

SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO POLINOMIAL DE LA CARGA UTILIZANDO ATP.

Simulation and validation of polynomial electric load model using ATP

Ricardo Herrera Orozco, Juan José Mora Flores, Jhon Fredy Patiño
Ingeniería eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
 arherrera@utp.edu.co
jjmora@utp.edu.co
jfpatino@utp.edu.co

Resumen—En este artículo se presenta el estudio e implementación del modelo ZIP polinomial de carga en sistemas eléctricos de potencia utilizando la herramienta *Models*, disponible en el software de simulación *Alternative Transients Program (ATP)*. Además se presenta la validación del modelo desarrollado, comparando los resultados del flujo de potencia de un circuito de prueba, utilizando un modelo de carga de impedancia, potencia constante y un modelo híbrido en el ATP, con los obtenidos en el software *Neplan*, tomado como referencia.

Los resultados muestran que el modelo se comporta según lo esperado, lo cual valida el desarrollo propuesto.

Palabras clave— Modelo de carga estático, sistema de distribución, software de simulación ATP, *Neplan*.

Abstract—This paper presents the study and simulation of polynomial load model in power systems using the tools *Models* available in the simulation software *Alternative Transients Program (ATP)*. Additionally, the validation of the developed model is performed by comparing the results of the power flow of a test circuit using a model impedance load, constant power and a hybrid model in the ATP with those obtained in the software *NEPLAN* taken as reference.

The results obtained show how the proposed load model has a behavior according to these desired. This fact validates the proposed approach.

Key Word — Static load models, power system, simulation software ATP, *Neplan*.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica constituye uno de los elementos fundamentales para el desarrollo económico y social de nuestro país, dado que es una de las formas de energía más utilizada en los procesos productivos. Por lo anterior el estudio y modelado eficiente de todos los elementos de un sistema eléctrico, incluyendo la carga, se ha convertido en uno de los temas de investigación más importantes para el desarrollo del país [1].

En las redes de energía eléctrica, la carga se puede definir como la potencia total consumida por uno o varios dispositivos conectados al sistema.

En general, las cargas en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica pueden ser modeladas como impedancia, corriente y potencia constante, aunque realmente se presentan en forma combinada y reúnen características de los tres modelos anteriores [2]. La combinación de cargas puede ser modelada asignando un porcentaje del total de la carga a cada uno de los modelos anteriores.

Obtener la composición de la carga es una tarea difícil y regularmente las mismas empresas de distribución de energía en Colombia poseen esta información y recurren a adoptar valores típicos de otros países, aunque lo correcto sería obtener el equivalente a partir de las composiciones de cargas típicas (fracciones de cargas del total) según el tipo de carga (residencial, comercial, industrial), a partir del censo, del conocimiento de la demanda y de la experimentación [3].

Así, en el presente artículo se propone la implementación del modelo compuesto de la carga en el software ATP. Éste permite incluir las relaciones de la carga con respecto a las variaciones de los voltajes a los cuales se encuentra sometida. Adicionalmente se muestra la validación realizada con la comparación de los resultados obtenidos con un flujo de potencia de un sistema de prueba utilizando el software de simulación *NEPLAN* que también tiene aceptación en la comunidad científica.

II. ASPECTOS BÁSICOS FUNDAMENTALES

En esta sección se presentan los aspectos básicos de la teoría requerida para la realización de este trabajo. Explicaciones más detalladas están fuera del alcance de este documento, pero pueden encontrarse en las referencias suministradas.

A. Modelo de carga estático:

Para comprender el modelo polinomial de la carga se presenta el estudio de cada uno de sus componentes:

1. Cargas modeladas como impedancia constante.

Este modelo es utilizado para la representación de cargas de tipo residencial y comercial. (Cargas de tipo resistivo como estufas y planchas, entre otras) [2]. En este caso el consumo de potencia, y por tanto de corriente, aumenta de la misma manera que aumenta la tensión en terminales.

Las ecuaciones para este modelo se muestran en (1)

$$I_n = \frac{V_n}{Z} \quad (1)$$

Donde:

I_n : Corriente nominal

V_n : Tensión nominal a la que está sometida la carga

Z : Impedancia de la carga

Si la tensión y corriente real son V e I , entonces se tiene (2)

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2)$$

Igualando Z de (1) y (2), se obtienen (3), (4) y (5)

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_n}{I_n} \quad (3)$$

$$I = I_n * \left(\frac{V}{V_n}\right) \quad (4)$$

Así:

$$S = S_n * \left(\frac{V}{V_n}\right)^2 \quad (5)$$

Donde:

S : potencia aparente real de la carga.

