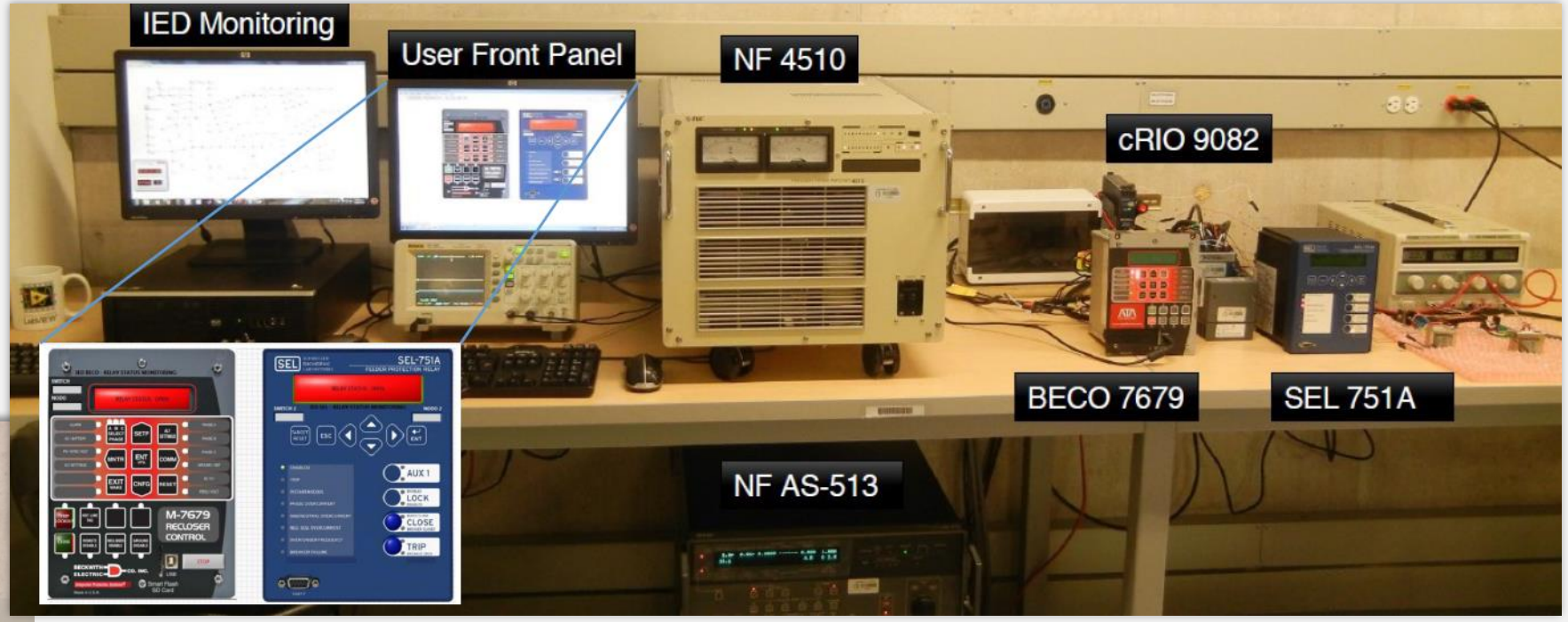


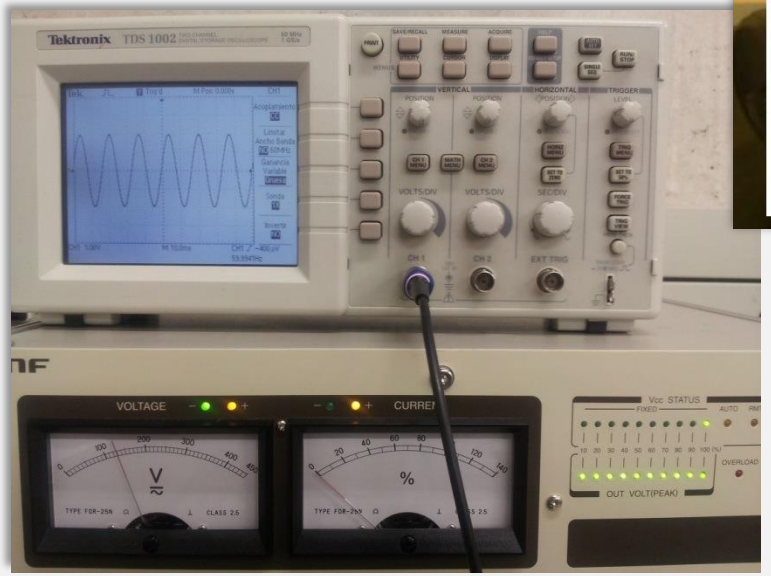




© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes





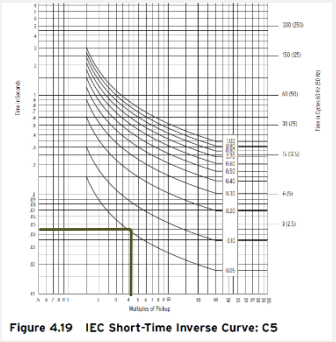
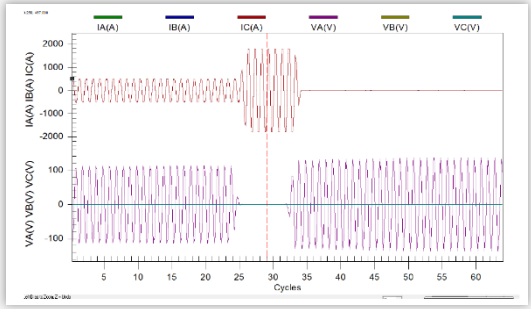
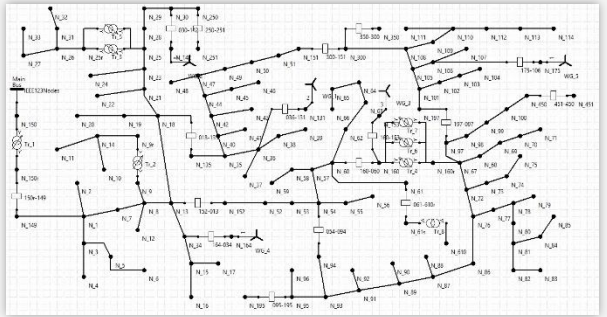


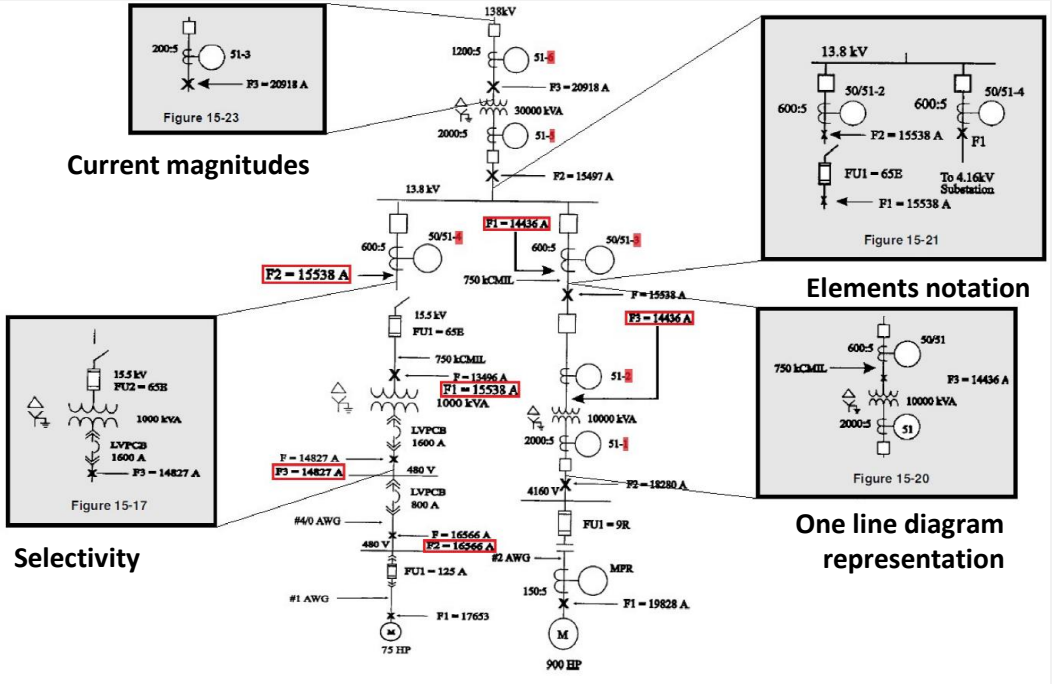
Figure 4.19 IEC Short-Time Inverse Curve: C5

