



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/20  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – V**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA -  
GPC**

**INFLUENCIA DE LA LINEA LI 500KV MD-VHA 1 EN LAS LINEAS LI 220KV MD-IRY-CYO 1 y 2**

**Esteban F. Vargas Correa. (\*)**  
**ITAIPU BINACIONAL**

**José Benedito Mota Júnior.**  
**ITAIPU BINACIONAL**

**RESUMEN**

La línea de transmisión de 500kV desde la subestación Margen Derecha (SE-MD) a la estación de Villa Hayes (ES-VHA), de la ANDE (Administración Nacional de Electricidad) compañía eléctrica del Paraguay, entró en operación el 6 de octubre de 2013. Dicha línea tiene una extensión aproximada de 347,74km y tiene una relevancia significativa en el sistema eléctrico paraguayo.

Además de la línea de interconexión de 500kV, la Itaipu binacional (IB), está conectada al sistema eléctrico paraguayo a través de cuatro líneas de 220kV. De estas cuatro líneas de interconexión de 220kV, dos líneas interconectan la SE-MD con la estación Acaray (ES-ACY) y las otras dos líneas interconectan la SE-MD con la estación de Carayao (ES-CYO). A lo largo del trayecto de las líneas desde la SE-MD hasta la ES-CYO, en configuración de doble circuito, son encontrados cruces y paralelismo con la línea de interconexión de 500kV.

Luego de la entrada en operación de la línea de transmisión de 500kV, ocurrieron desconexiones automáticas debido a cortocircuito monofásico, donde fue verificado que durante estos eventos ocurría desequilibrio de las corrientes en las fases de las líneas de 220kV entre la SE-MD y la ES-CYO. Esto tuvo como consecuencia el arranque de la función de sobrecorriente residual de la protección primaria en el terminal de la ES-CYO y la recepción de señal de desbloqueo permisivo de la protección primaria en el terminal de la SE-MD.

Este trabajo tiene el objetivo exponer los resultados del modelo de la línea de 500kV entre la SE-MD y la ES-VHA y las líneas de 220kV entre la SE-MD y la ES-CYO, considerando el acoplamiento electromagnético.

**PALABRAS-CLAVE**

Líneas de transmisión, Acoplamiento Electromagnético, Desequilibrio, Cortocircuito, Protección.

**1.0 - INTRODUCCION**

La línea de transmisión de 500kV desde la SE-MD y la ES-VHA, fue puesta en servicio el 6 de octubre de 2013. Esta línea de transmisión tiene una longitud aproximada de 347,74 km y capacidad nominal de 2.215MVA.

Además de la línea de interconexión de 500kV, la Itaipu binacional está conectada al sistema eléctrico paraguayo a través de dos líneas en 220kV que interconectan la SE-MD con la ES-ACY. A lo largo del trayecto de las líneas de transmisión de 220kV desde la SE-MD y la ES-CYO, las cuales poseen configuración de doble circuito, son encontrados cruces y paralelismo con la línea de interconexión en 500kV. La Figura 1 presenta el diagrama unifilar simplificado de Itaipu 50Hz y las líneas de interconexión de 220kV y la línea de interconexión de 500kV al SIN-PY.

(\*) Avda Tancredo Neves, n° 6731 – Edif. de Prod. – OPSE.DT – CEP 85866-900 Foz do Iguaçu, PR – Brasil  
Tel: (45) 3520-2943 – Fax: (45) 3520-2706 – Email: [vargasc@itaipu.gov.py](mailto:vargasc@itaipu.gov.py)

Los circuitos, objeto de este trabajo, conectan la subestación de la SE-MD y la ES-VHA, la SE-MD y la ES-CYO y la ES-CYO con la ES-LIM. Las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 comparten las mismas torres, poseen aproximadamente 210km de extensión y tienen derivaciones a 71,4km alimentando Itakyry. Las LT 220kV CYO-LIM 1 y 2 también comparten las mismas torres y poseen aproximadamente 113km. Las líneas LT 220kV CYO-LIM 1 y 2 también presentan paralelismo con la línea de 500kV.

