

INTRODUCCIÓN

El presente documento propone una metodología para la proyección de la demanda de energía eléctrica durante el periodo de 2015 – 2030, implementando un modelo para la estimación en zonas rurales, tomando como insumo principal la información primaria y secundaria recopilada en la metodología PERS para cada región bajo estudio.

METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ÁREAS RURALES

Para estimar la proyección de demanda en el área rural de cada municipio incluidas zonas no interconectadas se hace uso de la metodología de la función logística (sigmoide), es decir aumentar el consumo de energía con base a unas tasas integradas por el usuario al sistema.

La técnica se basa en el comportamiento de la función tangente hiperbólica, cuyo dominio son todos los números reales y su imagen está en el rango $[-1,1]$. La forma es similar y es usada por biólogos como un modelo matemático de activación nerviosa. Esta dada por la ecuación 1:

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{-x}(e^{2x} - 1)}{e^{-x}(e^{2x} + 1)} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (1)$$

La función tangente hiperbólica es simétrica en el origen, y a diferencia de la función sigmoide, ésta puede dar valores negativos, lo cual es útil en algunos modelos. Realizando el ajuste y los cambios de escala, la función de la demanda se presenta a continuación en la ecuación 2:

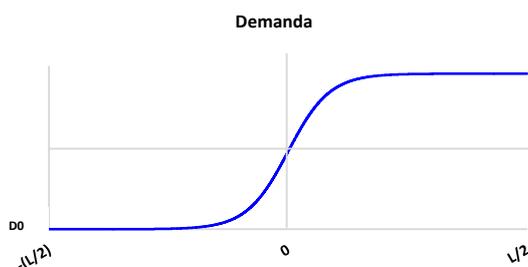
$$D(x) = \frac{ke^{\alpha x}}{1 + e^{\alpha x}} \quad (2)$$

Siendo,

α = pendiente

k = coeficiente (cota superior)

x = año



Fuente: UPME, 2015



La demanda inicial y final se definen en las ecuaciones 3 y 4:

$$Demanda\ Inicial = \frac{ke^{-\alpha\frac{L}{2}}}{1 + e^{-\alpha\frac{L}{2}}} = D_0 \quad (3)$$

$$Demanda\ Final = \frac{ke^{\alpha\frac{L}{2}}}{1 + e^{\alpha\frac{L}{2}}} = D_1 \quad (4)$$

Donde:

α = pendiente

k = coeficiente (cota superior)

L = total años

Dominio de la función $(-L/2, L/2)$

Realizando los cálculos y las transformaciones matemáticas en términos de la demanda inicial y final, se logra la siguiente ecuación:

$$D(x) = \frac{ke^{\alpha x}}{1 + e^{\alpha x}} = \frac{(D_1 + D_0) e^{\frac{2 \ln(\frac{D_1}{D_0})x}{L}}}{1 + e^{\frac{2 \ln(\frac{D_1}{D_0})x}{L}}} = \frac{(D_1 + D_0) (\frac{D_1}{D_0})^{\frac{2x}{L}}}{1 + (\frac{D_1}{D_0})^{\frac{2x}{L}}} \quad (5)$$

La simulación de la función logística se puede explicar en tres periodos de tiempo:

- ✓ El primer periodo, en donde la demanda crece en base al crecimiento vegetativo de la población más un factor de la demanda existente en el peor de los escenarios, esto permitiría contemplar la demanda de energía que no se presentaba porque no se contaba con el servicio o porque no se presentaba las 24 h del día.
- ✓ El segundo escenario, en donde se da un mayor crecimiento explicado por el aprendizaje, puesta en marcha de la alternativa energética y el encadenamiento productivo generada para esta.
- ✓ Finalmente un último periodo, en donde se presenta una saturación del crecimiento de la demanda explicada porque se alcanza el máximo nivel posible de producción del municipio con la implementación de la alternativa.