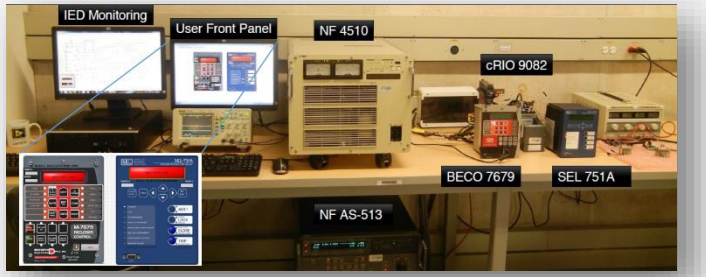


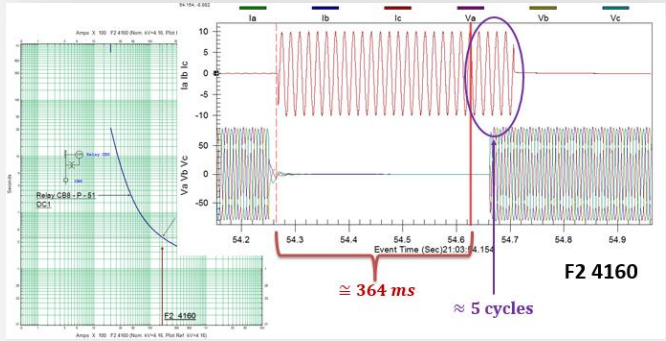


© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes



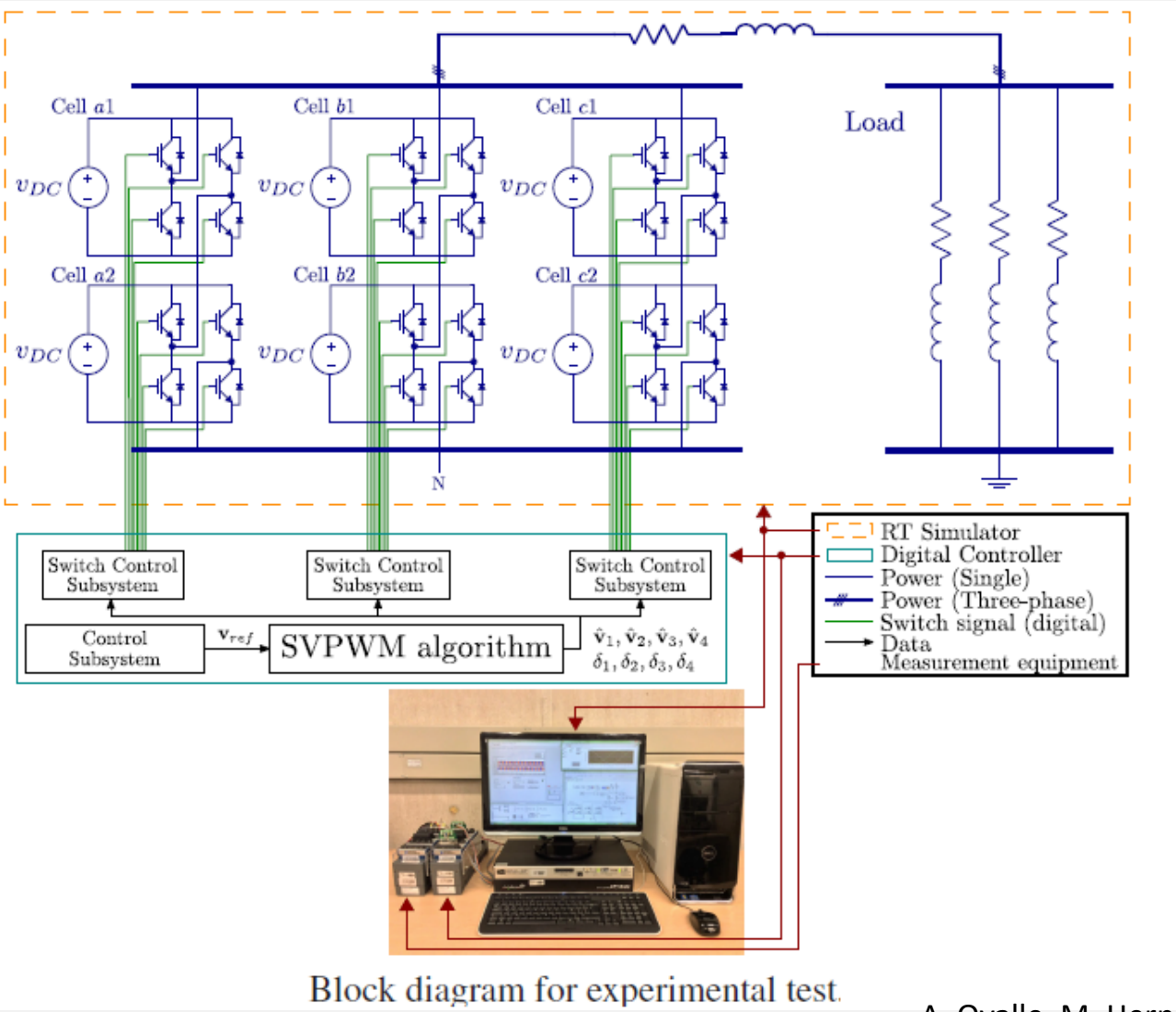




J.D. Pico, D.F. Celeita, G. Ramos, **Protection coordination analysis under a real-time architecture for industrial distribution systems based on the Std IEEE 242-2001**, IEEE Transaction on Industry Applications, pp. 2826-2833, Jul-Aug 2016

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes

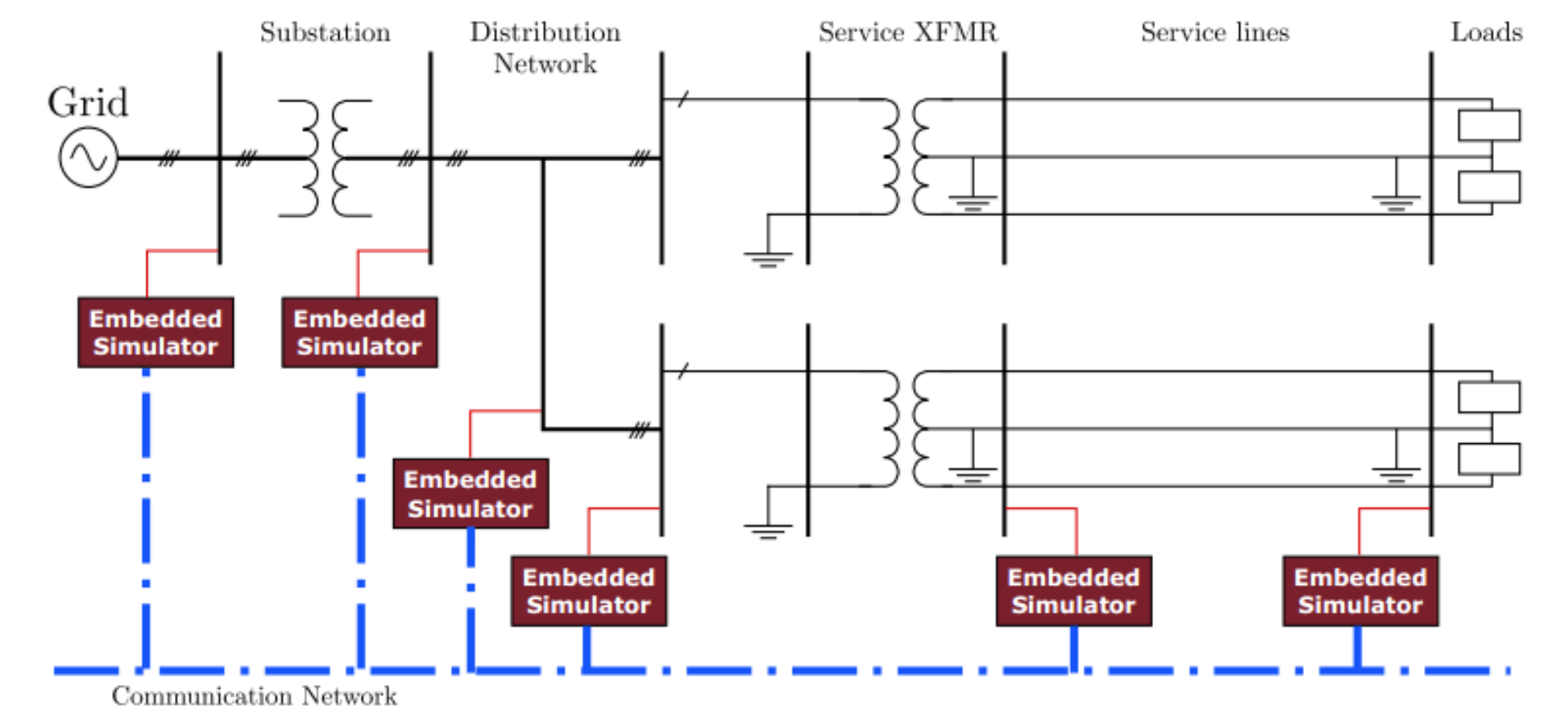


Block diagram for experimental test.

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

A. Ovalle, M. Hernandez, G. Ramos, **A Flexible Nonorthogonal-Reference-Frame-Based SVPWM Framework for Multilevel Inverters**, IEEE Transaction on Power Electronics, pp. 4925-4938,Vol. 32, No.6, June 2017