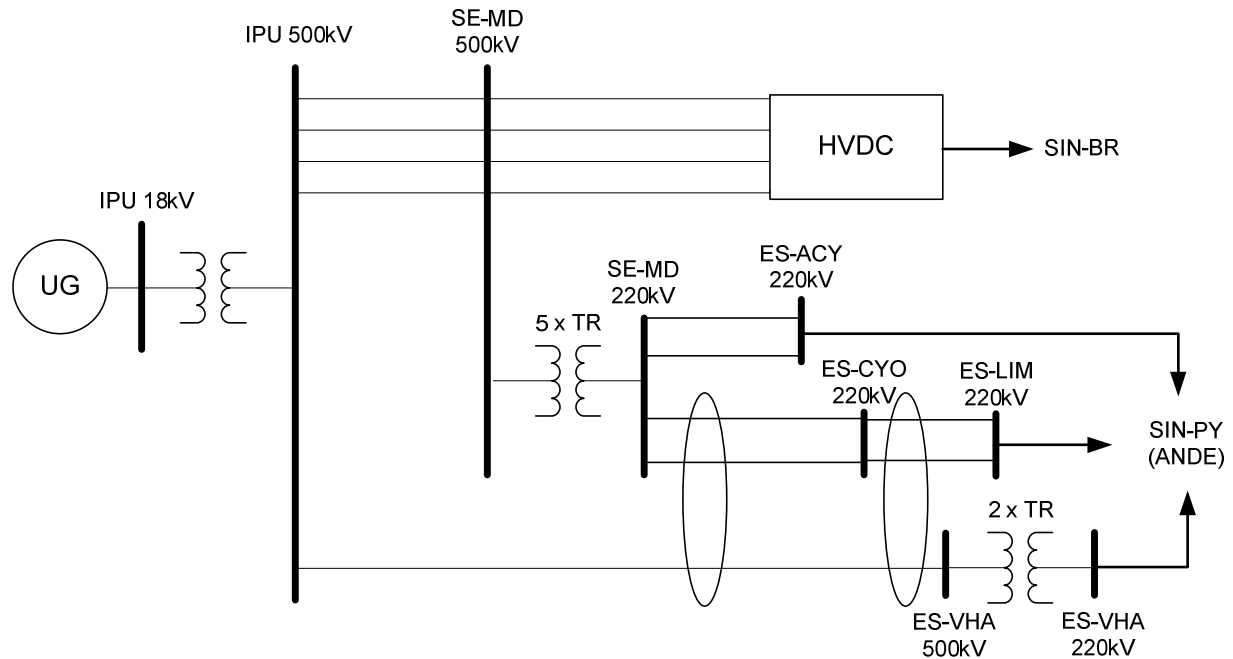


FIGURA 1 – Diagrama unifilar simplificado de Itaipu 50Hz

## 2.0 - DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La necesidad del análisis del modelo de la línea de transmisión de 500kV entre la SE-MD y la ES-VHA considerando el acoplamiento electromagnético con las líneas de 220kV entre la SE-MD y la ES-LIM surgió debido a la verificación de que durante la ocurrencia de cortocircuito monofásico en la línea de 500kV también ocurrió el arranque de la protección de sobrecorriente direccional residual (67N) de las líneas de 220kV en el terminal de la ES-CYO.

Esta situación plantea la posibilidad de que a raíz de un cortocircuito monofásico en la línea de 500kV, pudiera ocurrir, además de la recepción de señal de desbloqueo permisivo en la SE-MD debido al arranque de la protección 67N en el terminal de la ES-CYO, la partida de la protección 67N y envío de señal de desbloqueo permisivo en la SE-MD y en consecuencia apertura de los interruptores de las líneas debido al esquema de desbloqueo por comparación direccional. Esto implicaría en una interrupción de un porcentaje importante del intercambio entre la Itaipu y ANDE.

## 3.0 - ELABORACION DEL MODELO

Los modelos fueron desarrollados considerando la geometría de las torres y los datos de los conductores, utilizando la rutina LCC (line constants) del software ATP (Alternative Transient Program). A lo largo del trayecto de la línea LI 500kV MD-VHA 1, las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 y las líneas LI 220kV CYO-LIM 1 y 2, existe una separación entre ejes de aproximadamente 50 metros.

