



**Comisión de Regulación  
de Energía y Gas**

**CONSULTORÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS  
DE ENERGÍA EN LOS MERCADOS DE COMERCIALIZACIÓN  
PRESENTES EN EL SIN Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA LA  
EVALUACIÓN DE PLANES DE REDUCCIÓN Y/O  
MANTENIMIENTO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA**

**CONTRATACIÓN CDP-170-08**

**Informe Final – TOMO 3**

**Pérdidas Técnicas Nivel de Tensión 1**

**Revisión 2**

**DOCUMENTO IEB-469-07-06**



**Ingeniería Especializada**

**Itagüí, Septiembre de 2009**

---

**Sede principal Itagüí – Colombia Cra. 42 72-11, of. 205**

*Sede Bogotá - Colombia Cll. 53A 28-80 Galerías*

*Sede Barranquilla - Colombia Cra. 43 80-284, Local 20*

***<http://www.ieb.com.co>***

***PBX: (57-4) 373 67 77***

*PBX: (57-1) 703 00 32*

*PBX: (57-5) 378 6700*

***Fax: (57-4) 372 32 71***

*Fax: (57-1) 221 99.25*

*Fax: (57-4) 372 32 71*

***e-mail: [ieb@ieb.com.co](mailto:ieb@ieb.com.co)***

### CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a:

Nombre	Dependencia	Empresa	Copias
Hernán Molina	Dirección Ejecutiva	Comisión de Regulación de Energía y Gas	1
	\\Servidor	IEB S.A.	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a IEB S.A.

### CONTROL DE REVISIONES

Revisión No.	Aspecto revisado	Fecha
0	Emisión inicial	2007/11/23
1	Según comentarios CREG	2008/02/28
2	Según comentarios CREG	2008/12/09

### CONTROL DE RESPONSABLES

NÚMERO DE REVISIÓN		0	1	2
Elaboración	Nombre	MMC	MMC	YAA
	Firma			
	Fecha	2007/11/23	2008/02/19	2009/08/20
Revisión	Nombre	JAB	JAB	JAB
	Firma			
	Fecha	2007/11/23	2008/02/28	2009/08/21
Aprobación	Nombre	CREG	CREG	CREG
	Firma			
	Fecha	2007/11/23	2008/02/28	2009/08/21

YAA            Yesid Arcos Arango  
 MMC           Mónica María Cardona  
 JABD          Jaime Alberto Blandón Díaz  
 CREG          Comisión de Regulación de Energía y Gas

## TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETO .....	4
2.	INTRODUCCIÓN .....	4
3.	ALCANCE.....	4
4.	CALCULO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN NIVEL DE TENSIÓN 1 MEDIANTE SIMULACIÓN DE CARGAS EMPLEANDO UN MODELO MONTECARLO .....	4
5.	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA PARA EL MODELAMIENTO DE LAS CARGAS .....	11
<b>5.1</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA USUARIOS INDUSTRIALES .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA USUARIOS COMERCIALES .....</b>	<b>18</b>
6.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	20

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Curva de Demanda Diaria para Usuarios Residenciales .....	6
Figura 2.	Curva de carga usuarios industriales.....	18
Figura 3.	Curva de carga usuarios comerciales .....	19
Figura 4.	Porcentaje de pérdidas totales para el Nivel de Tensión 1 .....	24

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Demanda de Potencia de Electrodomésticos.....	6
Tabla 2.	Vivienda Región Andina .....	7
Tabla 3.	Vivienda Región Amazonia .....	8
Tabla 4.	Vivienda Región Caribe.....	9
Tabla 5.	Vivienda Región Orinoquía .....	10
Tabla 6.	Vivienda Región Pacífica .....	10
Tabla 7.	Datos de Consumo y Tiempo de Uso de Electrodomésticos .....	13
Tabla 8.	Selección de Región .....	14
Tabla 9.	Porcentaje de Uso de Electrodoméstico en Escenario de Demanda .....	15
Tabla 10.	Porcentaje de participación por tipo de usuario .....	20
Tabla 11.	Pérdidas en usuarios residenciales .....	21
Tabla 12.	Porcentaje de pérdidas para el nivel de tensión 1 .....	22

## **1. OBJETO**

Presentar los criterios, la metodología y los resultados de la modelación de pérdidas de energía eléctrica de las redes de tensión del nivel 1, desarrollados por Ingeniería Especializada S.A. Esto en el marco del contrato CREG CDP-152-07.

## **2. INTRODUCCIÓN**

Para llevar a cabo las actividades relacionadas con la modelación de las redes de tensión del nivel 1, se tomó como información base la reportada por los OR en el marco de la Circular CREG 013 de 2007. En dicha información se encontraron problemas que impedían realizar una buena modelación de la red de cada OR; por lo tanto se realizaron diversas comunicaciones a las empresas entre los días 12 a 19 de diciembre de 2007 desde las oficinas de CREG con el fin de aclarar la información reportada en la circular. Con base en las aclaraciones y la nueva información enviada por las empresas durante el mes de diciembre de 2007, se procedió a efectuar la revisión y clasificación de la misma. Los resultados de pérdidas calculados con esta información se presentaron en la Circular CREG 024 de 2008; entre los días 28 de mayo y 6 de junio de 2008, se abrió un espacio de discusión, en las oficinas de IEB S.A. Medellín, en conjunto con los Operadores de Red, la CREG y el consultor para dar respuesta a los comentarios generados a dicho informe. En este encuentro se presentaron las metodologías de cálculo de pérdidas usadas por los OR como también los problemas de la información reportada. Durante las reuniones con los agentes se generaron compromisos de parte de los OR para corregir y complementar la información necesaria para realizar nuevamente la modelación de las redes del Nivel de tensión 1 y posterior cálculo de las pérdidas técnicas. La mayoría de las empresas corrigieron su información, sin embargo en algunas de ellas la información continuó con problemas, en cuyos casos se tomaron criterios técnicos y regulatorios para modelar las redes con la mejor información disponible.