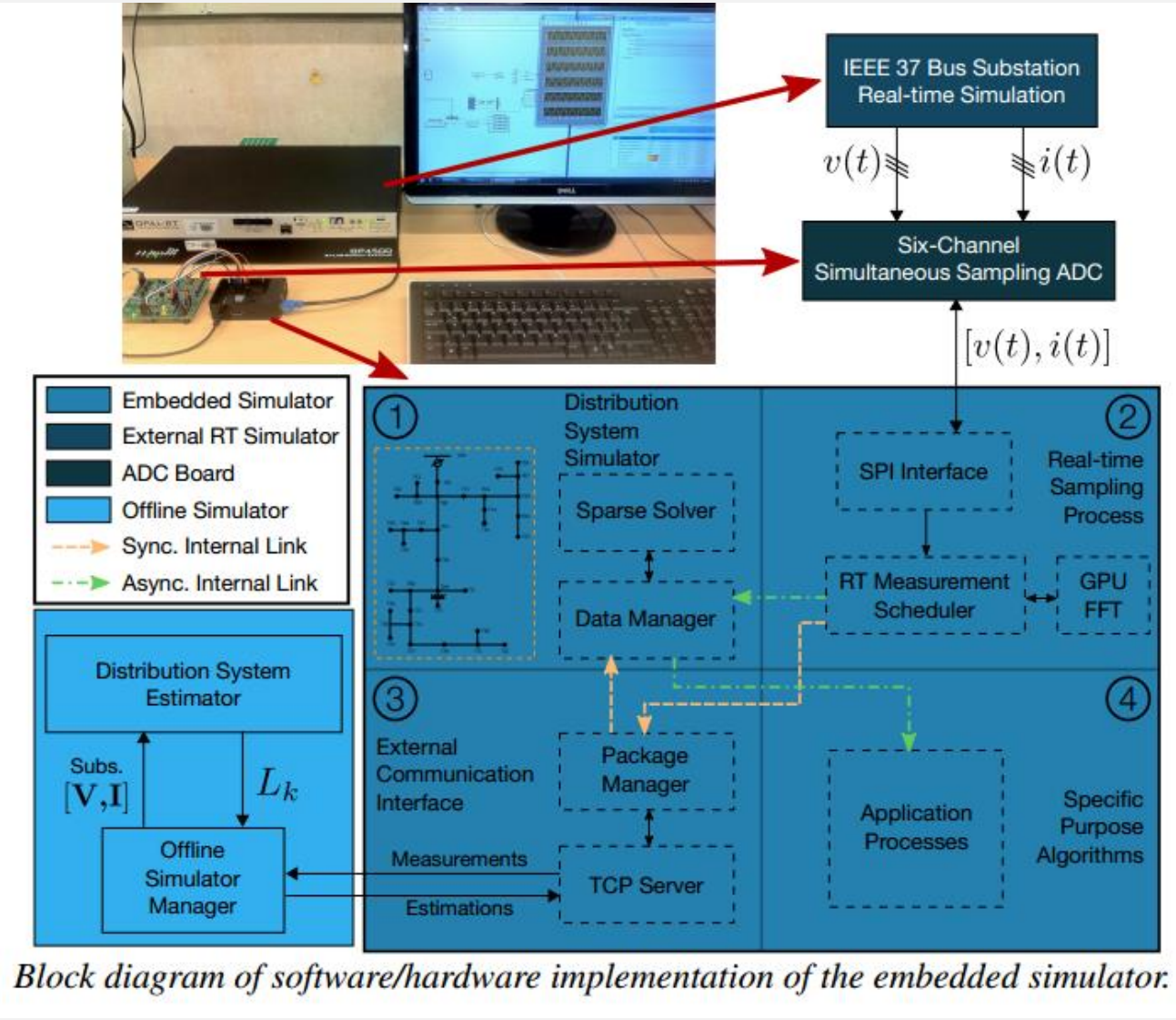
Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes



© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

M. Hernandez, G. Ramos, M. Lin, P. Siratarnsophon, S. Santoso **Advances in Embedded Real-Time Simulation for Power Distribution Systems**, IEEE ACCESS , Vol. 6, pp 6243-6256, 2018.

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes

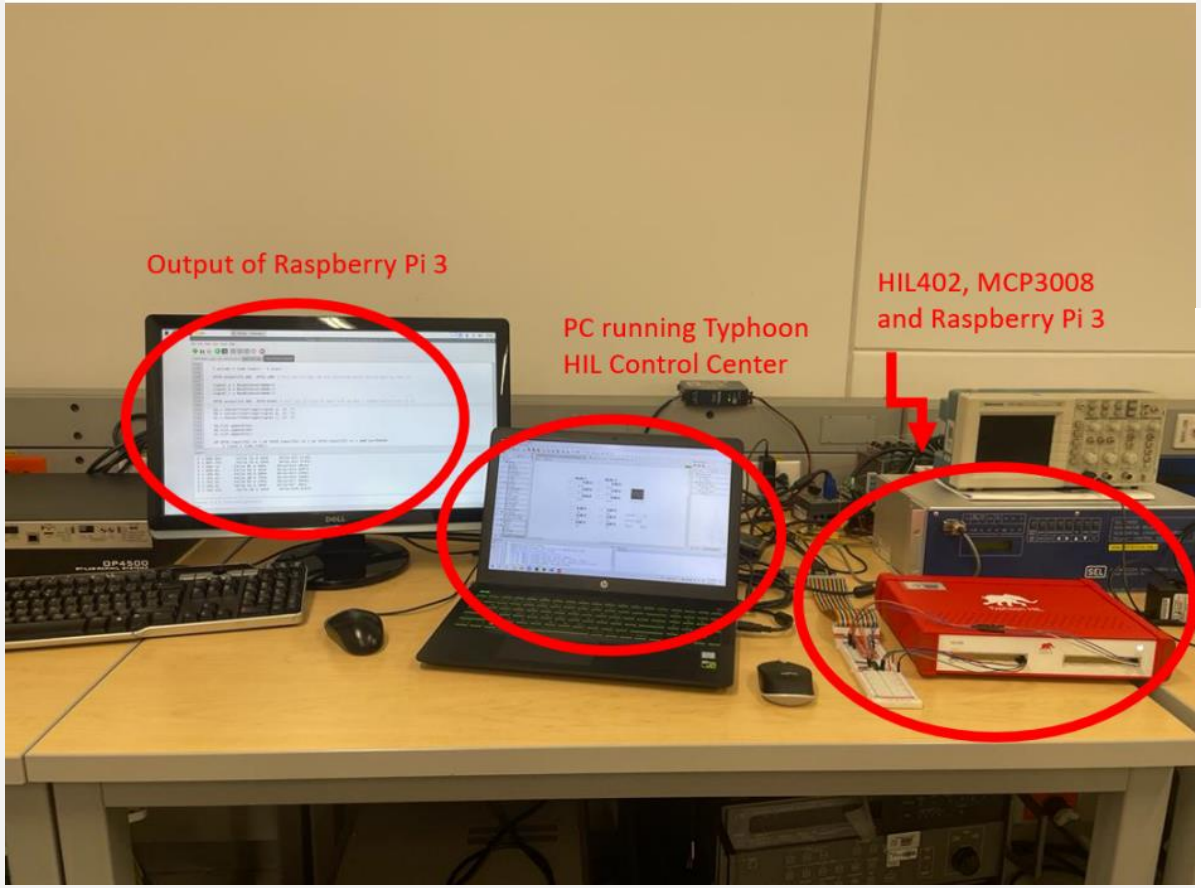


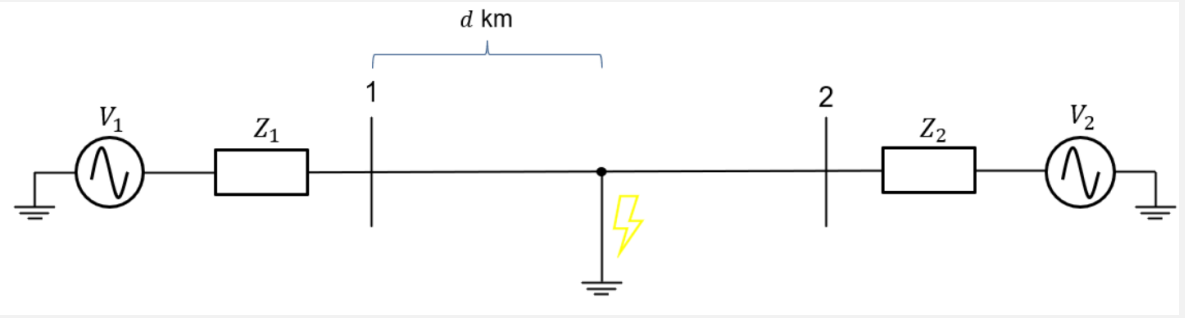
Block diagram of software/hardware implementation of the embedded simulator.

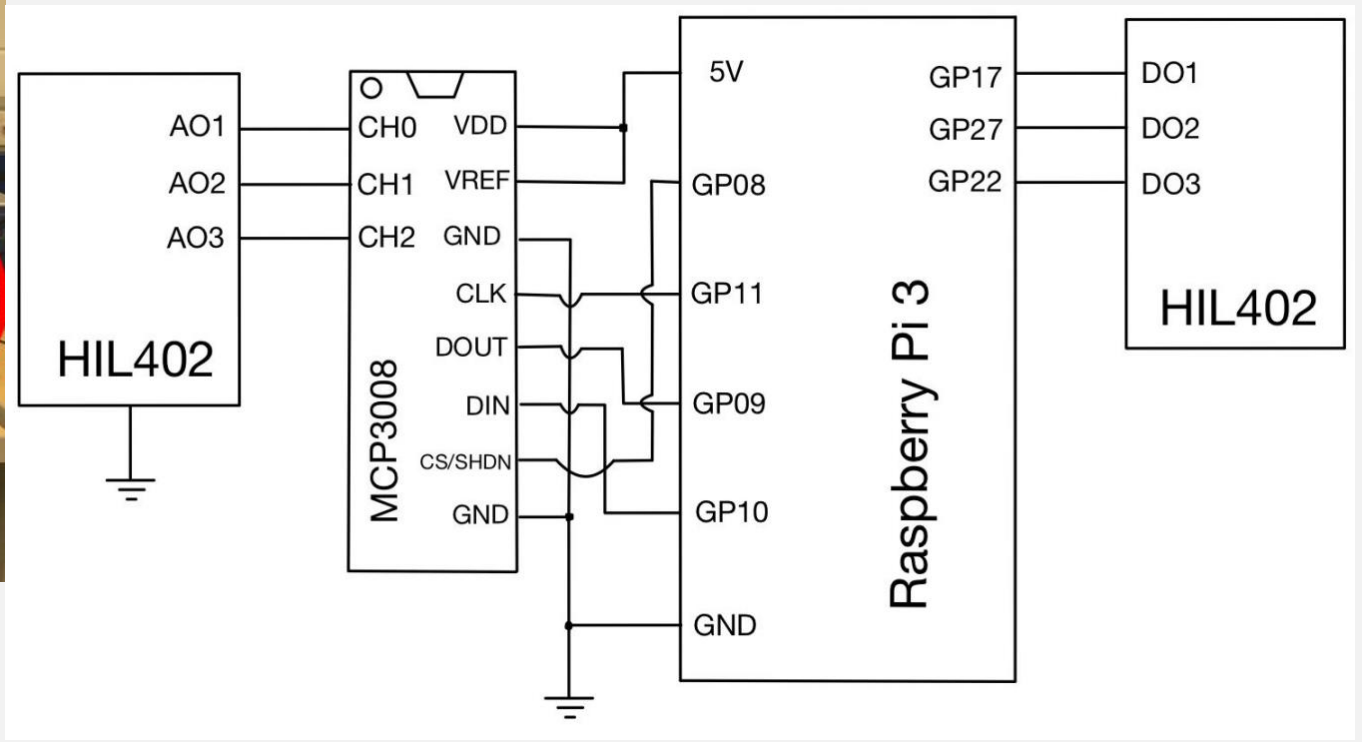
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

M. Hernandez, G. Ramos, M. Lin, P. Siratarnsophon, S. Santoso **Advances in Embedded Real-Time Simulation for Power Distribution Systems**, IEEE ACCESS , Vol. 6, pp 6243-6256, 2018.

Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes







© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

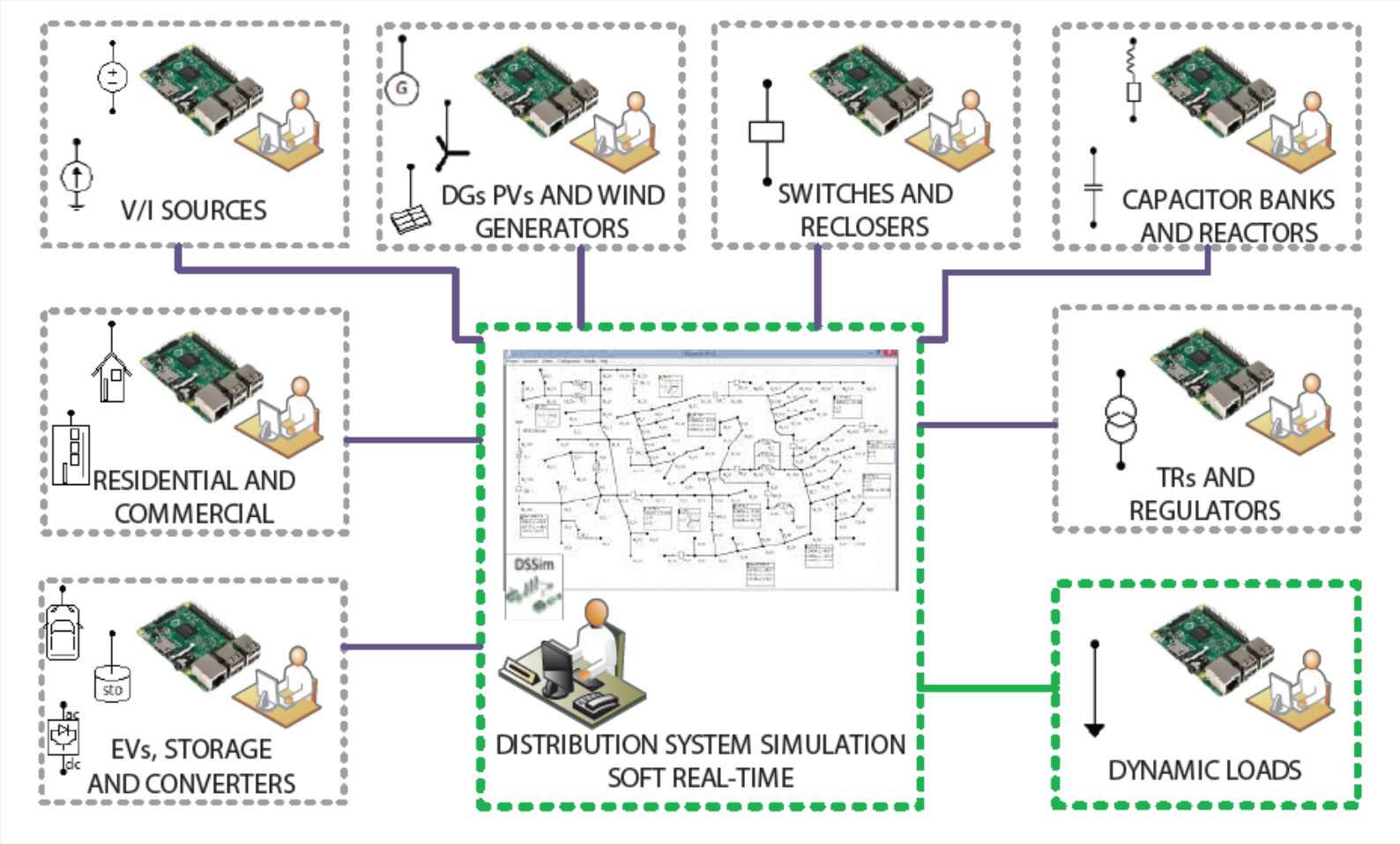
Investigación y desarrollo en laboratorio UniAndes

Reto

- TRAINING
- RESEARCH
- EDUCATION

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

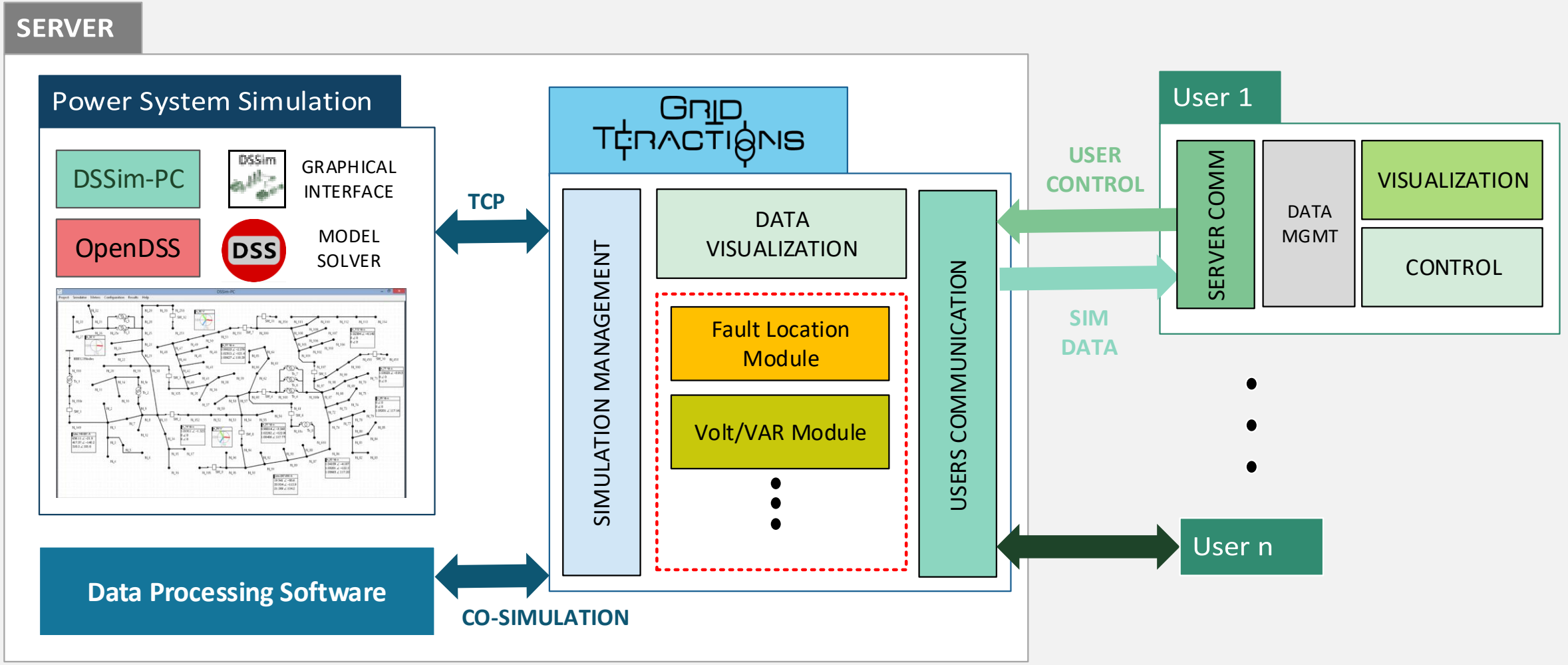
Description of the laboratory: GridTeractions V1.0



- Detailed distribution systems simulation
- Dynamic data management
- Human in the Loop simulation
- Flexible, interactive and scalable
- Low cost
- Developed on 2015-2018