En la Figura 2 se puede observar el esquema de transposición de fases de la línea LI 500kV MD VHA 1 y de las líneas de 220kV desde la SE-MD hasta la ES-LIM. Estas líneas tienen sentidos de rotación de ciclos de transposición equivalentes. Para el caso de la LI 500kV MD-VHA 1, cuenta con dos ciclos de transposición completos.

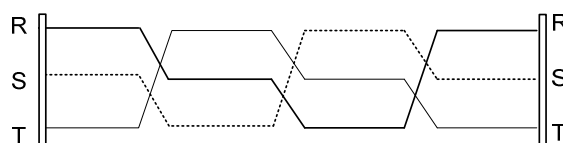


FIGURA 2 – Esquema de transposición de fases

Una vez que los casos simulados fueron comparados con las mediciones obtenidas en las perturbaciones, fueron realizados análisis de la influencia del desequilibrio de las corrientes de fase de las dos líneas de 220kV para el caso de máxima generación, con el objetivo de evaluar el comportamiento de las protecciones y sus posibles consecuencias.

#### 4.0 - DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL RESIDUAL DE LAS LINEAS LI 220KV MD-IRY-CYO 1 Y 2

Seguidamente se describe de funcionamiento de las protecciones de sobrecorriente direccional residual (67N) de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 que están compuestos, en cada terminal, por dos conjuntos de relés digitales del tipo REL 521 y REL 511 desempeñando el papel de protección primaria y protección alternativa, respectivamente.

##### 4.1 Protección primaria

La protección primaria está constituida por una lógica de desbloqueo permisivo por comparación direccional implementada por la función de sobrecorriente direccional residual (67N), ver Figura 3.

Desbloqueo permisivo por comparación direccional: Esta lógica utiliza, en cada terminal, un relé de sobrecorriente direccional residual y envío de señal de desbloqueo al terminal remoto. El disparo de los interruptores de la línea, en cada terminal, es condicionado a la recepción de señal de desbloqueo y actuación del relé de sobrecorriente direccional residual.

Para falla externa a la línea, no ocurre disparo de los interruptores de la línea por la lógica de desbloqueo permisivo por comparación direccional.

##### 4.2 Protección alternativa

La protección de sobrecorriente direccional residual (67N) opera sin teleprotección con temporización de dos segundos.