S_n : Potencia aparente nominal de la carga.

2. Cargas modeladas como corriente constante:

En el tipo de cargas que tienen igual porcentaje de tipo potencia constante e impedancia constante se presenta un consumo de corriente fijo, es decir si se presentan variaciones en la tensión de alimentación, la corriente es la misma. Un ejemplo de este tipo de cargas son los artefactos electrónicos.

El valor que cambia es el de la potencia consumida. De la ecuación (6) y (7) se puede obtener la magnitud de la potencia aparente como se muestra en (8):

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_n}{Z_n} \quad (6)$$

$$Z = Z_n * \frac{V}{V_n} \quad (7)$$

Dónde:

Z_n : Impedancia nominal de la carga

$$S = I^2 * Z = I_n^2 * Z_n * \left(\frac{V}{V_n}\right) = S_n * \left(\frac{V}{V_n}\right) \quad (8)$$

3. Cargas modeladas como potencia constante:

Este modelo de carga mencionada tiene un consumo de corriente que disminuye con el aumento de la tensión. Un ejemplo típico son las cargas de tipo industrial (motores, etc) [2]. En los sistemas de transmisión y alimentadores de distribución que energizan cargas industriales al aumentar las tensiones se reducen las corrientes que circulan por las líneas. En este caso se cumple (9).

$$S = S_n \quad (9)$$

4. Modelo Polinomial de la Carga:

A partir de las ecuaciones (5), (8) y (9) es posible representar el modelo de carga compuesto o mas conocido como el modelo polinomial ZIP [4] (Impedancia constante, corriente constante y potencia constante), el cual expresa la potencia activa y reactiva en función de la tensión eléctrica al que esta sometida la carga como se muestra en (10) y (11)

$$P = [a_{p0} + a_{p1} * \left(\frac{V}{V_n}\right) + a_{p2} * \left(\frac{V}{V_n}\right)^2] \quad (10)$$

$$Q = [a_{q0} + a_{q1} * \left(\frac{V}{V_n}\right) + a_{q2} * \left(\frac{V}{V_n}\right)^2] \quad (11)$$

Donde:

a_{p0} , a_{p1} , y a_{p2} coeficientes para potencia activa y a_{q0} , a_{q1} y a_{q2} son coeficientes de potencia reactiva que representan la porción de cada una de las componentes analizadas anteriormente en el comportamiento global de la carga. Estos coeficientes están dados en porcentaje, y están sujetos a (12)

$$\sum_{i=0}^2 a_i = 1 \quad (12)$$

B. Software de simulación

Para el presente trabajo se seleccionó el software ATP porque es una potente herramienta de simulación actualmente muy empleada en un elevado numero de aplicaciones, y cuyas prestaciones como *Models* son útiles para el diseño de elementos en aplicaciones específicas como el modelo polinomial de la carga.

Models se caracteriza por ser un lenguaje de programación de descripción técnica, en el cual se utiliza un grupo de instrucciones similares a las de Fortran que permiten la

representación y estudio de sistemas variables en el tiempo,[5] algunas de las ventajas más representativas son:

- ✓ Es completamente estructurado, lo cual facilita el diseño modular de sus aplicaciones.
- ✓ Un modelo se puede separar en submodelos, permitiendo así futuras modificaciones sobre algunos segmentos del mismo.

C. Metodología Propuesta

La metodología se divide en tres etapas. La primera está orientada al estudio del modelo de la carga, como se discutió en la sección anterior. La segunda etapa se refiere a la implementación del modelo de la carga en el software ATP, por medio de la herramienta de *Models*. Finalmente, la tercera etapa muestra la validación realizada al modelo, simulando un circuito de prueba y comparando los valores de las señales obtenidas con los valores de los modelos propuestos en Neplan.

1. Propuesta de modelado

El modelo polinomial de la carga presentado en las ecuaciones (10) y (11) se programó utilizando la herramienta denominada *Models* del ATP.