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

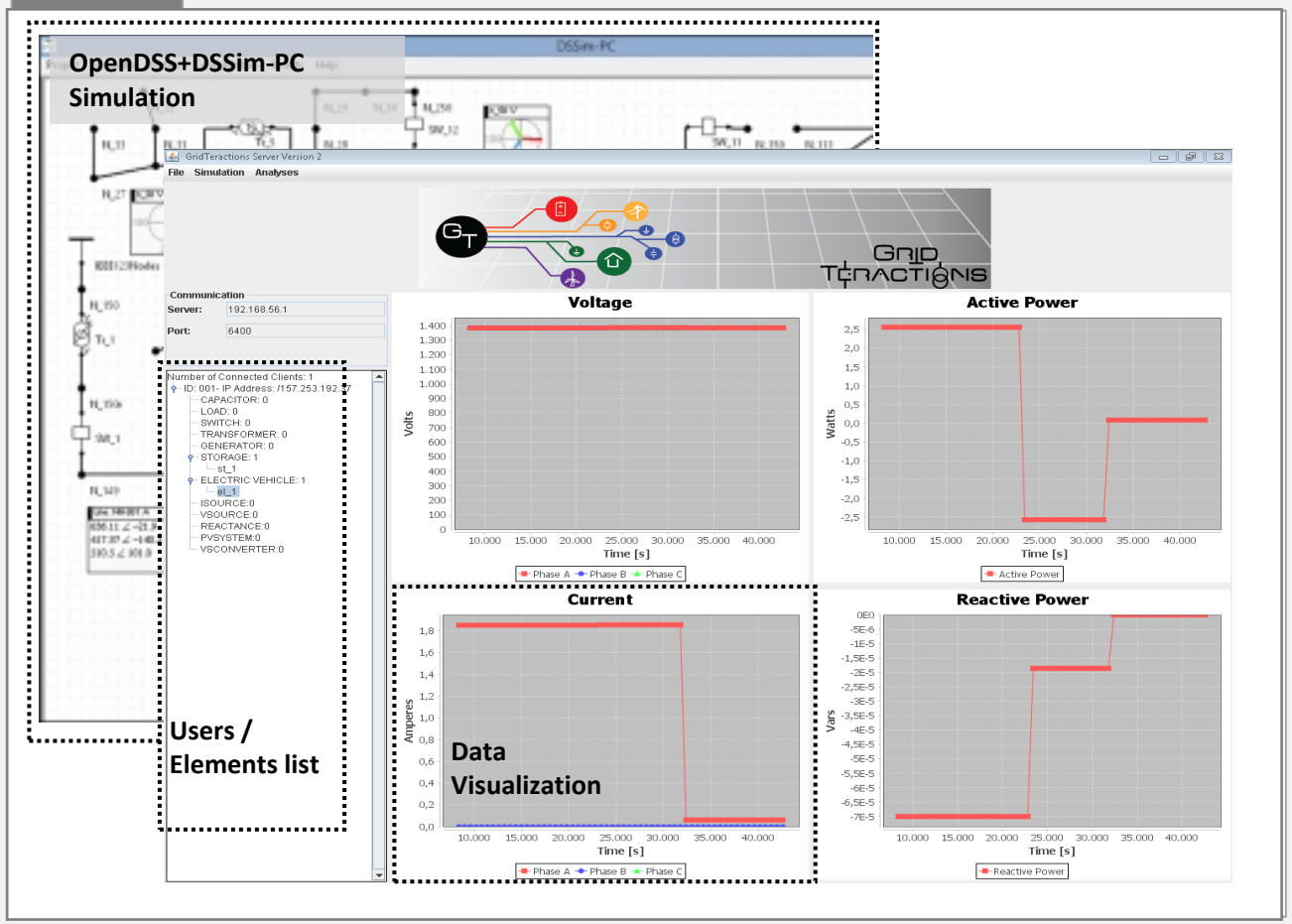
GridTeractions V1.0 Architecture



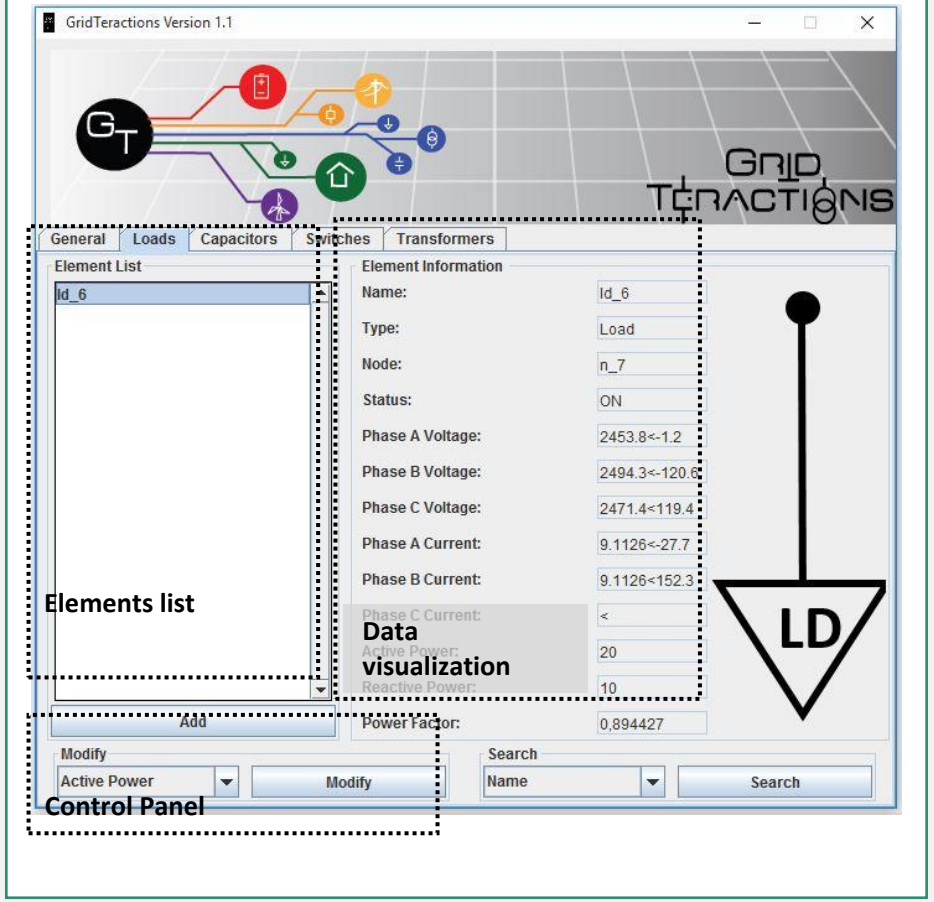
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Server and client interfaces