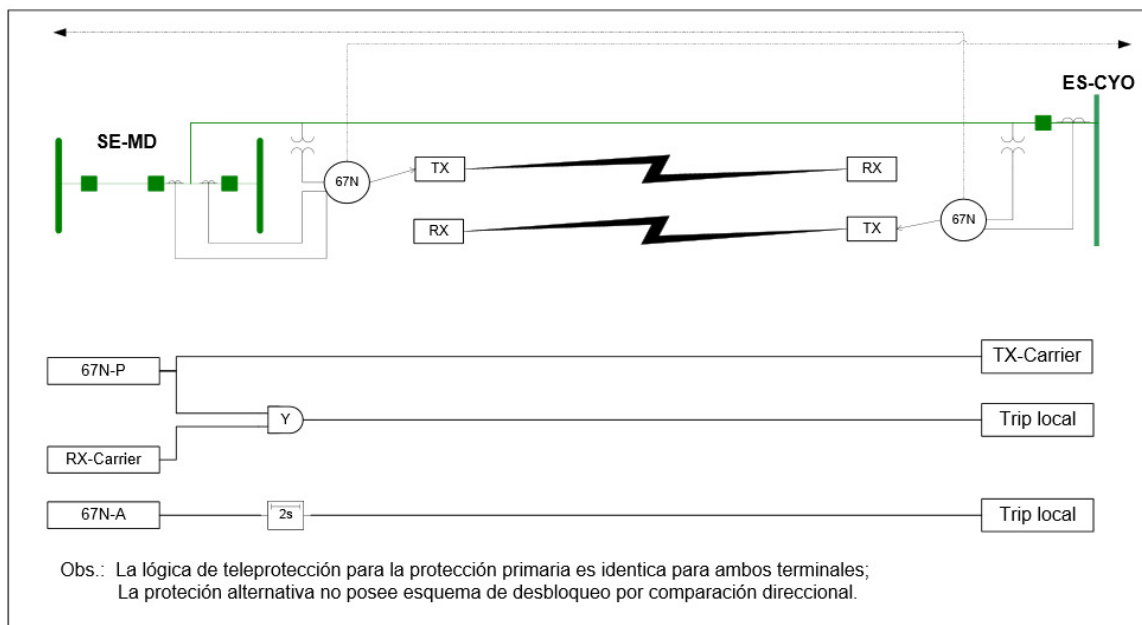


FIGURA 3 – Desbloqueo por comparación direccional

#### 5.0 - RESULTADOS OBTENIDOS

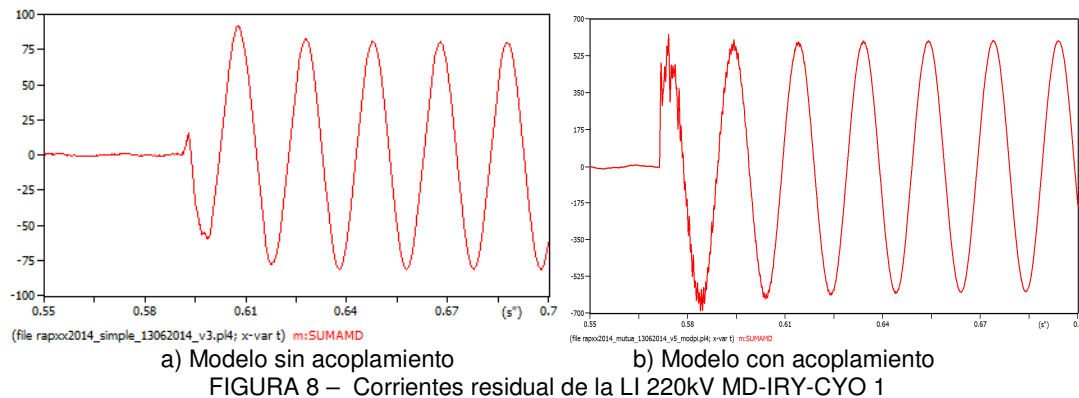
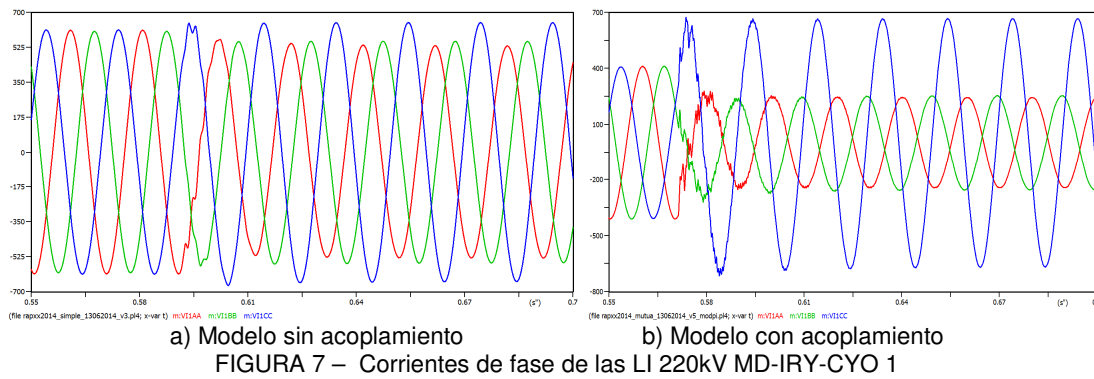
##### 5.1 Comparación de modelos con y sin acoplamiento electromagnético

Primeramente, fueron realizadas simulaciones de modo a visualizar la diferencia entre los modelos de las líneas LI 500kV MD-VHA 1, las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 y las LT 220kV CYO-LIM 1 y 2, considerando el efecto del acoplamiento electromagnético, conforme diagrama de la Figura 4.