Los módulos de esta herramienta reciben como entradas señales provenientes del circuito eléctrico (básicamente tensiones y corrientes) y entregan señales de control a otros dispositivos o directamente al circuito eléctrico como un modelo Thevenin o Norton equivalente [6]. En este caso, para el modelado de la carga se utilizó uno de los *Models* predefinidos en ATP denominado Type 94 modelo Norton, el cual permite representar elementos pasivos. La salida del Norton type 94 non-transmission es vista desde el circuito eléctrico en la forma de una fuente de corriente en paralelo con la admitancia equivalente del componente [7].

Antes de formular matemáticamente el modelo Norton se requiere discretizar la representación de la resistencia y la inductancia en ATP. Una función continua se puede simular substituyendo un método de integración numérica por las ecuaciones diferenciales y reescribiendo las funciones en una forma apropiada. Se debe considerar que el ATP utiliza la regla de integración trapezoidal.

2. Discretización del inductor:

La formulación continua del elemento inductivo conectado entre nodos *k* y *m* establece la tensión eléctrica en (13)

$$V_{km} = L * \frac{di_{km}}{dt} \tag{13}$$

Aplicando la regla trapezoidal discutida en [8] a la ecuación diferencial anterior, se obtiene que la corriente en el inductor esta dada por (14)

$$i_{km}(t) = i_{km}(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2L} * (v_{k(t-\Delta t)} - v_{m(t-\Delta t)}) + \frac{\Delta t}{2L} * (v_{k(t)} - v_{m(t)}) \tag{14}$$

Esta ecuación puede ser expresada en forma de Norton equivalente, como se muestra en la figura 1

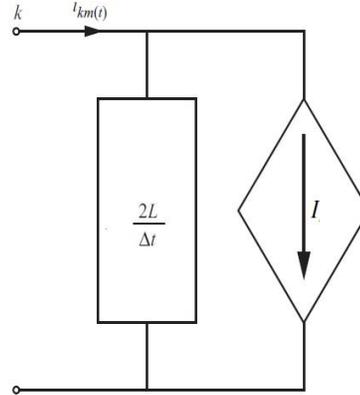


Figura 1. Representación del Inductor

El modelo Norton de un inductor en el ATP es una admitancia equivalente de valor $2L/\Delta t$ en paralelo con una fuente de corriente $i_s(t)$, como se muestra en (15)

$$i_s(t) = i_{km(t-\Delta t)} + \frac{\Delta t}{2L} * V_l(t) \tag{15}$$

3. Discretización de la rama RL:

Para la representación circuital de la carga se utiliza la resistencia en serie con el inductor, la discretización del modelo se realiza siguiendo el procedimiento descrito en [9]. La representación del modelo Norton Equivalente se presenta en la figura 2

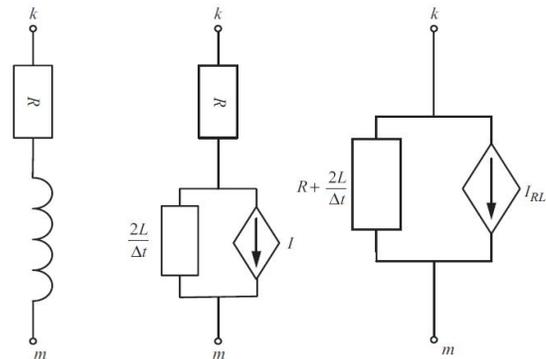


Figura 2. Modelo Norton de la rama RL

El valor de la fuente de corriente de la rama RL está dado por la expresión (16)

Una vez obtenido el modelo equivalente de Norton, la representación discreta de la rama RL en términos de la tensión esta dada por (17).

$$i_{RL}(t) = \frac{\left(1 - \frac{\Delta t R}{2L}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta t R}{2L}\right)} i(t - \Delta t) + \frac{\frac{\Delta t}{2L}}{\left(1 + \frac{\Delta t R}{2L}\right)} (v(t - \Delta t) + v(t)) \quad (17)$$

La ecuación anterior es una de las expresiones fundamentales para la programación de la carga en lenguaje *Models* en el ATP.

4. Errores numéricos e inestabilidad del método de solución del ATP.

Como se mencionó anteriormente, el ATP utiliza la regla de integración trapezoidal como método de solución, aunque en el proceso de discretización de las ecuaciones diferenciales, se introduce un error que en algunos casos afecta y vuelve inestable los resultados del cálculo [9]. En la figura 3 se ilustran los errores debidos a la inestabilidad numérica, en una señal de tensión de fase en el nodo 632 del circuito de la figura 8.