SERVER

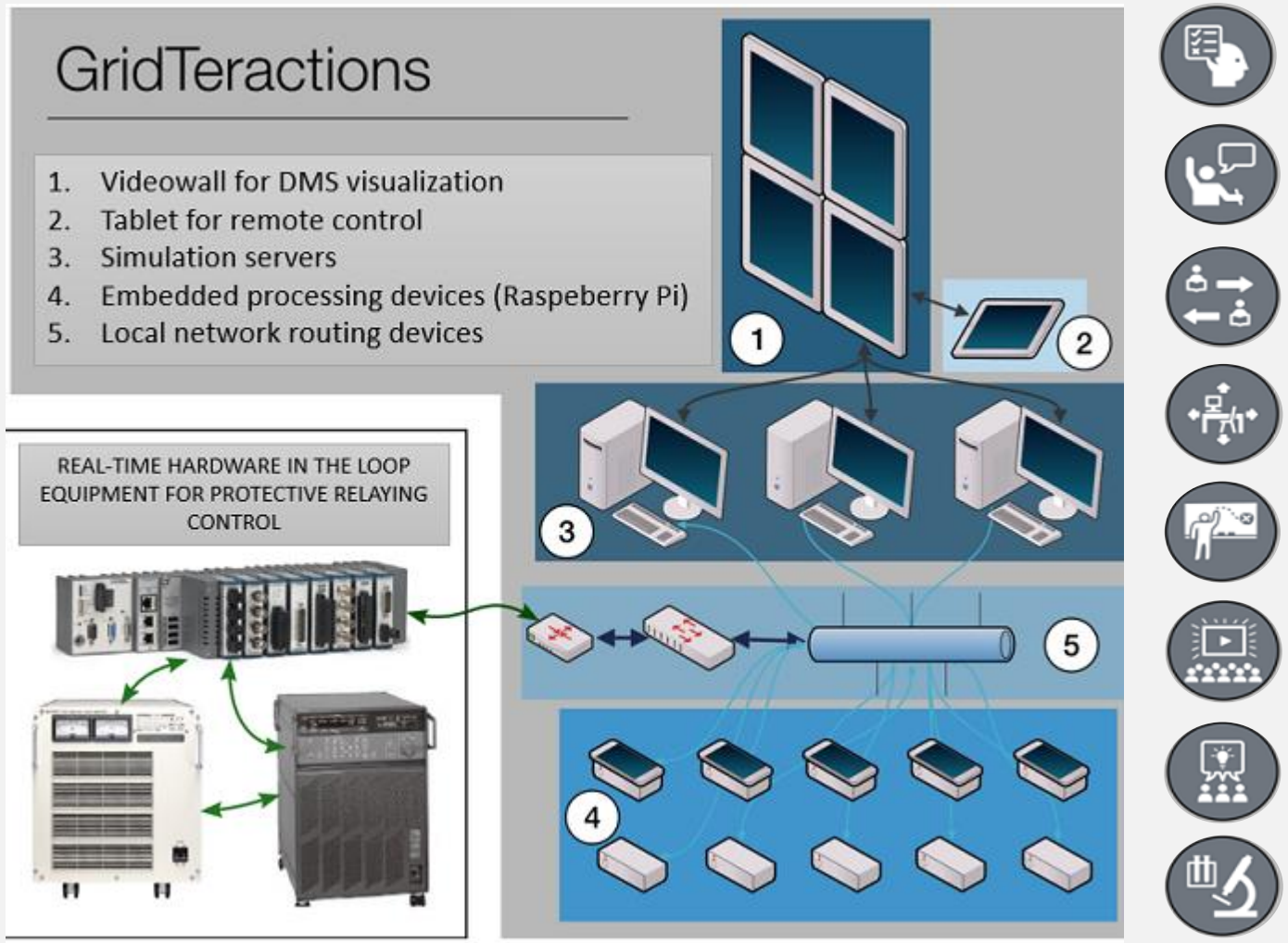


User 1



© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

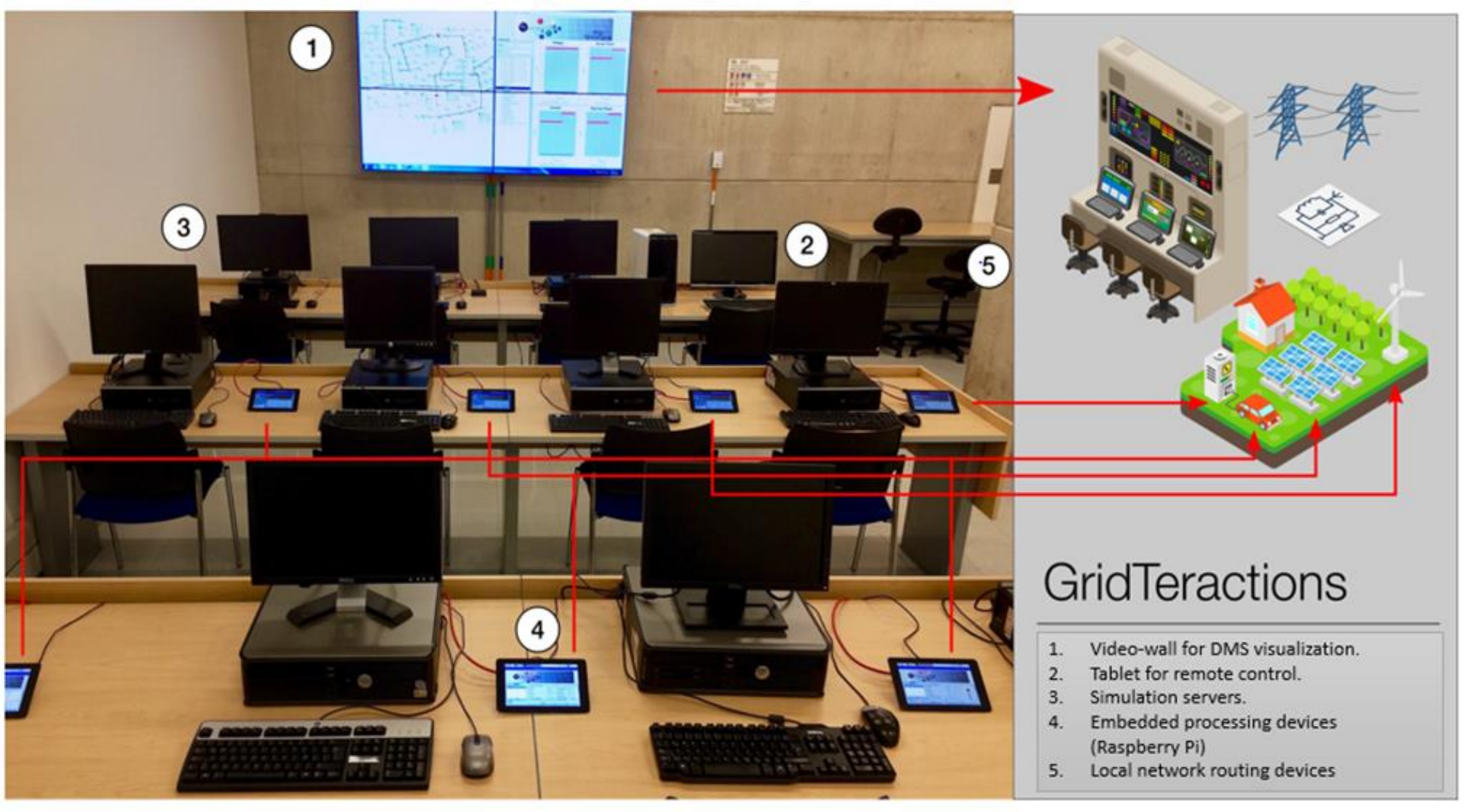
GridTeractions modules and components



- Cooperative Teaching
- Active, realistic and experimental research
- Interactive and flexible visualization lab
- Real time testing and automation design

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

GridTeractions: build laboratory



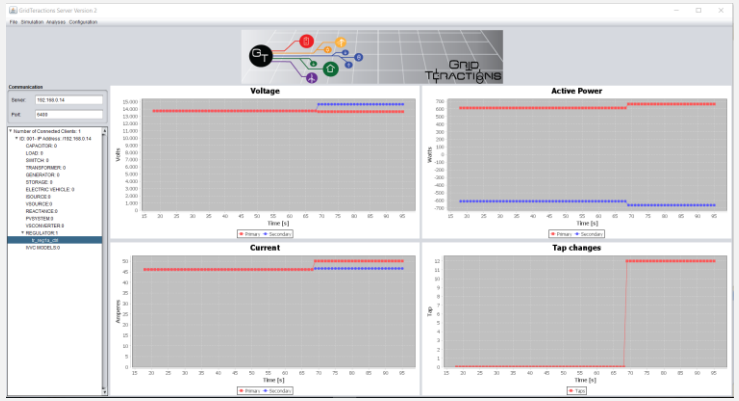
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

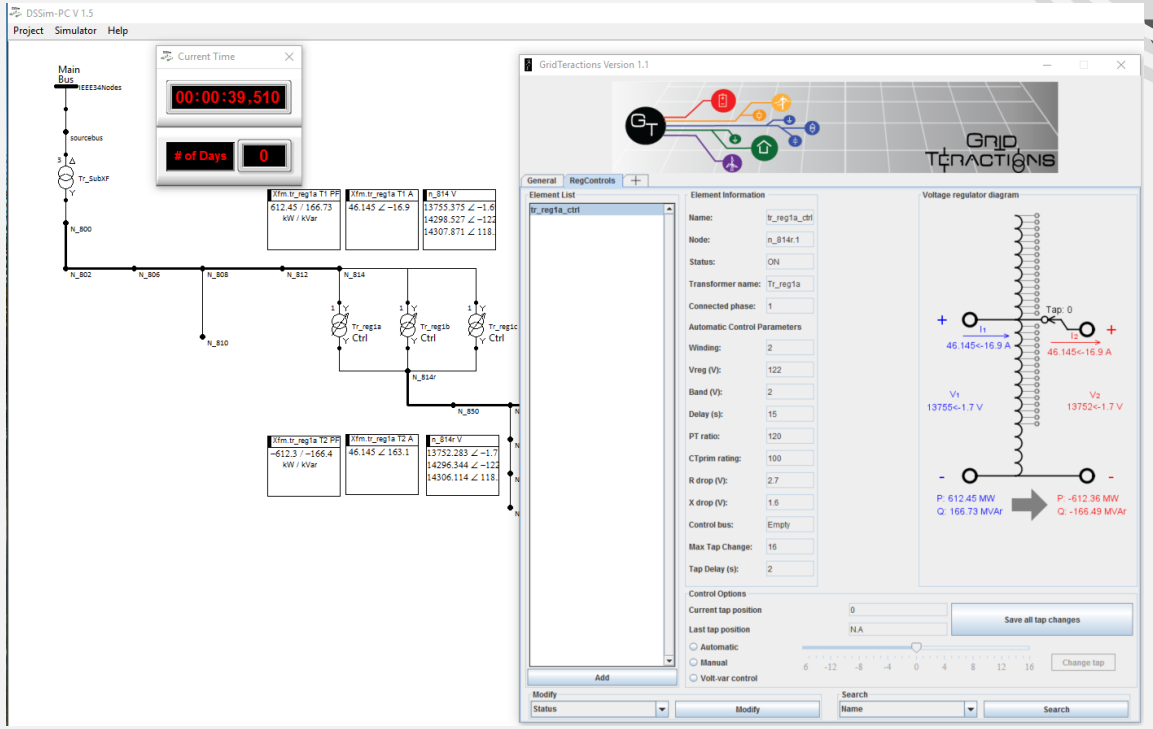
Investigación y desarrollo en laboratorio

https://power.uniandes.edu.co

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Proyecto desarrollado por el grupo de investigación: Potencia y Energía de la Universidad de los Andes