## **3. ALCANCE**

Modelación de las redes eléctricas de la totalidad de la muestra del nivel de tensión 1 entregada por los OR a la CREG y la determinación de las pérdidas técnicas de energía en el nivel de tensión 1 que se presentan actualmente en los sistemas de cada OR.

## **4. CALCULO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN NIVEL DE TENSIÓN 1 MEDIANTE SIMULACIÓN DE CARGAS EMPLEANDO UN MODELO MONTECARLO**

El método de simulación por Montecarlo busca emular la variación de la carga individual de cada usuario en un periodo establecido de tiempo, bien sea en minutos, días, meses, años, etc., con el fin de modelar estadísticamente el comportamiento de las cargas individuales de los usuarios de Nivel de Tensión 1, como variables

probabilísticas definidas en el tiempo. En este caso se busca modelar las pérdidas técnicas de un circuito típico para cada grupo de calidad definido por la CREG, de cualquier electrificadora del país, con el fin de obtener un comparativo con las medidas actualmente reportadas por estas empresas.

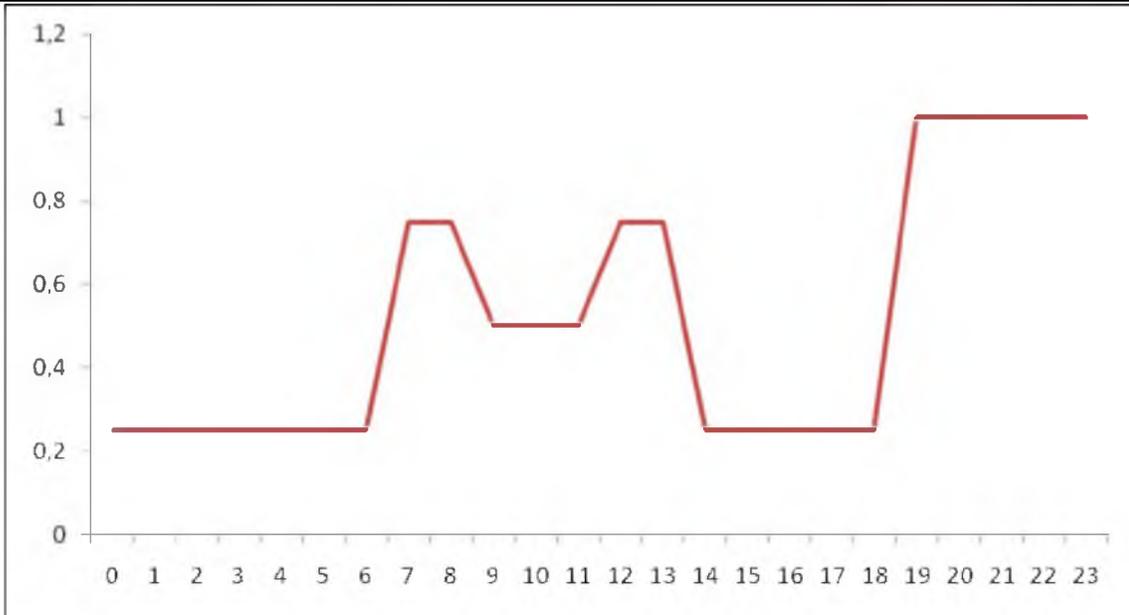
Para ello se simula el comportamiento de las cargas residenciales encendiendo y apagando electrodomésticos estadísticamente, con el fin de obtener un comportamiento agregado de cargas, que sea consecuente con las curvas de carga de transformadores de distribución.

Con el fin de emular el comportamiento de las cargas residenciales y obtener las pérdidas técnicas asociadas con cada uno de los OR, se creó un programa de simulación Montecarlo, basada en una hoja de cálculo cuya finalidad es la de modelar el comportamiento de cada usuario, cada diez minutos de cada día, revisando el consumo de cada electrodoméstico en ese período de tiempo a partir de establecer estadísticamente si el electrodoméstico está prendido, considerando además el consumo típico de potencia de cada equipo.

Los intervalos de demanda definidos son los siguientes:

- Demanda Baja: Comprende el periodo de tiempo entre las 23 horas y las 6 horas.
- Demanda Media: Comprende el periodo de tiempo entre las 8 horas y las 11 horas y las 14 horas a las 18 horas.
- Demanda Media Alta: Comprende el periodo de tiempo entre las 6 horas y las 8 horas y las 11 horas y las 14 horas.
- Demanda Máxima: Comprende el periodo de tiempo entre las 18 horas y las 23 horas.

De manera ilustrativa se presenta en la Figura 1 el gráfico de demanda diaria.