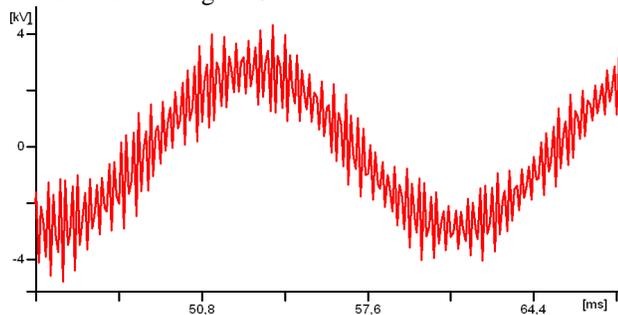


Figura 3. Inestabilidad de la forma de onda.

5. Amortiguamiento de oscilaciones numéricas

Para atenuar el efecto de las oscilaciones en el ATP una alternativa que ha sido implementada de manera eficiente es incorporar resistencias de amortiguamiento [10].

El método utilizado en el modelado de la carga consiste en introducir una resistencia en paralelo *Ram* al modelo Norton de la figura 2, con el objetivo de evitar las oscilaciones numéricas.

Si se aplica la regla trapezoidal a la resistencia de amortiguamiento y se suma con la corriente de la rama RL discretizada en la ecuación (17), se obtiene la expresión final para la corriente de la carga que se ha utilizado en la programación del modelo como se muestra en (18)

$$i_{load}(t) = \frac{v(t-\Delta t)}{Ram} + i_{RL}(t) \quad (18)$$

$$i_{RL}(t) = \frac{\frac{2L}{\Delta t}}{\left(R + \frac{2L}{\Delta t}\right)} * i_s(t) \quad (16)$$

El valor de la resistencia de amortiguamiento debe satisfacer la condición (19)

$$\frac{L}{Ram} \geq \Delta t \quad (19)$$

Donde Δt es el *time step* o paso de integración del ATP, que está definido como el tamaño del intervalo de tiempo entre dos instantes sucesivos de la ejecución del *Models*.

En la figura 4 se presenta la misma señal de tensión del circuito de distribución de la figura 8, pero considerando la resistencia de amortiguamiento en las cargas.

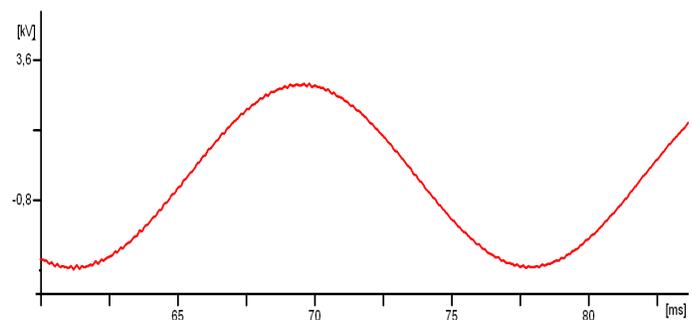


Figura 4. Tension de fase con amortiguamiento

6. Programación del modelo.

Como se mencionó anteriormente, el modelo de la carga se programó utilizando la herramienta *Models* del ATP.

El formato general de descripción para un *Models* se presenta en la figura 5

```
MODEL      --Nombre del modelo
INPUT      --Nombre de las variables de entrada separadas por
           '\, '
OUTPUT     --Nombre de las variables de salida
DATA       --Nombre de las variables externas
VAR        --Nombre de las variables locales
HISTORY    --Valores por defecto de los datos y variables
INIT       --Inicialización del programa
ENDINIT
EXEC       --Ejecución del programa
ENDEXEC
ENDMODEL
```

Figura 5. Estructura general de Models.

El modelo de carga fue programado utilizando principalmente las expresiones (17), (18) y (19).

La interfaz grafica para el ingreso de los coeficientes en porcentaje de carga de cada uno de los modelos individuales (impedancia, corriente y potencia constante) del modelo polinomial se presenta en la figura 6.