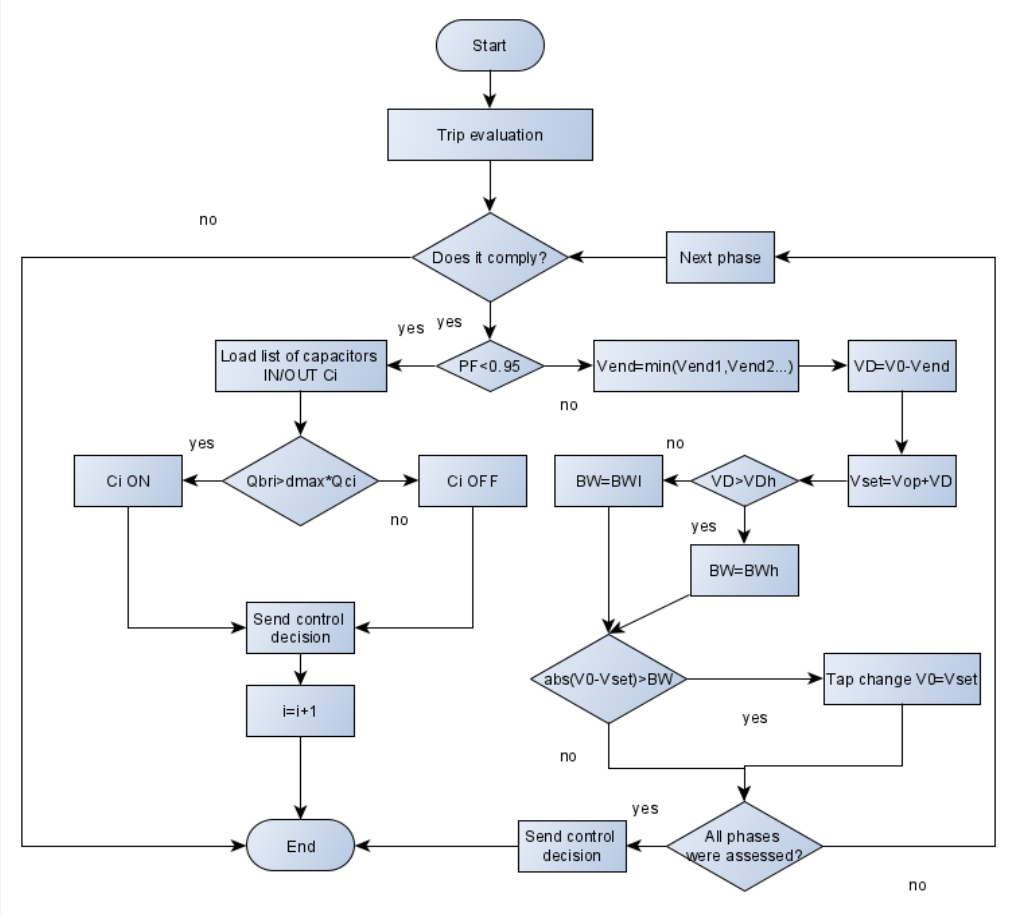


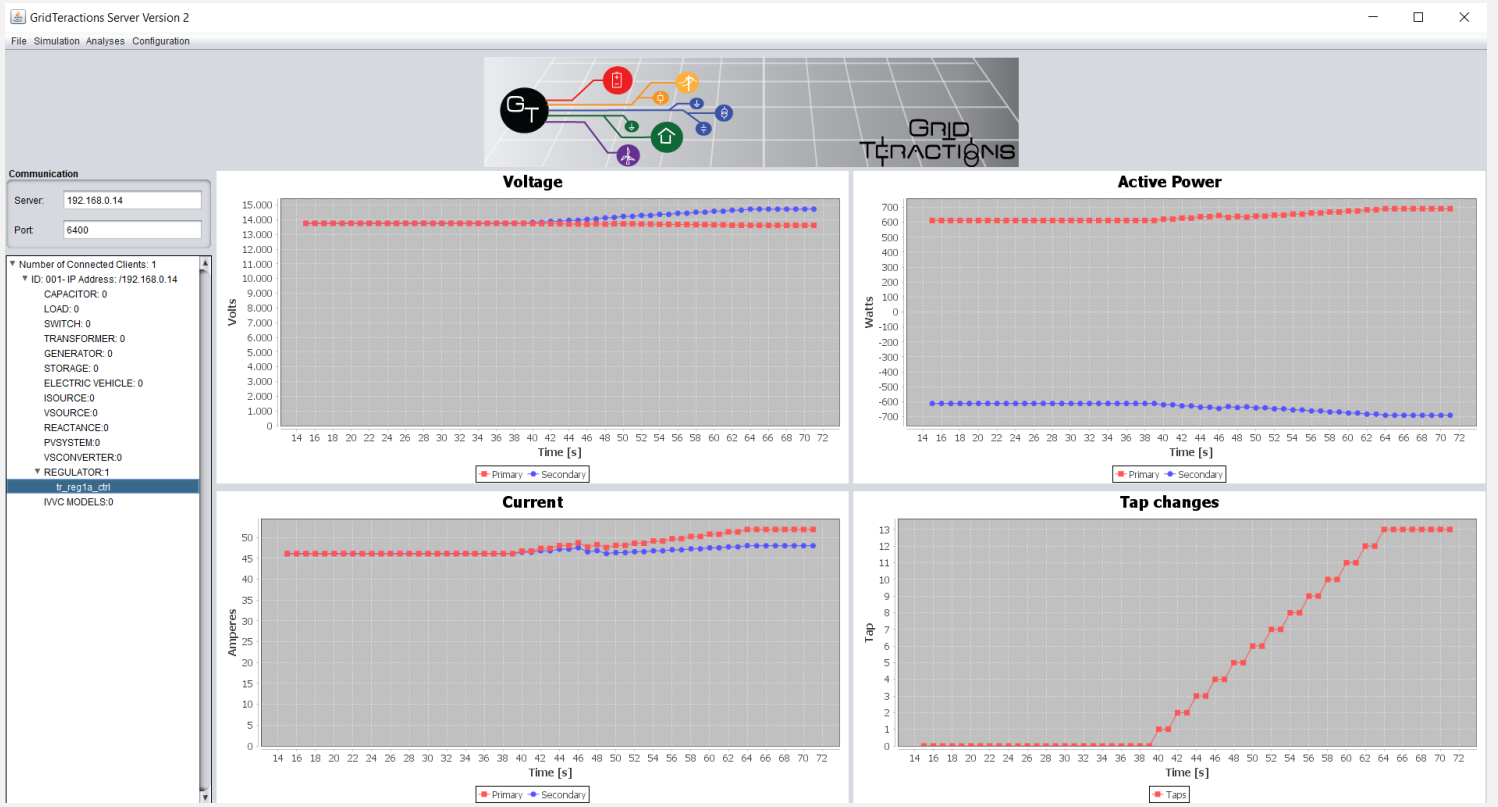


SMART VOLT/VAR CONTROL

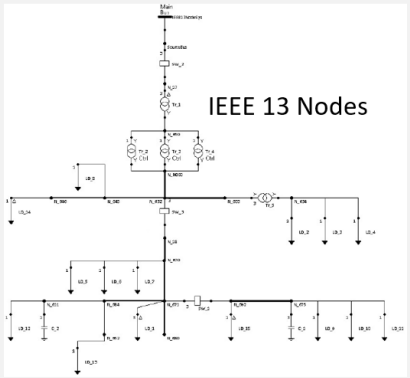
Aplicación 1

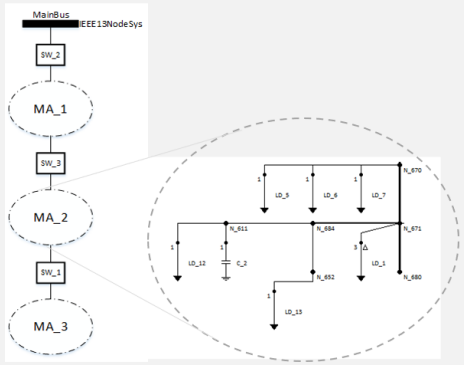
Automatic Vol/VAR control algorithm

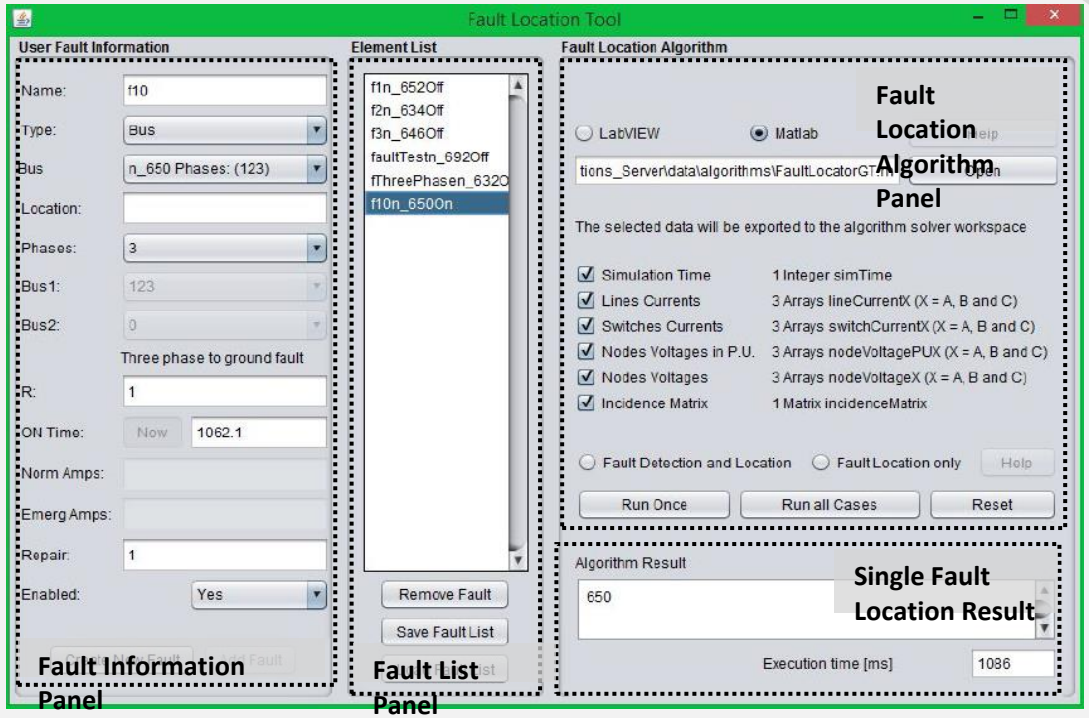




© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia



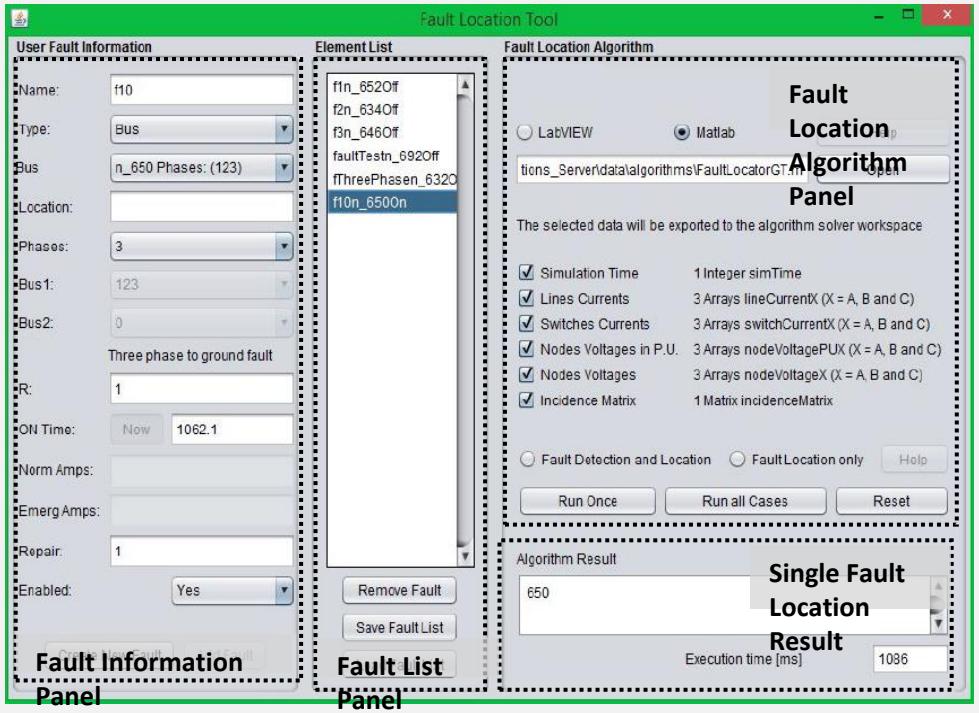


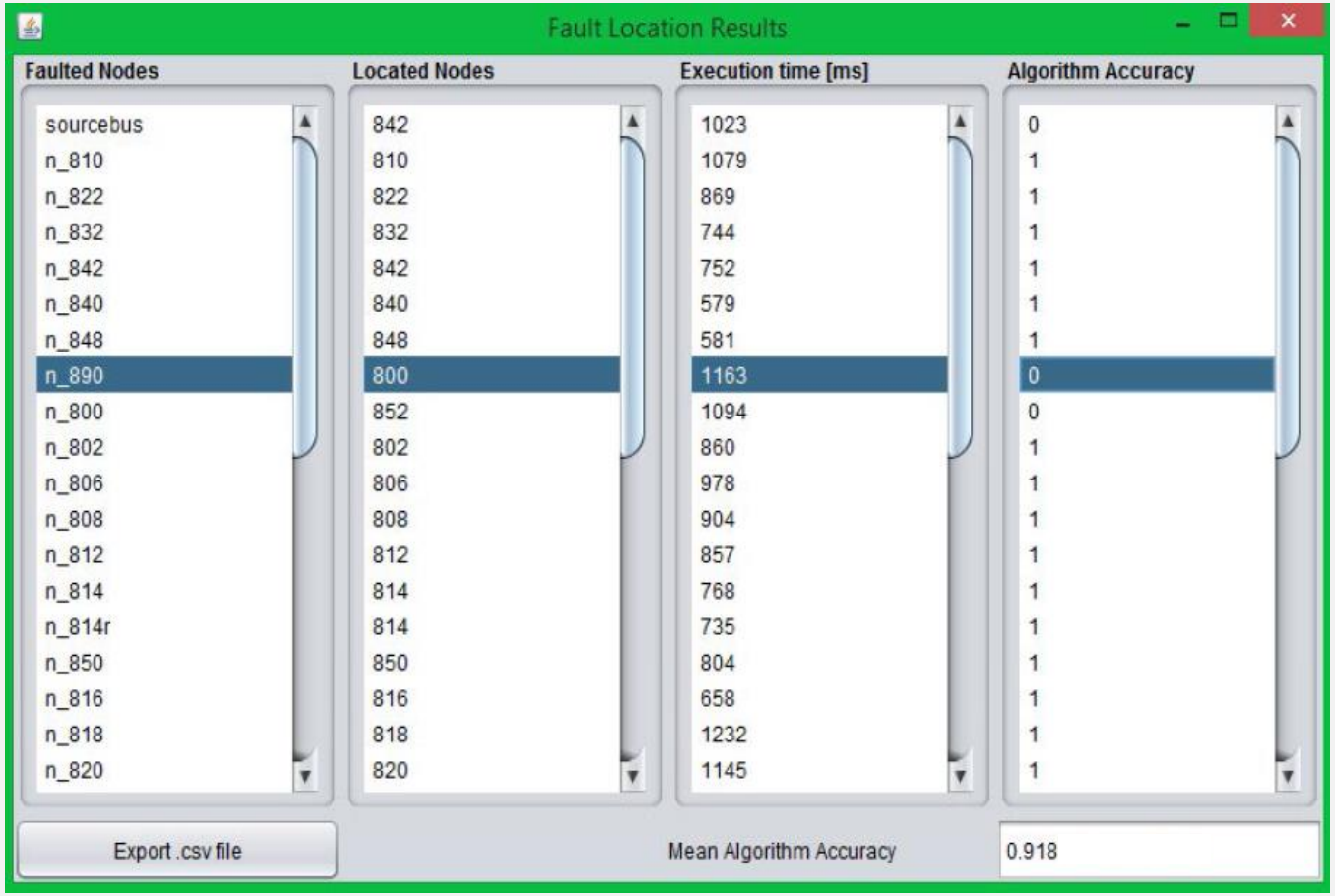


SMART FAULT ENGINE

- Dynamic fault Management
- Customize failure scenarios
- Validation and test of Fault Location Algorithms
- Co-simulation with Matlab and LabVIEW
- Detailed performance report

Fault Location engine





© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

GridTeractions V2.0

Cloud based web service laboratory capable of reproducing soft real-time DMS

Distribution system challenges

GRID TERACTIONS [1]

Adaptative protections

Reconfiguration

Volt & Var Control

Monitoring

DG

Fault Location Engine

Versatile

Scalable

Distributed Architecture

Multiclient

Interactive

HITL

IEDs

SCADA

Communication Network

Data Processing

Power grid

Operator

Raspberry Pi 2

Server

ETHERNET LAN

DSS

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

GridTeractions V2.0 (IMPACTA 2020)

Gestión avanzada de sistemas de distribución (Gridteractions)

- **Etapa 1:** Operación y monitoreo inteligente
- **Etapa 2:** Algoritmos de análisis y optimización
- **Etapa 3:** Motor de gestión de falla, seguimiento y restauración del sistema
- **Etapa 4:** Gestión y minería de datos
- **Etapa 5:** Gestión activa, integral y avanzada de sistemas

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Expected Features of Gridteractions V2.0 (2019-Today)