**Figura 1. Curva de Demanda Diaria para Usuarios Residenciales**

Las cargas evaluadas son residenciales, comerciales e industriales pequeñas, por lo que en este estudio se consideran solo electrodomésticos generalizados para la mayoría de las viviendas del país, así como motores pequeños (10.5 kVA), a los cuales se les asignó una potencia demandada fija, las cuales se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Demanda de Potencia de Electrodomésticos**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Consumo nominal W
Nevera	250
Televisor	150
Reproductor de DVD	150
Equipo de sonido	100
Aire Acondicionado	5000
Horno Microondas	1800
Olla Arrocera	1200
Parrilla pequeña alto	1500
Sanduchera	1200
Licuadaora	600

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Consumo nominal W
Cafetera	800
Lavadora	750
Plancha	1000
Grabadora	100
Ventilador pequeño	100
Computador	800
Ducha Eléctrica	1500
Secador	1500
Bombilla de 60 W	60
Bombilla de 100 W	100

Esta información fue extractada de las siguientes referencias:

- [www.creg.gov.co](http://www.creg.gov.co)
- [www.emsa-esp.com.co/site/index.php?id=512](http://www.emsa-esp.com.co/site/index.php?id=512)
- Instalaciones Eléctricas, Carlos Mario Diez H., Tabla 4.1 “Consumo por Salida”, página 169.

Con el fin de permitir flexibilidad en el momento de aumentar o disminuir electrodomésticos, se caracterizaron viviendas de las cinco regiones de nuestro país de acuerdo con lo presentado en la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

**Tabla 2. Vivienda Región Andina**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Andina
Nevera	1
Televisor	3
Reproductor de DVD	2
Equipo de sonido	1
Aire Acondicionado	0
Horno Microondas	1
Olla Arrocera	1
Parrilla pequeña alto	2

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Andina
Sanduchera	1
Licuadaora	1
Cafetera	1
Lavadora	1
Plancha	1
Grabadora	2
Ventilador pequeño	0
Computador	2
Calentador de Agua	1
Secador	1
Bombilla de 60 W	6
Bombilla de 100 W	10

**Tabla 3. Vivienda Región Amazonia**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Amazonia
Nevera	1
Televisor	1
Reproductor de DVD	1
Equipo de sonido	1
Aire Acondicionado	0
Horno Microondas	0
Olla Arrocera	1
Parrilla pequeña alto	4
Sanduchera	0
Licuadaora	1
Cafetera	0
Lavadora	1
Plancha	1

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Amazonia
Grabadora	1
Ventilador pequeño	2
Computador	0
Calentador de Agua	0
Secador	0
Bombilla de 60 W	0
Bombilla de 100 W	10

**Tabla 4. Vivienda Región Caribe**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Caribe
Nevera	1
Televisor	2
Reproductor de DVD	1
Equipo de sonido	1
Aire Acondicionado	1
Horno Microondas	1
Olla Arrocera	1
Parrilla pequeña alto	2
Sanduchera	1
Licuada	1
Cafetera	0
Lavadora	1
Plancha	1
Grabadora	1
Ventilador pequeño	2
Computador	1
Calentador de Agua	0
Secador	0

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Caribe
Bombilla de 60 W	3
Bombilla de 100 W	10

**Tabla 5. Vivienda Región Orinoquía**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Orinoquía
Nevera	1
Televisor	1
Reproductor de DVD	1
Equipo de sonido	1
Aire Acondicionado	0
Horno Microondas	0
Olla Arrocera	1
Parrilla pequeña alto	4
Sanduchera	0
Licuadaora	1
Cafetera	0
Lavadora	1
Plancha	1
Grabadora	1
Ventilador pequeño	2
Computador	0
Calentador de Agua	0
Secador	0
Bombilla de 60 W	0
Bombilla de 100 W	10

**Tabla 6. Vivienda Región Pacífica**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Cantidad de Electrodomésticos Región Pacífica
Nevera	1
Televisor	2
Reproductor de DVD	1
Equipo de sonido	1
Aire Acondicionado	1
Horno Microondas	1
Olla Arrocera	1
Parrilla pequeña alto	2
Sanduchera	1
Licuadaora	1
Cafetera	0
Lavadora	1
Plancha	1
Grabadora	1
Ventilador pequeño	2
Computador	1
Calentador de Agua	0
Secador	0
Bombilla de 60 W	3
Bombilla de 100 W	10

Las cantidades de electrodomésticos, fueron modificadas teniendo en cuenta los comentarios de los agentes en lo que respecta a la experiencia con las cargas que manejan sus redes.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA PARA EL MODELAMIENTO DE LAS CARGAS

El programa se desarrolla en un libro de Excel encargado de generar aleatoriamente los valores de las cargas de las viviendas cada 10 minutos y de otro, encargado de resolver cada uno de los circuitos para cada una de las empresas del país. En el primero, tres hojas de cálculo son las encargadas de generar los valores aleatorios de consumo de las viviendas las cuales están distribuidas de la siguiente forma:

- **Datos Electrodomésticos:** Está destinada para ingresar la información correspondiente a los consumos de potencia de cada electrodoméstico, tiempo de

operación del equipo durante 1 día, región evaluada, conductores empleados para la acometida del usuario, porcentaje de utilización de cada electrodoméstico durante el escenario de demanda.

- **Cantidades Electrodomésticos:** Contiene la información referente a las cantidades de electrodomésticos asociados a cada una de las regiones a evaluar. Esta información puede ser modificada por el usuario de acuerdo a sus necesidades.
- **Simulación de Carga:** Encargada de emular los escenarios de carga para los diferentes hogares y su finalidad es obtener la potencia equivalente de cada vivienda cada 10 minutos.
- **Ajuste de Curva:** En ésta se verifica que la tendencia que de los consumos generados aleatoriamente, sea parecida a la curva de carga que reportó el OR.