Los datos que son usados para realizar la configuración del modelo son:

- Snom: Potencia de la carga
- FP: Factor de potencia de la carga
- Vnom: Tensión nominal
- Vopi: Tensión de operación inicial
- bp y bq: Parámetros que definen el tipo de modelo a utilizar, 0 para potencia constante, 1 para corriente constante y 2 para impedancia constante

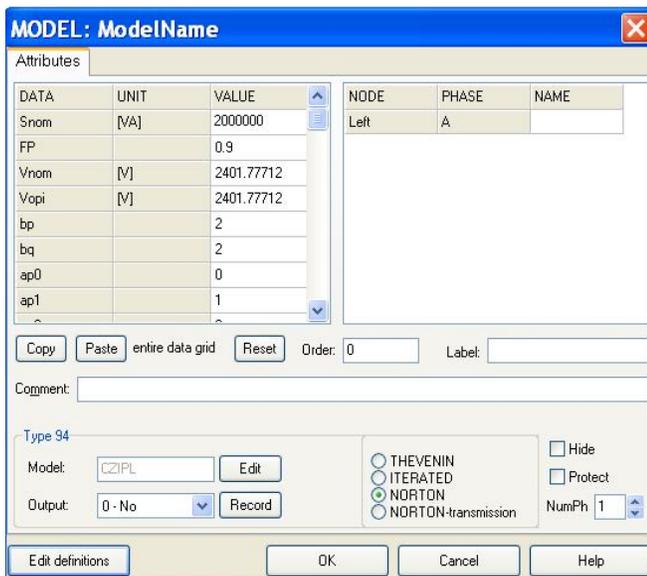


Figura 6. Ingreso de coeficientes para el modelo de carga.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

A. Sistema de Prueba:

Para realizar las pruebas y validación al modelo desarrollado, se presenta en la figura 7 un circuito de distribución modificado a partir del circuito de 13 nodos de la IEEE [11].

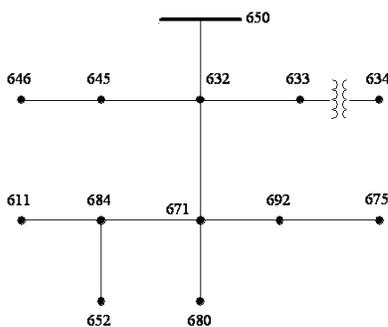


Figura 7. Sistema de distribución de prueba

Se seleccionó un circuito con topología simple para comparar los flujos de carga usando ATP y Neplan de manera ilustrativa

B. Análisis de Resultados:

A continuación se presenta la comparación de los resultados del flujo de carga en ATP del sistema de distribución de prueba modelando la carga como impedancia constante con los elementos propios como resistencia e inductor, en la figura 8 y modelando la carga también como impedancia constante pero utilizando el Models desarrollado como se presenta en la figura 9.

El sistema de distribución simulado en ATP, modelando la carga con los elementos propios se muestra en la figura 8.

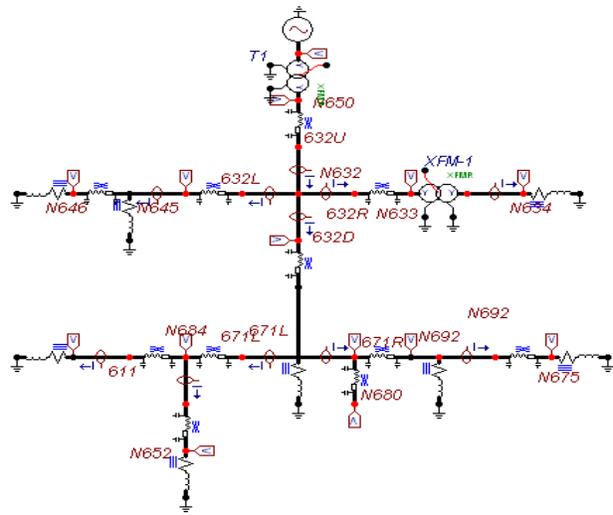


Figura 8. Circuito de prueba modelado como impedancia constante con elementos del ATP

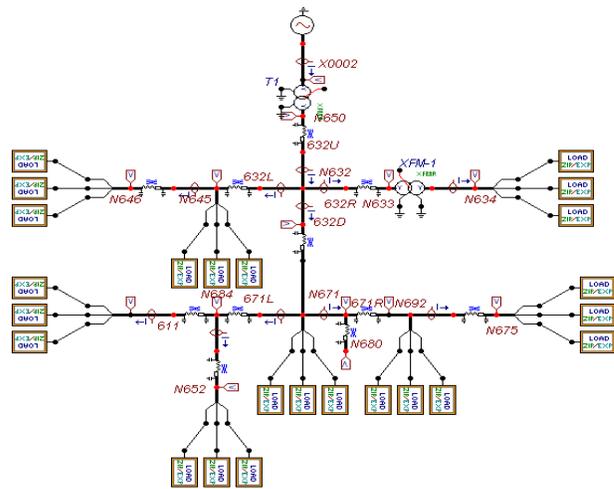


Figura 9. Sistema de distribución en ATP modelando la carga con el modelo ZIP.

La figura 10 muestra la tensión de fase en el nodo 671 de la figura 8 y la tensión de fase en el nodo 671 de la figura 9 en la página siguiente.

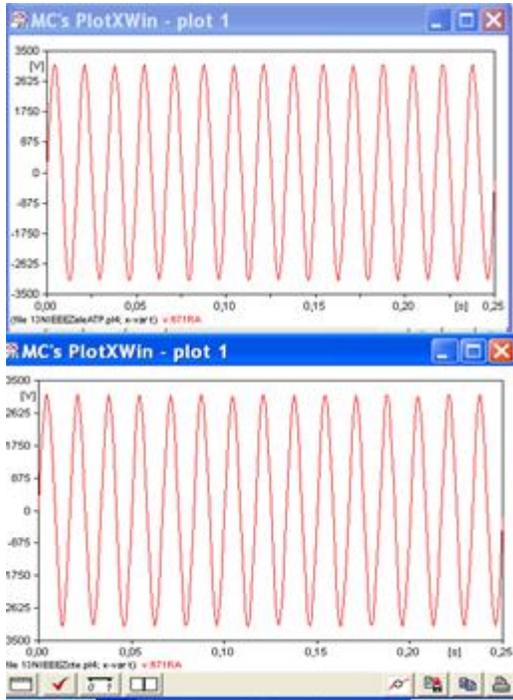


Figura 10. Tensión de fase N671

Al comparar las lecturas de la figura 10 se puede observar que la magnitud de la tensión de fase obtenida utilizando el modelo ZIP en *Models* difiere en valores muy pequeños. Un análisis similar se puede realizar para la comparación del comportamiento de las corrientes, para ello la figura 11 muestra la corriente entre el nodo 692 y el nodo 675 del circuito simulado en la figura 8 y en la figura 9.

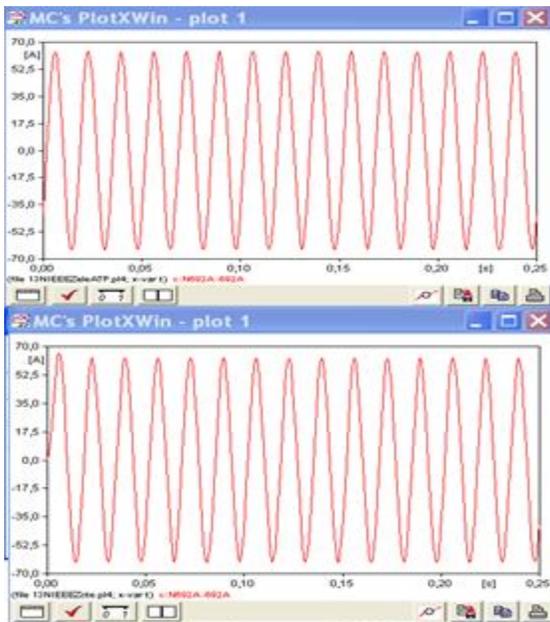


Figura 11. Corriente entre N692-675.

Esta comparación inicial muestra que el modelo de carga propuesto reproduce adecuadamente el comportamiento de la carga para el modelo de impedancia constante, modelado con los elementos propios del ATP y con la herramienta *Models*. La metodología propuesta para la validación del modelo de la carga ZIP desarrollado en el ATP incluye además la comparación de los resultados del flujo de carga del circuito de prueba de la figura 9 con los resultados del flujo de carga del mismo circuito pero simulado en el software Neplan, ya que es un software aceptado por la comunidad mundial y además ya tiene por defecto el modelo polinomial de la carga como se muestra en la figura 12.