De acuerdo a la tasa de crecimiento esperada de cada uno de los períodos, se proyectan tres (3) posibles escenarios de demanda para el municipio (alto, medio y bajo), los cuales definen el comportamiento del consumo hasta alcanzar el punto de saturación (por ejemplo el consumo de subsistencia)

El modelo de estimación de la demanda toma como variables de entrada por municipio:

- ✓ El punto inicial en la gráfica corresponde al consumo de energía kWh/mes por hogar y se obtiene a partir de la caracterización de la demanda.
- ✓ El punto de saturación de la demanda (consumo final).
- ✓ Periodos de la proyección



PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA ÁREAS RURALES

En algunas zonas rurales de Colombia se no cuenta o existe poca información sobre sus consumos de energía, por tal motivo realizar una proyección de demanda basada en datos históricos resulta imposible. Dada esta problemática, la UPME propone la siguiente metodología para realizar la proyección de demanda en el área rural de cada municipio.

Se hace uso de la metodología del SIGMOIDE, en la cual se contempla el aumento del consumo de energía con base a unas tasas integradas de crecimiento (empleando una hoja de cálculo en Excel desarrollada por la UPME), donde se toma como punto inicial del cálculo el consumo actual del municipio identificado en el estudio de información primaria de los PERS y finalizando con un consumo esperado, estimado a partir de la información secundaria registrada para el municipio.

1.1. DATOS DE ENTRADA

- a. Demanda de energía eléctrica individual por hogar por municipio, que se obtiene como resultado de las encuestas en la recolección de información primaria, dada en kWh-mes. Corresponde al punto inicial de la estimación.
- b. Demanda de energía eléctrica individual por hogar por municipio final esperada, la cual se establece como un consumo final de referencia, está dada en kWh-mes.

Se proponen tres opciones de consulta para obtener este dato, el cual debe ser seleccionado dados las características de consumo de cada región y a la fiabilidad de la información y experiencia del investigador.

- i. Se obtiene a partir de la caracterización del consumo obtenido en la recolección de información secundaria (refrigeración, iluminación, cocción, otros electrodomésticos), que correspondería al máximo consumo posible de alcanzar en dicho municipio.
 - ii. Consumo de subsistencia. Se define como la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía final. La Resolución 355 del 2004 del Ministerio de Minas y Energía, establece el Consumo de Subsistencia en 173 kWh-mes para alturas inferiores a 1.000 metros sobre el nivel del mar, y en 130 kWh-mes para alturas iguales o superiores a 1.000 msnm.
 - iii. El estudio desarrollado por el consorcio CORPOEMA para UPME en el año 2012, realizó una caracterización energética por departamento y sectores, donde estableció los siguientes consumos mínimos, dada la altura sobre el nivel del mar. Establece el consumo de 184,58 kWh-mes para alturas inferiores a 1.000 msnm y en 136,24 kWh-mes para alturas entre 1000 msnm y 2000 msnm y en 160,48 kWh-mes para alturas iguales o superiores a 2.000 msnm.
- c. Datos de proyectos productivos. Documentos oficiales que indiquen fecha de inicio y consumo que va a tener un proyecto productivo.

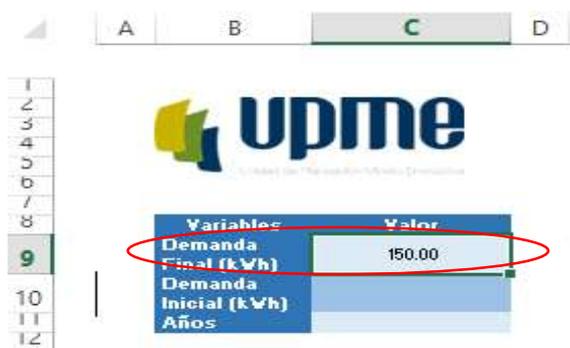
1.2 EJEMPLO APLICADO A NARIÑO

Con el archivo "Proyección_Demanda.xlsx" se realiza la proyección de un usuario típico en el sector residencial.

Con la información de las encuestas de PERS Nariño, conocemos que el consumo base de cada población es de **65,61 KWh**, este es el consumo mínimo por hogar para el año 2013.

El procedimiento para realizar el análisis de proyección de demanda es el siguiente:

- A. En la celda C9 hoja DINDIVIDUAL se debe ingresar el valor de la demanda final en kWh-mes que se espera sea alcanzado por un hogar promedio (ver punto b de **Datos de entrada**) en un período de tiempo (punto 2 del literal c).