Se comienza diligenciando la siguiente información en la hoja de cálculo "Datos Electrodomésticos".

**Datos de Consumo y Tiempo de Uso de Electrodomésticos:** Ésta corresponde a la información principal para los diferentes cálculos a ser realizados por el programa, y puede ser observada en la Tabla 7.

**Tabla 7. Datos de Consumo y Tiempo de Uso de Electrodomésticos**

Nº	Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Consumo nominal W	Tiempo de Uso del Electrodoméstico Horas	Probabilidad de Encendido del Equipo	Cantidad de Electrodomésticos	Factor corrección DBaja	Factor corrección DMedia	Factor corrección Dmedia Alta	Factor corrección Dmáxima
1	Nevera	250	4	0,1667	1	1,0	1,0	4,8	4,8
2	Televisor	150	12	0,5000	3	0,5	1,0	1,9	1,9
3	Reproductor de DVD	150	2	0,0833	2	3,0	6,0	6,0	9,0
4	Equipo de sonido	100	3	0,1250	1	2,0	4,0	4,0	6,4
5	Aire Acondicionado	5000	12	0,5000	0	1,2	1,2	1,8	1,8
6	Horno Microondas	1800	0,5	0,0208	1	12,0	12,0	24,0	28,8
7	Olla Arrocera	1200	2	0,0833	1	1,2	3,0	6,0	6,0
8	Parrilla pequeña alto	1500	2	0,0833	2	2,4	4,8	8,4	9,0
9	Sanduchera	1200	0,5	0,0208	1	0,0	9,6	14,4	19,2
10	Licuadaora	600	1	0,0417	1	0,0	4,8	7,2	9,6
11	Cafetera	800	1	0,0417	1	0,0	4,8	7,2	9,6
12	Lavadora	750	2	0,0833	1	0,0	2,4	3,6	4,8
13	Plancha	1000	2	0,0833	1	0,0	2,4	3,6	4,8
14	Grabadora	100	2	0,0833	2	1,2	6,0	6,0	9,0
15	Ventilador pequeño	100	10	0,4167	0	1,4	1,4	2,2	2,2
16	Computador	800	6	0,2500	2	0,0	1,2	3,2	3,4
17	Calentador de Agua	1500	2	0,0833	1	2,4	8,4	3,6	3,6
18	Secador	1500	0,5	0,0208	1	0,0	24,0	4,8	4,8
19	Bombilla de 60 W	60	12	0,5000	6	1,0	1,0	1,6	1,9
20	Bombilla de 100 W	100	12	0,5000	10	1,0	1,0	1,6	1,9

En esta tabla se debe diligenciar solo el campo “Tiempo de Uso del Electrodoméstico”, con el fin de ofrecer al usuario flexibilidad sobre el control del encendido de un electrodoméstico en el día. Este es uno de los campos, que se modifican hasta que los consumos generados aleatoriamente sean consistentes con la curva de carga del OR.

La columna “Consumo nominal” corresponde a un valor fijo definido por el usuario referente a la potencia consumida por cada uno de los diferentes electrodomésticos. Este valor puede ser variado por el usuario.

La columna “Probabilidad de encendido del equipo” arroja la probabilidad de encendido de determinado electrodoméstico referido a un día, de acuerdo con el valor ingresado por el usuario en el campo “Tiempo de Uso del Electrodoméstico”.

Los campos correspondientes a “Cantidad de electrodomésticos” hacen referencia a la cantidad de equipos en una vivienda de acuerdo con la región a la cual estén asociados.

Esta información es reconocida automáticamente por el programa una vez se selecciona la región en la tabla “Selección de región” del libro de Excel, que a manera de ejemplo se presenta en la Tabla 8, donde se muestra que para cargar la información de cualquiera de las regiones presentadas, basta con colocar una x en la columna “Activa”.

**Tabla 8. Selección de Región**

Región bajo Estudio	Activa
Andina	x
Amazonia	
Caribe	
Orinoquía	
Pacífica	

La información correspondiente a la cantidad de electrodomésticos de cada región puede ser variada por el usuario en la hoja de cálculo “Cantidades Electrodomésticos”.

Las columnas correspondientes al factor de corrección por zona de demanda se relacionan con el valor por el que se debe multiplicar la probabilidad de encendido del equipo para obtener un periodo de encendido del mismo en cada escenario.

Lo anterior se debe a que en cada escenario de demanda, el electrodoméstico evaluado puede o no estar encendido el 100% del tiempo.

Con el fin de ofrecer al usuario la posibilidad de variar en cada escenario el tiempo de encendido de cada electrodoméstico, se creó la tabla “Porcentaje de Uso de Electrodoméstico en Escenario de Demanda”, la cual se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9. Porcentaje de Uso de Electrodoméstico en Escenario de Demanda**

Electrodomésticos Básicos de un Hogar	Baja 7 Horas	Media 7 Horas	Media Alta 5 Horas	Máxima 5 Horas
Nevera	0,16	0,16	0,80	0,80
Televisor	0,25	0,50	0,95	0,95
Reproductor de DVD	0,25	0,50	0,50	0,75
Equipo de sonido	0,25	0,50	0,50	0,80
Aire Acondicionado	0,60	0,60	0,90	0,90
Horno Microondas	0,25	0,25	0,50	0,60
Olla Arrocera	0,10	0,25	0,50	0,50
Parrilla pequeña alto	0,20	0,40	0,70	0,75
Sanduchera	0,00	0,20	0,30	0,40
Licuadaora	0,00	0,20	0,30	0,40
Cafetera	0,00	0,20	0,30	0,40
Lavadora	0,00	0,20	0,30	0,40
Plancha	0,00	0,20	0,30	0,40
Grabadora	0,10	0,50	0,50	0,75
Ventilador pequeño	0,60	0,60	0,90	0,90
Computador	0,00	0,30	0,80	0,85
Calentador de Agua	0,20	0,70	0,30	0,30
Secador	0,00	0,50	0,10	0,10
Bombilla de 60 W	0,50	0,50	0,80	0,95
Bombilla de 100 W	0,50	0,50	0,80	0,95

En la Tabla 9 se observa que en el caso de demanda media para el televisor, este estará encendido el 50% del tiempo. Se resalta que el valor ingresado debe ser entre 0 y 1, y que este porcentaje, se modifica la mayoría de los casos cuando la curva de carga del OR no es acorde con el consumo generado aleatoriamente.

El factor de corrección será el resultante de dividir el porcentaje de uso del electrodoméstico definido por el usuario por el porcentaje de uso en el día del electrodoméstico.

Para el encendido y apagado de los electrodomésticos se emplea la función aleatoria del programa Excel, la cual permite simular la probabilidad de encendido de cada electrodoméstico con relación a un valor aleatorio generado por el sistema.

La probabilidad de encendido de cualquiera de los equipos en un escenario de demanda

definido es la resultante de multiplicar la probabilidad de uso del electrodoméstico por el factor de corrección asociado con cada demanda, y este resultado se denomina Probabilidad de uso por Demanda.

El valor anterior es comparado con el valor arrojado por la función aleatoria de Excel.

Empleando la función SI() de Excel, el programa se encarga de generar un 1 o un 0 simulando el encendido y apagado de la carga de la siguiente forma:

- Encendido = 1, Si Probabilidad de uso por Demanda es < ALEATORIO().
- Apagado = 0, SI Probabilidad de uso por Demanda es > ALEATORIO().

Es importante notar que el factor de corrección se encarga de aumentar la probabilidad de ocurrencia de un encendido o pagado, de acuerdo con el escenario de demanda que se presente.

Finalizado el ajuste de parámetros, se generan los valores de carga y se verifica que la tendencia de estos valores tenga la misma tendencia que la curva de carga que suministró el OR para los transformadores respectivos. Luego, los valores de las cargas son guardados para la simulación posterior de cada circuito.

El cálculo de las pérdidas se realiza con otro programa desarrollado en Excel, el cual toma cada una de las cargas obtenidas con el método de Montecarlo, y calcula las pérdidas en circuitos y en transformadores para un periodo de tres meses cada diez minutos de la siguiente manera.

Con la información suministrada por los OR de nodos, Calibres, longitud de Circuitos y Número de usuarios en cada tramo, y con las cargas generadas por el método de Montecarlo, se calcula la matriz  $Y_{barra}$  para cada circuito. Seguidamente se obtiene la matriz  $Z_{barra}$  y se calcula la corriente que entra al nodo inicial (Nodo1), mediante la Ley de Ohm  $I_1 = V_1 / Z_{11}$ . Solo en el nodo 1 se simula inyección de corrientes. Por último se calculan las tensiones en cada nodo por medio de la expresión  $V_i = Z_{i1} * I_1$ . Si los voltajes están por debajo de 0.9 p.u se itera otra vez ajustando las cargas para impedir que se viole el límite de regulación de tensión establecido por la CREG. Por último se calculaban las pérdidas de circuito con la expresión  $\sum (V_i - V_j)^2 \cdot Y_{ij}$ .

A continuación se muestra la matriz implementada para el cálculo de las tensiones:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1j} \\ Z_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ Z_{i1} & Z_{i2} & \dots & \dots & Z_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Para el cálculo de pérdidas en transformadores se considera el número de usuarios del circuito de la siguiente manera:

- El número de usuarios de determinado circuito no debe ser menor que el sesenta por ciento (60%) de los kVA de la capacidad del transformador que alimenta dicho circuito. Si esto no se cumple, las pérdidas en vacío son disminuidas a las del siguiente transformador normalizado que cumpla con tal requerimiento.
- El número de usuarios de cualquier circuito no debe ser mayor que los kVA de capacidad del transformador que lo alimenta. Si esto no se cumple, las pérdidas del cobre de dicho transformador se aumentan a las del siguiente transformador normalizado que cumpla con este requerimiento

Para las pérdidas de los transformadores se utilizaron las normas NTC 818 y NTC 819.