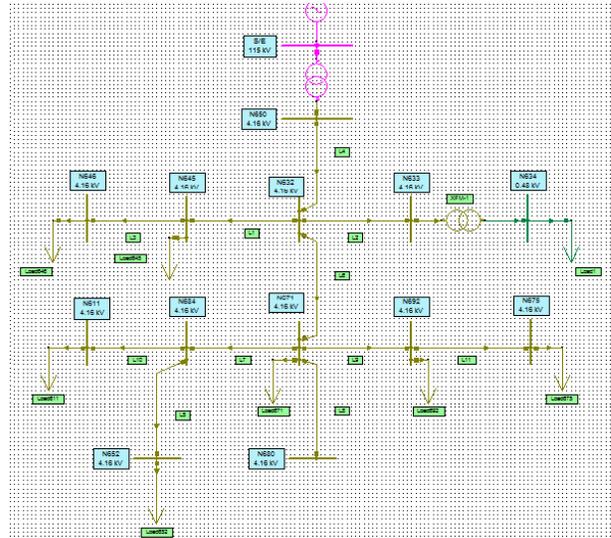


Figura 12. Circuito de prueba simulado en Neplan.

El error relativo reportado en las siguientes tablas corresponde a la diferencia en magnitud de las señales (Tensión y corriente) obtenidas en ATP y las obtenidas en Neplan para cada modelo de carga validado. Además también se presenta el mismo análisis para las diferencias angulares.

Los resultados del flujo de carga utilizando el modelo de potencia constante en cada uno de los simuladores se muestran en la tabla 1 y tabla 2 respectivamente.

Los resultados del flujo de carga utilizando un modelo híbrido con 30% de potencia constante, 30% de corriente constante y 40% de impedancia constante en cada uno de los simuladores se muestran en la tabla 3 y tabla 4.

A partir de las tablas presentadas se obtienen errores en magnitud y en ángulo muy pequeño, lo cual valida la propuesta de discretización del modelo para su implementación en una herramienta ampliamente reconocida como el ATP. Una posible causa de las pequeñas diferencias entre ambas metodologías es que los programas de simulación (ATP y Neplan) utilizan técnicas diferentes para resolver los flujos de carga.

Tensión	Medidas obtenidas con Neplan.		Medidas obtenidas con ATP		Error Magnitud	Error Angulo
	Nodo	Vr (kV)	θ_r (°)	Vi (kV)	Θ_i (°)	Vi-Vr (kV)
N650	4.055	-1.53	4.035	-0.02	-0.02	1.51
N634	0.443	-3.92	0.435	-2.10	-0.008	1.82
N633	3.869	-3.57	3.850	-2.08	-0.019	1.49
N632	3.875	-3.51	3.857	-2.02	-0.018	1.49
N645	3.868	-3.57	3.850	-2.08	-0.018	1.49
N646	3.866	-3.59	3.846	-2.10	-0.02	1.49
N611	3.749	-5.01	3.730	-3.53	-0.019	1.48
N684	3.752	-4.98	3.734	-3.50	-0.018	1.48
N671	3.755	-4.95	3.737	-3.46	-0.018	1.49
N652	3.747	-5.04	3.729	-3.56	-0.018	1.48

Tabla 1. Comparación tensiones nodales. Carga como potencia constante

Corriente	Medidas obtenidas con Neplan.		Medidas obtenidas con ATP		Error Magnitud	Error Angulo
	Línea	Ar (A)	θ_r (°)	Ai (A)	Θ_i (°)	Ai-Ar (A)
L1	71	-38,22	70,4	-36,35	-0,6	-1,9
L2	30	-30,48	30,6	-28	0,6	-2,5
L3	42	-35,6	42,05	-33,2	0,05	-2,4
L4	313	-37,31	312,1	-34,9	-0,9	-2,4
L5	24	-38,43	24,21	-36,05	0,21	-2,4
L6	213	-37,96	211,7	-35,58	-1,3	-2,4
L7	53	-34,28	52,75	-32	-0,25	-2,3
L9	91	-42,48	90,77	-39,94	-0,23	-2,5
L10	29	-30,75	28,65	-28,6	-0,35	-2,2

Tabla 2. Comparación corriente de línea. Carga como potencia constante

Tensión	Medidas obtenidas con Neplan.		Medidas obtenidas con ATP		Error Magnitud	Error Angulo
	Nodo	Vr (kV)	θ_r (°)	Vi (kV)	Θ_i (°)	Vi-Vr (kV)
N650	4,066	-1,39	4,051	0,08	-0,015	-1,5
N634	0,446	-3,57	0,440	-1,77	-0,006	-1,8
N633	3,897	-3,25	3,886	-1,75	-0,011	-1,5
N632	3,903	-3,20	3,891	-1,70	-0,012	-1,5
N645	3,896	-3,25	3,884	-1,75	-0,012	-1,5
N646	3,894	-3,27	3,883	-1,78	-0,011	-1,5
N611	3,789	-4,53	3,781	-3,02	-0,008	-1,5
N684	3,792	-4,50	3,784	-3	-0,008	-1,5
N671	3,795	-4,48	3,786	-2,97	-0,009	-1,5
N652	3,787	-4,56	3,779	-3,05	-0,008	-1,5

Tabla 3. Comparación tensiones nodales. Carga como modelo híbrido

Corriente	Medidas obtenidas con Neplan.		Medidas obtenidas con ATP		Error Magnitud	Error Angulo
	Línea	Ar (A)	θ_r (°)	Ai (A)		
L1	66	-37,96	64,46	-35,49	-1,54	-2,5
L2	28	-30,13	27,42	-27,67	-0,58	-2,5
L3	39	-35,28	38,49	-32,92	-0,51	-2,4
L4	285	-36,87	279,1	-34,44	-5,9	-2,4
L5	22	-37,95	21,46	-35,54	-0,54	-2,4
L6	191	-37,48	187,4	-35,07	-3,6	-2,4
L7	48	-33,80	46,77	-31,52	-1,23	-2,3
L9	82	-41,99	80,36	-39,43	-1,64	-2,6
L10	26	-30,27	25,41	-28,13	-0,59	-2,1

Tabla 4. Comparación corriente de línea. Carga como modelo híbrido

IV. CONCLUSIONES

El modelo de la carga programado por medio de la herramienta de *Models* del ATP, muestra un correcto comportamiento de las señales de tensión y corriente al compararlo con un modelo de las mismas características, pero modelado con el software NEPLAN. Lo anterior muestra la validez del modelo programado, y verifica la correcta implementación del mismo, lo que lo hace confiable para su utilización.

Por otro lado, al realizar la comparación del modelo de impedancia constante implementado con los elementos propios del ATP (Resistencias e inductancias), y el modelo de la carga programado con la herramienta de *Models* y configurado como impedancia constante; se observó el mismo comportamiento para los dos casos, tanto en las señales de tensión y corriente en diferentes nodos del sistema. Lo anterior debido a que los modelos comparados son ambos de impedancia constante implementados de forma distinta en el ATP.

Finalmente, el modelo de la carga se programó por medio de la herramienta de *Models* del ATP, la cual es versátil, tiene un lenguaje de descripción general y técnico, soportado por un solver de simulación. Es un lenguaje de programación dirigido a la simulación en dominio de tiempo, y se utiliza como una buena herramienta para describir el comportamiento dinámico de sistemas físicos complejos. En el ATP, puede ser utilizado para describir el funcionamiento de los componentes del circuito y de componentes de control, como se muestra en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] T. P. Svobodny. *Mathematical Modeling for Industry and Engineering*, Prentice-Hall 534 pages. 1998.
- [2] William H. Kersting. "Distribution System Modeling and Analysis". New Mexico state University. CRC Press ISBN 0-8493-0812-7
- [3] D.Fuentes "Modelos eléctricos de respuesta de cargas: obtención y aplicación a la identificación de usos finales en bajos niveles de agregación," Disertación doctoral, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, 2001
- [4] Taskforce, "Load representation for dynamic performance analysis [of power systems]," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 8, pp. 472-482,1993.
- [5] User Group. "Rule Book Alternative transient program (ATP)".[Online]. Available: <http://www.emtp.org>
- [6] Guillermo Vinasco "Modelamiento de protecciones utilizando ATP". Universidad Nacional de Colombia 1ª Edición,2008. ISBN 978-958-701-829-5
- [7] Laurent Dubé, "Users guide to models in ATP". April 1996.
- [8] O. Trad. *Transitorios electromagnéticos, Modulo 1: Simulación*. Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan-Argentina, 1997
- [9] Neville W. and J. Arrillaga. "Power Systems Electromagnetic Transients Simulation". IET power and energy series 39 ISBN 0-85296 106 5.
- [10] Cano E.. and Hernan E. Tacca. "Modelado y simulación en electrónica de potencia con ATP". IET power and energy series 39 ISBN 0-85296 106 5.
- [11] Distribution System Analysis Subcommittee. IEEE 13 Node Test Feeder. [Online]. Available: <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>