La simulación consistió en un cortocircuito monofásico en la fase R de la línea LI 500kV MD-VHA 1, a 156km de la SE-MD.



fase y corriente residual, donde la corriente residual, para el caso del modelo con acoplamiento, alcanza valores de pico aproximado de 700A a diferencia del modelo sin acoplamiento que alcanza valores de pico menores a 100A.



En la Tabla 1 se pueden observar los resultados obtenidos utilizando el software ASPEN OneLiner. El Modelo 1 se refiere los resultados de la simulación del modelo sin considerar el acoplamiento electromagnético y el Modelo 2 se refiere a los resultados de la simulación del modelo considerando el acoplamiento electromagnético.

Tabla 1 – Resultados obtenidos en el ASPEN OneLiner

	Corriente 3lo en el terminal de la SE-MD ( $A_{rms}$ )	
	LI 220kV MD-IRY-CYO 1	LI 220kV MD-IRY-CYO 2
Modelo 1	15	9
Modelo 2	507	631

Conforme esperado, al utilizar el modelo que considera el acoplamiento, los niveles de corriente residual de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, aumentaron en forma significativa.

## 5.2 Comparación del modelo con acoplamiento electromagnético y mediciones de perturbación

Perturbación del día 21 de octubre de 2013: Esta perturbación consistió en la desconexión automática de la LI 500kV MD-VHA 1, en ambos terminales, por actuación de la protección diferencial 87L debido a cortocircuito monofásico en la fase S de la línea.

Las condiciones iniciales en el momento de la perturbación fueron:

Sector de 50Hz:

- Itaipu 50Hz operaba con diez unidades generadoras sincronizadas;
- Generación de Itaipu 50Hz: 6.478MW y 1.859Mvar;
- Tensión en la SE-IPU 50Hz: 501,1kV;
- Tensión en la SE-MD 500kV: 501,0kV;
- Tensión en la SE-MD 220kV: 237,4kV;
- Intercambio Itaipu/ANDE: 1.211MW y -66Mvar.

La línea LI 500kV MD-VHA 1 estaba transmitiendo 375MW/-291Mvar y las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 estaban transmitiendo 121MW/1Mvar y 113MW/4Mvar, respectivamente.

No hubo disminución del intercambio con la ANDE debido a que los circuitos de interconexión en 220kV asumieron el flujo de potencia que estaba siendo transmitida por la línea LI 500kV MD-VHA 1.

En la Tabla 2 se encuentran resumidos los niveles de corriente residual de la línea LI 500kV MD-VHA 1 y la línea LI 220kV MD-IRY-CYO 1.

Tabla 2 – Resultados obtenidos en el ASPEN OneLiner

	Corriente 3lo en el terminal de la SE-MD ( $A_{rms}$ )	
	Medido	Simulado
LI 500kV MD-VHA 1	2.450	2.452
LI 220kV MD-IRY-CYO 2	445	580

Perturbación del día 13 de junio de 2014: Esta perturbación consistió en la desconexión automática de la LI 500kV MD-VHA 1, en ambos terminales, por actuación de la protección diferencial 87L debido a cortocircuito monofásico en la fase R de la línea.

Las condiciones iniciales en el momento de la perturbación fueron:

Sector de 50Hz:

- Itaipu 50Hz operaba con diez unidades generadoras sincronizadas.
- Generación Itaipu 50Hz: 6.057MW y 1.490Mvar;
- Tensión en la SE-IPU 50Hz: 500,0kV;
- Tensión en la SE-MD 500kV: 498,4kV;
- Tensión en la SE-MD 220kV: 223,1kV;
- Intercambio Itaipu/ANDE: 943MW y -437Mvar.

La línea LI 500kV MD-VHA 1 estaba transmitiendo 281MW y -332Mvar y las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 estaban transmitiendo 86MW y -30Mvar y 94MW y -21Mvar, respectivamente.

En la Tabla 3 se encuentran resumidos los niveles de corriente residual de la línea LI 500kV MD-VHA 1 y la línea LI 220kV MD-IRY-CYO 1.