Antes de hacer el cálculo de las pérdidas se hicieron correcciones a la información que representaba los circuitos de cada empresa de la siguiente manera:

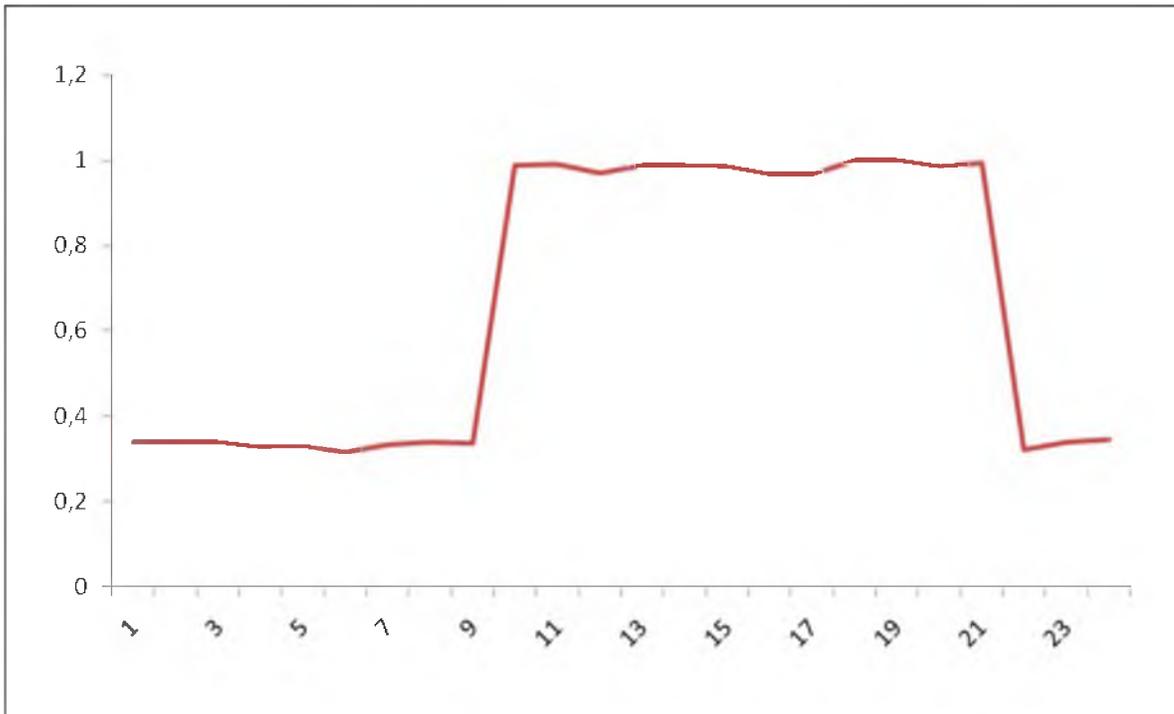
- Los tramos y conjuntos de tramos aislados de cada circuito fueron conectados al transformador.
- Cada tramo en el que faltaba el nodo inicial o nodo final, se reemplazó con el nodo en el que se encontraba el transformador
- Cada tramo en el que faltaba tanto el nodo inicial como el nodo final, se asumió como nodo inicial el nodo del transformador y como nodo final se asumió uno nuevo. Esto con el fin de no descartar ningún tramo que tuviera usuarios conectados.
- El nodo del transformador es el nodo de menor numeración en el circuito.

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó únicamente para usuarios residenciales.

## **5.1 PROCEDIMIENTO PARA USUARIOS INDUSTRIALES**

En el programa de Montecarlo los usuarios industriales de Nivel de Tensión 1, se consideraron compuestos por 5 motores de 10.5 kVA cada uno.

Se ajustaron las probabilidades de encendido de los motores en cada demanda de tal manera que los valores de carga generados por el método de Montecarlo siguieran la tendencia de una curva de carga de un usuario industrial típico, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Curva de carga usuarios industriales**

Para modelar la red se asumieron 7 usuarios industriales-comerciales típicos, con distancia separación de 10 m entre uno y otro, alimentados por un transformador de 75 kVA. El tamaño se consideró típico debido a que a partir de 100 kVA se trata de Usuarios No Regulados, los cuales usualmente son los dueños del transformador y de la red secundaria, de tal modo que no hacen parte de los cargos por uso del OR.

Con los valores de carga generados con el método de Montecarlo se calcularon las pérdidas de la red de 7 usuarios (carga pico no diversificada de  $7 \cdot 5 \cdot 10.5$  kVA), resolviendo el circuito de la misma manera que se hizo para el caso residencial.

El mismo procedimiento se realizó para 4 casos diferentes :

- Tensión de alimentación de 220V y calibre de la red secundaria No. 1/0 AWG
- Tensión de alimentación de 440V y calibre de la red secundaria No. 1/0 AWG
- Tensión de alimentación de 220V y calibre de la red secundaria No. 4/0 AWG
- Tensión de alimentación de 420V y calibre de la red secundaria No. 4/0 AWG

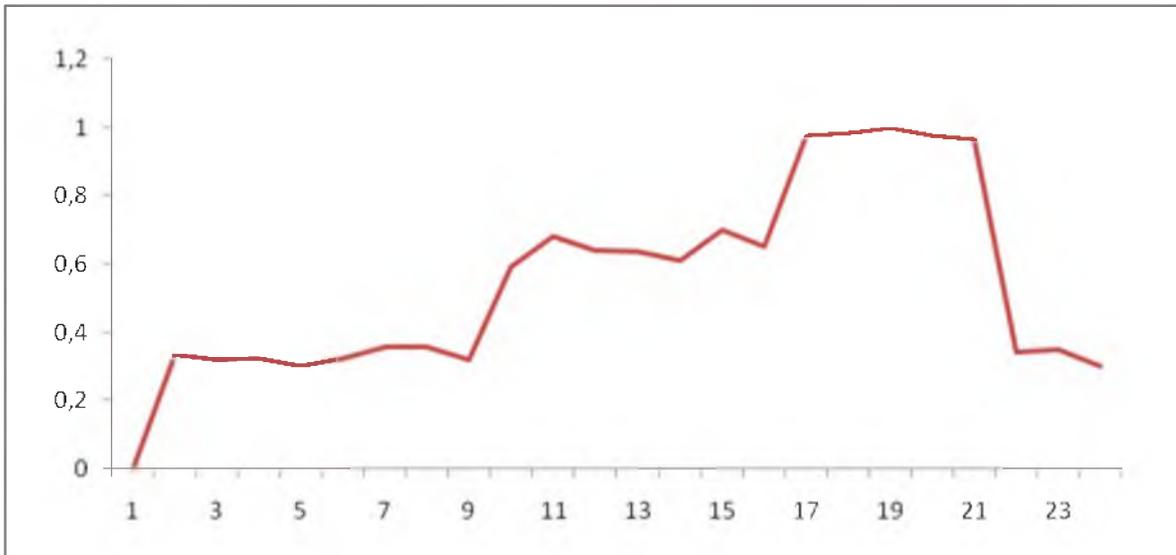
Para calcular el porcentaje de pérdidas industriales se promediaron los porcentajes obtenidos en cada uno de los 4 casos mencionados anteriormente.

## **5.2 PROCEDIMIENTO PARA USUARIOS COMERCIALES**

En el programa de Montecarlo se encendieron diferentes electrodomésticos que se

pueden encontrar en un usuario comercial (lámparas, neveras, equipos de sonido etc.)

Se ajustaron las probabilidades de encendido de los electrodomésticos en cada demanda de tal manera que los valores de carga generados por el método de Montecarlo siguieran la tendencia de una curva de carga de un usuario comercial típico, como ilustra la Figura 3.



**Figura 3. Curva de carga usuarios comerciales**

Para modelar la red se asumieron 7 usuarios comerciales típicos, con distancia separación de 10 m entre uno y otro, alimentados por un transformador de 30 kVA. El tamaño se consideró típico debido a que la demanda comercial es menor que la industrial, por lo que se consideró un transformador de tamaño medio en relación con el pico de carga esperado, de 30 kVA.

Con los valores de carga generados con el método de Montecarlo se calcularon las pérdidas de la red de 7 usuarios, resolviendo el circuito de la misma manera que se hizo para el caso residencial e industrial.

El mismo procedimiento se realizó para 4 casos diferentes:

- Tensión de alimentación de 220V y calibre de la red secundaria No. 1/0 AWG
- Tensión de alimentación de 220V y calibre de la red secundaria No. 4/0 AWG

El porcentaje de pérdidas comerciales se obtuvo promediando los porcentajes obtenidos para los 4 casos mencionados en el apartado anterior

Los resultados obtenidos para los usuarios industrial y comercial típico, se usaron para todas las empresas.

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

Cada uno de los circuitos fue simulado en Excel para un periodo de 3 meses, y se calcularon pérdidas de la red en porcentaje respecto a la entrada de energía a cada circuito.

Se calculó el porcentaje de participación de los usuarios industriales, comerciales y residenciales dentro de todo el consumo del Nivel de Tensión 1 de cada empresa, a partir de la información de energías del año 2007 enviada por la CREG el día 3 de septiembre de 2009. La Tabla 10 presenta dichos porcentajes para cada una de las empresas.

**Tabla 10. Porcentaje de participación por tipo de usuario**

EMPRESA	Industrial [%]	Comercial [%]	Residencial [%]
EMCALI	16.90%	25.80%	57.29%
ENERCA	2.87%	24.02%	73.11%
CODENSA	8.98%	22.40%	68.63%
ENERGUAVIARE	0.00%	26.84%	73.16%
ESSA	7.38%	23.14%	69.49%
ENERTOLIMA	2.93%	22.41%	74.66%
ARAUCA	0.74%	14.73%	84.53%
EPM	7.90%	22.04%	70.06%
EPSA	8.40%	15.16%	76.44%
RUITOQUE	0.24%	28.56%	71.19%
DISPAC	1.38%	16.05%	82.57%
TULUA	4.18%	20.12%	75.70%
CENS	3.16%	19.42%	77.42%
ELECTROCOSTA	0.72%	13.37%	85.91%
EMSA	3.36%	25.62%	71.02%
CHEC	3.18%	19.34%	77.48%
EEC	12.52%	17.84%	69.64%
ELECTROHUILA	2.48%	17.68%	79.83%
ELECTROCAQUETA	0.98%	21.71%	77.31%
CEDENAR	2.11%	12.90%	84.99%
EEP	4.52%	26.50%	68.98%
EBSA	7.16%	22.28%	70.56%

EMPRESA	Industrial [%]	Comercial [%]	Residencial [%]
EDEQ	6.80%	21.10%	72.10%
EEBP	1.78%	24.11%	74.11%
EMEVASI	4.66%	4.19%	91.15%
ELECTRICARIBE	1.39%	15.17%	83.43%
CARTAGO	11.75%	23.87%	64.37%
PUTUMAYO	1.83%	23.00%	75.17%
CEDELCA	5.10%	9.61%	85.29%
POPAYAN	0.00%	2.04%	97.96%

El porcentaje de pérdidas para el circuito industrial típico modelado es de 1.45% y las pérdidas para el circuito comercial son de 2.82%. La Tabla 11 presenta los resultados para las pérdidas técnicas en los usuarios residenciales para cada OR.