- Proven **scalability and flexibility** of GridTeractions with **specialized integrated modules**.
- **Proven functionality** of Volt/VAR control and Fault location engine applications.
- The laboratory behaves as a **virtual training environment**.
- **Co-simulation tools** enhance laboratory features and increase research opportunities
- **Quantify and compare the performance** of proposed algorithms and architectures with other fault location strategies in literature.
- **GridTeractions educate and train users** with a realistic and interactive framework
- **Cloud and web services to interconnect with other laboratories**, DSOs or clients.

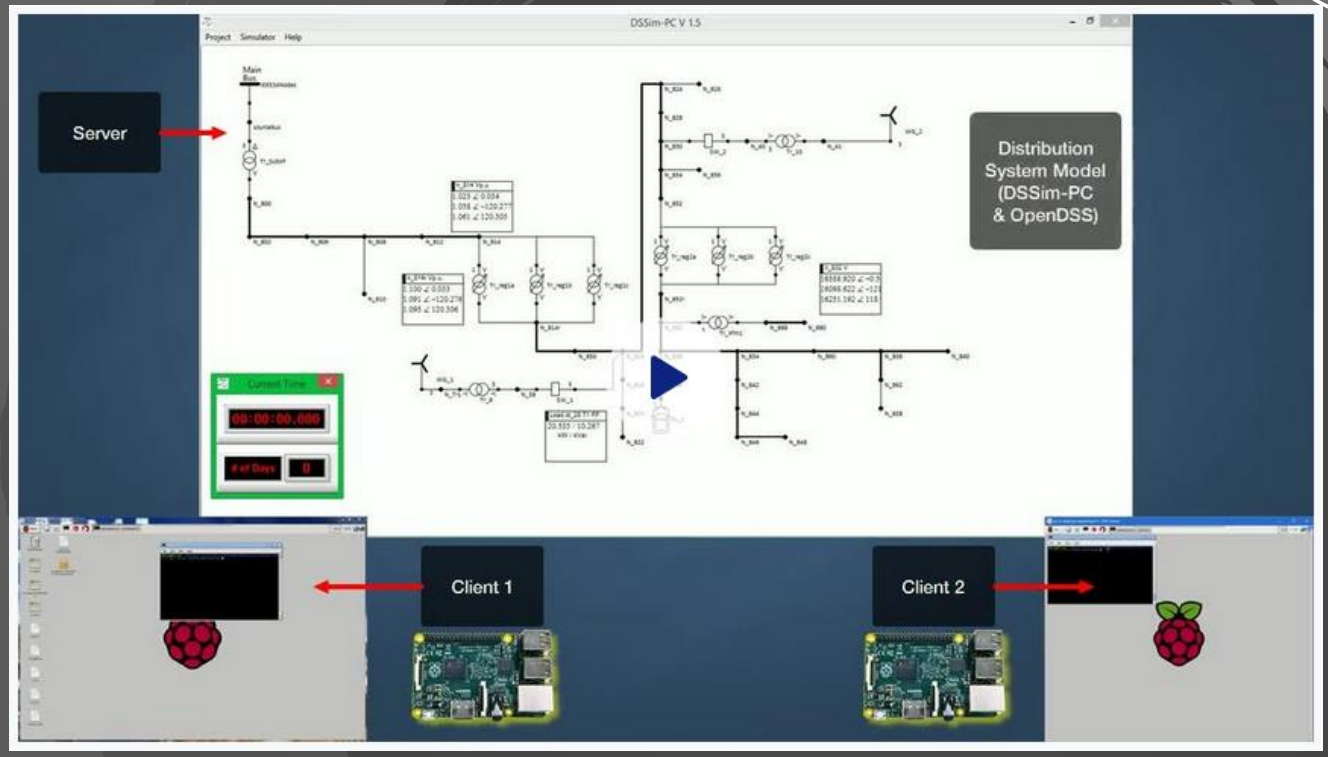
© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER –
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Publications GridTeractions V1.0:

- C. Zambrano, C. Trujillo, D. Celeita, M. Hernandez and G. Ramos, "GridTeractions: Simulation platform to interact with distribution systems," 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741563.

- C. Trujillo et al., "An advanced laboratory for research and training of smart grid control and protection schemes," 2020 IEEE/IAS 56th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), Las Vegas, NV, USA, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICPS48389.2020.9176780.

- **Videos:**
- https://www.dropbox.com/s/h1xfxrwc9h3f070/GridTeractions.mp4?dl=0
- https://www.youtube.com/watch?v=enBG15E-mv4&list=PL7vYTBjTHAqR05zsQ9xucjKqGwMvMbJ67&index=10



GRACIAS

© Derechos Reservados: Grupo de investigación PowER – Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia