



## **Sustitución del gas licuado de petróleo por electricidad, como fuente de energía para cocción de alimentos en el Paraguay**

**Ing. Guillermo Alonso**

**Ing. Carlos Balletbó**

**Ing. Francisco Velázquez**

**Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Itapúa**

### **RESUMEN**

Este trabajo consiste en la evaluación de escenarios energéticos de sustitución de la cocina a gas G.L.P (gas licuado de petróleo) utilizada en usos domésticos para cocción de alimentos, por tecnología basada en energía eléctrica, en el Paraguay.

El estudio está dividido en dos partes:

- El análisis de la eficiencia de los equipos de cocción a gas G.L.P (gas licuado de petróleo) y a electricidad, así como el estudio económico comparativo.
- El análisis de los escenarios energéticos de sustitución del gas G.L.P utilizados en la cocción de alimentos, por tecnología basada en energía eléctrica.

No se consideran la sustitución de gas de uso vehicular ni uso industrial.

Se evaluó la eficiencia en tres tipos de cocinas: la cocina convencional que utiliza G.L.P., la cocina eléctrica convencional a resistencia, y la cocina eléctrica a inducción, cuyo funcionamiento está basado en las corrientes parásitas producidas por un campo magnético de alta frecuencia.

En el análisis de la demanda de potencia se utilizó un método de caracterización de la Curva de Demanda del Sistema Eléctrico. Este método consiste en el ajuste de la Curva de Carga a un Polinomio, basado en un modelo matemático diseñado en una tesis de grado [1]. Este ajuste permite calcular el efecto de la incorporación de la cocina eléctrica en la Curva de Carga del Sistema, para este efecto se estimó el comportamiento de la utilización de la energía en cocción; para ello se emplea como referencia un estudio de la Universidad Nacional de Colombia [2].

Se simularon tres escenarios energéticos que tienen como horizonte el año 2012, estos escenarios proponen la sustitución de la cocina a gas en un 60, 90 y 130%, el escenario de 130% incluye la sustitución de parte de la utilización de la leña en este sector.

Se puede concluir que el avance de la tecnología de la cocina de inducción representa una contribución importante al ahorro de energía debido a la mayor eficiencia de estos aparatos, lo que a la vez se traduce en un costo de utilización equivalente entre al 50 % del utilizado en gas licuado de petróleo, con el precio actual del gas y la electricidad, lo que implica la rentabilidad de la sustitución de la cocina para el consumidor, que tiende a mejorar con la suba de los precios del petróleo.

Los escenarios energéticos simulados arrojan resultados satisfactorios sobre la curva de demanda, que propician la sustitución del elemento de la matriz energética actualmente basado en G.L.P. utilizado en cocción de alimentos, por electricidad.

### **PALABRAS CLAVES**

Cocción de Alimentos - Gas Licuado de Petróleo - Energía Eléctrica - Inducción  
Electromagnética - Eficiencia Energética - Escenarios Energéticos – Sustitución

## 1.0 Planteamiento del Problema

La utilización de la energía para cocción de alimentos representa una importante contribución a la demanda de energía global de cualquier país. En el Paraguay la utilización de la cocina a gas licuado de petróleo (GLP) es la más difundida en el sector urbano, mientras que en el área rural es todavía muy utilizada la leña como combustible para cocción de alimentos. Así también en los últimos años la venta de cocinas y hornos eléctricos ha ido aumentando de acuerdo al avance de la tecnología y la disminución de los costos de los electrodomésticos, pero representa todavía un porcentaje de utilización mínimo en este sector.

De acuerdo al Balance Energético de la República del Paraguay [3], el consumo de GLP para uso residencial y comercial es de 71,88 mil TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo), y el consumo de leña en el mismo sector es de 933,68 mil TEP.

Esta elevada cantidad de consumo de leña puede ser debido a la dificultad en la toma de datos (como ser características de la leña y cantidad utilizada), a la baja eficiencia energética en el aprovechamiento de este recurso, o a ambos factores. La dificultad en la toma de datos radica en la dispersión y forma rudimentaria de utilización de este recurso principalmente en las zonas rurales. Mientras que la baja eficiencia energética en el aprovechamiento de esta biomasa, se le puede atribuir en gran medida a la carencia de equipos adecuados para la combustión de la misma y también a aspectos físicos relacionados con la naturaleza de este combustible, cuya sustitución resultaría muy difícil en este momento, considerando su bajo costo.