Variables	Valor
Demanda Final (kWh)	150.00
Demanda Inicial (kWh)	
Años	

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

- B. En la celda C10 hoja DINDIVIDUAL se debe ingresar el valor de la demanda inicial en kWh-mes en el año 0 (ver punto a de **Datos de entrada**).



Variables	Valor
Demanda Final (kWh)	150.00
Demanda Inicial (kWh)	65.61
Años	

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

- C. En la celda C11 hoja DINDIVIDUAL se debe ingresar el número de años en los que se espera que el usuario alcance el consumo máximo (15 años).

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				



Variables	Valor
Demanda Final (kWh)	150.00
Demanda Inicial (kWh)	65.61
Años	15.00

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

D. A partir de la celda C14 hoja DINDIVIDUAL se lista el resultado de la energía consumida por el usuario promedio.

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				

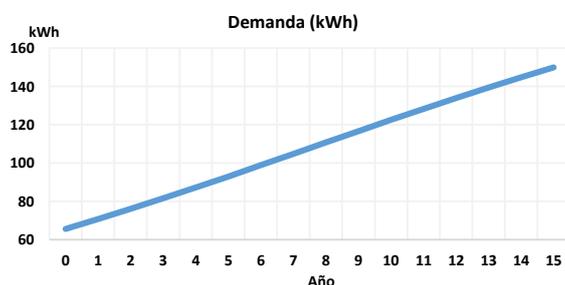


Variables	Valor
Demanda Final (kWh)	150.00
Demanda Inicial (kWh)	65.61
Años	15.00

Año	Demanda (kWh)
0	65.61
1	70.75
2	76.08
3	81.60
4	87.26
5	93.04
6	98.91
7	104.83
8	110.78
9	116.70
10	122.57
11	128.35
12	134.01
13	139.53
14	144.86
15	150.00

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

Para un hogar de la zona rural del municipio de Barbacoas tenemos el siguiente resultado si se quiere alcanzar la demanda actual de las zonas interconectadas:



Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

E. En la hoja DTOTAL, ingresamos el número de usuarios de la celda D3 A D18. Con los datos obtenidos para Barbacoas, multiplicamos por el número de usuarios¹ 2,623² y obtenemos la proyección de demanda de la zona rural:

Año	Demanda Individual Mensual (kWh)	Número de usuarios	Demanda Residencial Mensual (kWh)	Demanda Residencial Anual (kWh)
0	65,61	2.623	172.095	2.065.140
1	70,75	2.623	185.573	2.226.871
2	76,08	2.623	199.570	2.394.842
3	81,60	2.623	214.029	2.568.347
4	87,26	2.623	228.880	2.746.561
5	93,04	2.623	244.046	2.928.555
6	98,91	2.623	259.443	3.113.316
7	104,83	2.623	274.980	3.299.763
8	110,78	2.623	290.565	3.486.777
9	116,70	2.623	306.102	3.673.224
10	122,57	2.623	321.499	3.857.985
11	128,35	2.623	336.665	4.039.979
12	134,01	2.623	351.516	4.218.193
13	139,53	2.623	365.975	4.391.698
14	144,86	2.623	379.972	4.559.670
15	150,00	2.623	393.450	4.721.400

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

¹ Se entiende por usuario o suscriptor, la persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le denomina también consumidor. (Resolución CREG-082-2002; Art. 1). El número inicial de usuarios se puede tomar a partir de: el dato de hogares potenciales del año base registrado por el DANE; del PIEC; a partir de las encuestas o de información oficial de la alcaldía respectiva. Se puede asumir que el número de usuarios es estático en el tiempo de proyección o se puede asumir una tasa de crecimiento dependiendo del criterio del analista y disponibilidad de información.

² Informe Preliminar Cobertura de Energía Eléctrica a 2013 Versión 22-10-2014. Dato usuarios ZNI <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturaDelSistemaIntercontecadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>



- F. Proyectos productivos: De tener proyectos productivos para el municipio, se debe adicionar la energía requerida para el proyecto en el tiempo de inicio esperado³. Por ejemplo, si se va a instalar un proyecto productivo que requiera un consumo de 5 MWh/mes a partir del año 3, entonces a la demanda total estimada en el numeral 5, se adiciona esta nueva demanda de energía, resultando

$$214.029 \left(Demanda\ total \frac{kWh}{mes} \right) + 5.000 \left(Demanda\ Proyecto\ Productivo \frac{kWh}{mes} \right) = 219.029 \frac{kWh}{mes} (Demanda\ total + Demanda\ proyecto\ productivo)$$

Posteriormente, el valor calculado se multiplica por 12 para obtener el total anual, obteniendo como resultado 2,63 GWh/año.

Año	Demanda Individual Mensual (kWh)	Número de usuarios	Demanda Residencial Mensual (kWh)	Demanda Residencial Anual (kWh)	Demanda Proyecto Productivo Mensual (kWh)	Demanda Proyecto Productivo Anual (kWh)	Demanda Total Anual (kWh)
0	65,61	2.623	172.095	2.065.140			2.065.140
1	70,75	2.623	185.573	2.226.871			2.226.871
2	76,08	2.623	199.570	2.394.842			2.394.842
3	81,60	2.623	214.029	2.568.347	5.000	60.000	2.628.347
4	87,26	2.623	228.880	2.746.561	5.000	60.000	2.806.561
5	93,04	2.623	244.046	2.928.555	5.000	60.000	2.988.555
6	98,91	2.623	259.443	3.113.316	5.000	60.000	3.173.316
7	104,83	2.623	274.980	3.299.763	5.000	60.000	3.359.763
8	110,78	2.623	290.565	3.486.777	5.000	60.000	3.546.777
9	116,70	2.623	306.102	3.673.224	5.000	60.000	3.733.224
10	122,57	2.623	321.499	3.857.985	5.000	60.000	3.917.985
11	128,35	2.623	336.665	4.039.979	5.000	60.000	4.099.979
12	134,01	2.623	351.516	4.218.193	5.000	60.000	4.278.193
13	139,53	2.623	365.975	4.391.698	5.000	60.000	4.451.698
14	144,86	2.623	379.972	4.559.670	5.000	60.000	4.619.670
15	150,00	2.623	393.450	4.721.400	5.000	60.000	4.781.400

Fuente: Construcción Propia. UPME, 2015.

³ Para poder adicionar la energía requerida por estos proyectos, se debe contar con documentos oficiales (de la alcaldía o gobernación respectiva) que certifiquen la ejecución futura del proyecto.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

✓ ARTÍCULO

VELÁSQUEZ, JUAN D. DYNER, ISAAC. SOUZA, REINALDO C. (2008). "Modelado del precio spot de la electricidad en Brasil usando una red neuronal autorregresiva". Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 16 No. 3, 2008. P 394-403. (Consulta: Febrero 2015)

✓ TESIS

RODRÍGUEZ, JOSÉ ALEJANDRO. ASESORA: CADENA, ÁNGELA. (2010). "Planteamiento y programación de un modelo para la selección de la mejor alternativa energética en zonas no interconectadas, a partir de experiencias anteriores y aprovechando la información disponible en la Unidad de Planeación Minero – energética (UPME)". Universidad de los Andes. 2010.

✓ GONZÁLEZ ARIZA, MOISÉS GUILLERMO. ASESORA: CADENA, ÁNGELA. (2005). "Desarrollo de un programa para la ayuda en la toma de decisiones para la implementación de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas". Universidad de los Andes. 2005.

✓ CONSULTORIAS

UPME. (2012). "Caracterización energética del sector residencial urbano y rural en Colombia". Presentado por: Consorcio CORPOEMA – CUSA, Marzo 2012.

✓ ----- (2010). "Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE)". Presentado por: Consorcio CORPOEMA – CUSA, Diciembre 2010.

República de Colombia
Ministerio de Minas y Energía
Unidad de Planeación Minero Energética - UPME

Subdirección de Demanda
Carlos García Botero
German Leonardo Camacho Ahumada
William Alberto Martínez Moreno

Oficina de Gestión de Proyectos de Fondos
Sandra Lizette Mojica Corchuelo
Andrea Paola Galindo Vargas

Hecho en Colombia. Julio 2015