Tabla 3 – Resultados obtenidos en el ASPEN OneLiner

	Corriente 3lo en el terminal de la SE-MD ( $A_{rms}$ )	
	Medido	Simulado
LI 500kV MD-VHA 1	3.200	3.230
LI 220kV MD-IRY-CYO 2	515	507

## 6.0 - ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el objetivo de simular la sensibilidad del alcance de la función de sobrecorriente direccional residual, fueron obtenidos los siguientes resultados utilizando el ASPEN OneLiner.

Fue considerado un escenario de generación máxima: Itaipu con 10 unidades generadoras y sistema de 50Hz completo (Itaipu/Furnas/ANDE). La simulación consistió en cortocircuito monofásico en la fase R en la LI 500kV MD-VHA 1.

Tabla 4 – Verificación del alcance del 67N en el ASPEN OneLiner

Localización de la falta (medida a partir del terminal de la SE-MD)	Corriente 3lo en la LI 220kV MD-IRY-CYO 1 ( $A_{rms}$ )	
	Terminal de la SE-MD	Terminal de la ES-CYO
0%	38	62
20%	505	247
40%	496	397
60%	584	559
80%	420	410
100%	273	271

Considerando los siguientes ajustes para la función 67N de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2:

Terminal de la SE-MD

Nivel de corriente residual para el esquema de comparación direccional.

IN>Dir                    10%IB                    Como IB=1200, de esta forma IN>Dir=240A

#### Terminal de la ES-CYO

Nivel de corriente residual para el esquema de comparación direccional.

IN>Dir                    10%IB                    Como IB=600A, de esta forma IN>Dir=120A

Se observan que los niveles de corriente residual son suficientes como para el arranque de la función 67N, pero quedaría condicionado al elemento direccional para el funcionamiento del esquema de desbloqueo por comparación direccional.

### 7.0 - CONCLUSION

Se evidencia acoplamiento electromagnético significativo entre la línea LI 500kV MD-VHA 1 y las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO y las LT 220kV CYO-LIM.

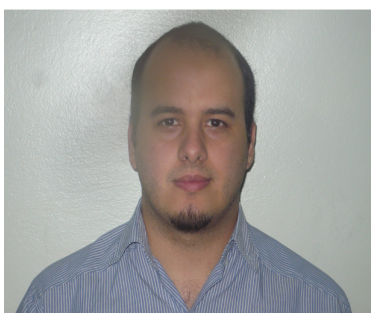
En caso de cortocircuitos a tierra, dependiendo de la localización de la falta en la línea LI 500kV MD-VHA 1, se propiciaría el nivel de corriente para el arranque de la protección primaria de sobrecorriente direccional de tierra de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2. Y dependiendo de la direccionalidad, esto podría tener como consecuencia el envío y recepción de señal de desbloqueo entre los terminales de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, ocasionando la apertura de los interruptores.

Esto implicaría en que, además de la interrupción en el suministro a través de la línea de 500kV debido a la falta, se estaría ocasionando la apertura incorrecta de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, ocasionando así reducción importante del intercambio entre Itaipu 50Hz y ANDE.

### 8.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ajuste y coordinación de protecciones de distancia y sobrecorriente para líneas de transmisión que comparten el mismo derecho de vía – Tesis para grado de master en ingeniería eléctrica, Nájera Guevara Adriel, Enero 2012.
- (2) User's Guide REL 511/521 – Line distance protection terminal.
- (3) Electromagnetic Transients Program Reference Manual. EMTP Theory Book, 1989.
- (4) ATP – Alternative Transient Program. EMTP Rule Book, 2. Ed., EUA, 2000.

### 9.0 - DATOS BIOGRÁFICOS



Esteban Federico Vargas Correa ([vargasc@itaipu.gov.py](mailto:vargasc@itaipu.gov.py)). Nació en 1982 en la ciudad de Asunción, Paraguay. Recibió su diploma de graduación y pos-graduación en ingeniería eléctrica por la Universidad Nacional del Este en 2007 y 2009, respectivamente, y diploma de master en ingeniería eléctrica por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Trabaja en la Itaipu Binacional desde 2011, actuando en el área de estudios eléctricos y normas, involucrado con análisis de perturbaciones, realización de estudios eléctricos y elaboración de procedimientos operativos.