También es importante recalcar que el GLP es un recurso no renovable derivado del petróleo que el Paraguay importa en su totalidad, representando una importante salida de divisas (alrededor de 50 millones de dólares al año), y está sujeto a una inestabilidad de precios (debida al precio del crudo a nivel mundial), que contribuye sustancialmente al desequilibrio de la economía familiar.

Este trabajo está delimitado a estudiar la sustitución de la cocina a gas por la cocina eléctrica (y parte de la leña utilizada), abarcando varios aspectos que ello representa: la eficiencia energética, la factibilidad económica para el usuario, el análisis de la Curva de Carga del Sistema de Potencia, y una importante consideración de impacto ambiental.

También de esta forma se pretende contribuir a encontrar alternativas de utilización de la energía eléctrica “disponible” en el Paraguay.

## 2. Análisis de la eficiencia de los equipos de cocción.

### 2.1. Introducción

Para iniciar este estudio técnico, es necesario realizar el análisis de la eficiencia de los equipos de cocción a gas G.L.P (gas licuado de petróleo) y a electricidad.

El proceso consiste básicamente en medir la energía consumida por los aparatos de cocción y compararla con la energía aprovechada del sistema.

Equipos de cocción utilizados: una cocina a gas, una cocina eléctrica convencional (a resistencia) y una cocina eléctrica a inducción. Los equipos de medición utilizados son: analizador de redes, termómetro, balanza electrónica, cronómetro.

El proceso consiste en evaluar en cada caso el desempeño del sistema al calentar agua desde una temperatura inicial hasta una temperatura final.

De esta forma la energía aprovechada viene dada por la fórmula:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Siendo

$Q_{\text{agua}}$  : Energía aprovechada en el calentamiento del volumen de agua.

$m_{\text{agua}}$  : Masa de agua.

$C_p$  : Capacidad calorífica del agua.

$\Delta T$  : Variación de temperatura del volumen de agua.

Se evalúan 4 volúmenes de agua (1, 2, 3 y 4 litros) para cada caso, con variaciones de temperaturas desde una temperatura inicial (aproximadamente 20°C), hasta una temperatura final de 90°C, luego se toma el promedio de estas mediciones.

### 2.2. Eficiencia de la Cocina a gas.

Para la evaluación de la energía utilizada con la cocina a gas se mide con una balanza electrónica la masa del gas utilizado para calentar un volumen de agua en un rango de temperaturas, el cual se determina con un termómetro de laboratorio. La energía utilizada viene dada por la fórmula.

$$Q_{gas} = m_{gas} \cdot PCI$$

$Q_{gas}$ : Energía disponible en la combustión del G.L.P.

$m_{gas}$ : Masa de gas consumido en la combustión.

$PCI$ : Poder Calorífico Inferior del G.L.P.

### 2.3. Eficiencia de la cocina eléctrica convencional a resistencia óhmica.

Para la evaluación de la energía utilizada con la cocina eléctrica convencional se utilizó un analizador de redes, para calentar un volumen de agua en un rango de temperaturas, el cual se determina con un termómetro. Una vez obtenidos los datos en el analizador de redes, estos son transferidos a una PC y exportados a una planilla EXCEL para procesarlos.

### 2.4. Eficiencia de la cocina eléctrica a inducción.

Se utilizó el mismo procedimiento que en la cocina eléctrica convencional a resistencia.

### 2.5. Resultados.

Tabla I: Eficiencia de las Cocinas

Tipo de Equipo	Eficiencia
Cocina a Gas	0,58
Cocina Eléctrica Convencional	0,45
Cocina Eléctrica a Inducción	0,82