**Tabla 11. Pérdidas en usuarios residenciales**

EMPRESA	Pérdidas residenciales [%]
EMCALI	2.00%
ENERCA	1.70%
CODENSA	2.90%
ENERGUAVIARE	3.00%
ESSA	5.60%
ENERTOLIMA	5.40%
ARAUCA	2.50%
EPM	3.50%
EPSA	5.20%
RUITOQUE	4.90%
DISPAC	3.50%
TULUA	3.80%
CENS	3.80%
ELECTROCOSTA	5.20%
EMSA	4.70%
CHEC	3.90%
EEC	4.60%

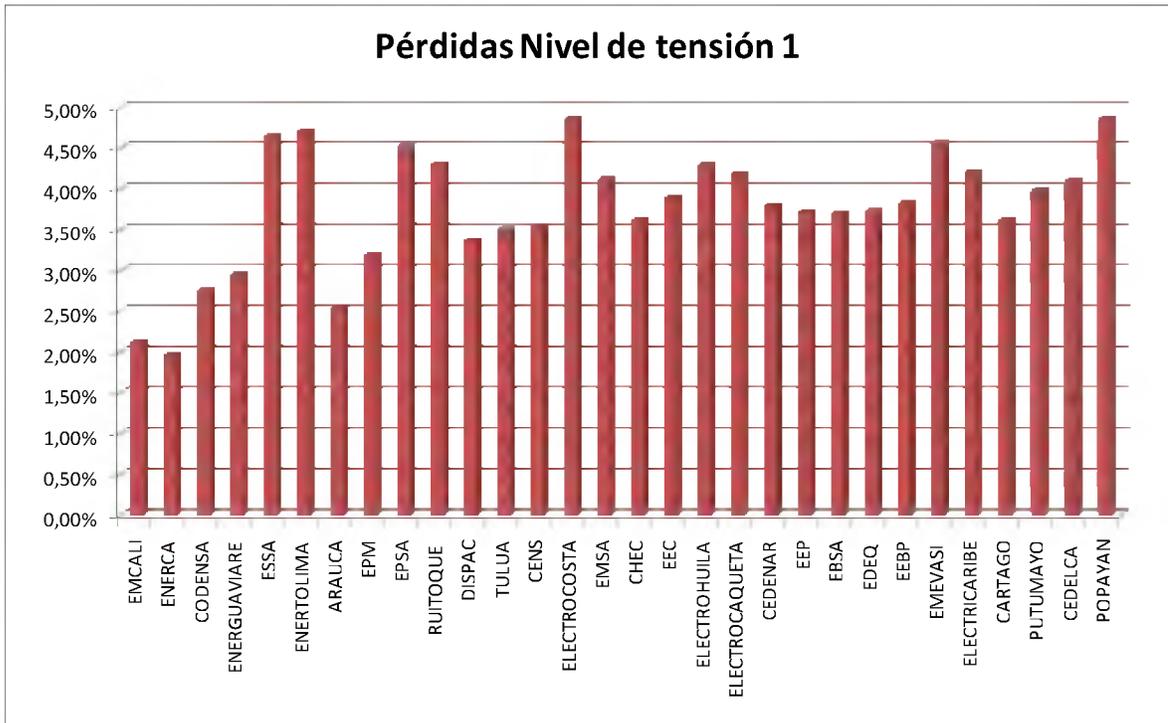
EMPRESA	Pérdidas residenciales [%]
ELECTROHUILA	4.70%
ELECTROCAQUETA	4.60%
CEDENAR	4.00%
EEP	4.20%
EBSA	4.20%
EDEQ	4.20%
EEBP	4.20%
EMEVASI	4.80%
ELECTRICARIBE	4.50%
CARTAGO	4.30%
PUTUMAYO	4.40%
CEDELCA	4.40%
POPAYAN	4.90%

Se calculó el porcentaje total de pérdidas en el Nivel de Tensión 1 con los promedios ponderados de cada tipo de usuario para cada empresa. El porcentaje total de pérdidas se presenta en la Tabla 12. De acuerdo con esto, se tiene unas pérdidas promedio nacionales de 3.77% en el Nivel de Tensión 1.

**Tabla 12. Porcentaje de pérdidas para el nivel de tensión 1**

EMPRESA	Pérdidas totales [%]
EMCALI	2.12%
ENERCA	1.96%
CODENSA	2.75%
ENERGUAVIARE	2.95%
ESSA	4.65%
ENERTOLIMA	4.71%
ARAUCA	2.54%
EPM	3.19%
EPSA	4.52%
RUITOQUE	4.30%
DISPAC	3.36%
TULUA	3.50%
CENS	3.54%

EMPRESA	Pérdidas totales [%]
ELECTROCOSTA	4.85%
EMSA	4.11%
CHEC	3.61%
EEC	3.89%
ELECTROHUILA	4.29%
ELECTROCAQUETA	4.18%
CEDENAR	3.79%
EEP	3.71%
EBSA	3.70%
EDEQ	3.72%
EEBP	3.82%
EMEVASI	4.56%
ELECTRICARIBE	4.20%
CARTAGO	3.61%
PUTUMAYO	3.98%
CEDELCA	4.10%
POPAYAN	4.86%



**Figura 4. Porcentaje de pérdidas totales para el Nivel de Tensión 1**