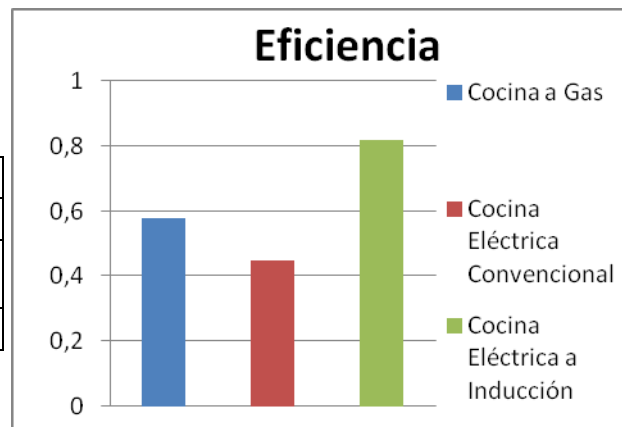


Figura 1: Eficiencia de las Cocinas

Existen varios factores que intervienen en el rendimiento de la cocina a gas y la cocina eléctrica convencional. Para la cocina a gas importan la forma y el material del recipiente, y el estado de las hornallas y los accesorios de distribución del gas. Para la cocina eléctrica convencional importan también la forma y el material del recipiente, y el tiempo de utilización de la cocina, pues esta tiene menos rendimiento en el arranque y aumenta con el transcurso de tiempo de utilización. Sin embargo el rendimiento de la cocina eléctrica a inducción no depende sensiblemente de estos factores, eléctricamente se puede considerar en el modelado de cargas como una carga de potencia constante.

Se puede concluir que la tecnología de la cocina a inducción es mucho más eficiente que la cocina convencional a resistencia eléctrica y que la cocina a gas.

### 2.6. Análisis Económico

Se calcula en cada caso los costos unitarios de energía útil en  $\frac{Gs}{KWh}$  para compararlos.

### 2.6.1 Costos de energía de útil

Se considera el costo del gas actual a 6.700 Gs/Kg., y el costo de energía eléctrica a 365,45Gs./KWh.

**Tabla II: Costos de energía útil**

	Cocina a Gas	Cocina Eléctrica Convencional	Cocina Eléctrica a Inducción
Costo de energía útil Gs./KWh	896,45	812,11	445,67

### 2.6.2 Relación Cocina a Inducción - Gas

$$\frac{\frac{445,67Gs}{KWh}}{\frac{896,45Gs}{KWh}} = 0,4971 = 49,71\% \approx 50\%$$

### 2.6.3 Tasa Interna de Retorno TIR

Considerando el costo de una Cocina a Inducción de 2 hornallas aproximadamente de 500.000 Gs. y el ahorro de 33.500 Gs./mes calculado a un promedio de 10 kilos de gas al mes y considerando el ahorro del 50% producido en la sustitución.

$$TIR = \frac{500.000}{67.000 \cdot 0,5} = 14,92meses$$

Este es el tiempo de recuperación de la inversión realizada por un usuario promedio, sin considerar la venta de su cocina a gas, y suponiendo que cuente con recipientes de acero

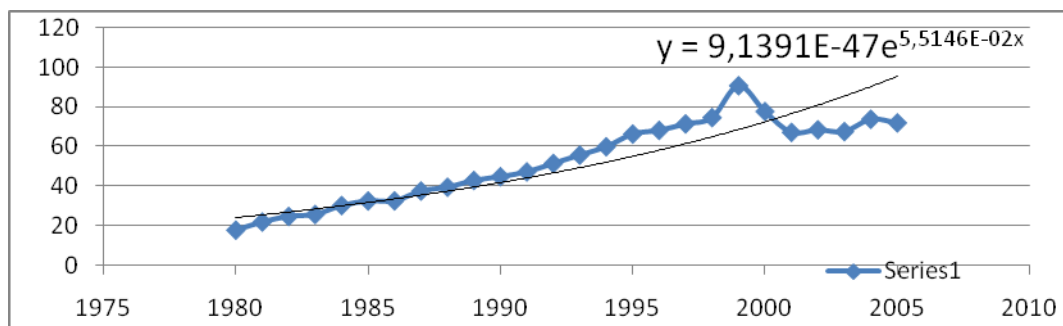
## 3.0. Análisis de la Curva de Carga del Sistema de Potencia

El análisis de la Curva de Carga del Sistema de Potencia es necesario para prever el impacto que pueda tener la introducción de cargas al sistema de potencia, y en la previsión de disponibilidad de energía.

Para ello es necesario simular varios escenarios que incluyan la introducción de las cocinas eléctricas en el mercado, sustituyendo a la cocina a gas. Para la construcción de estos escenarios se disponen de los datos proveídos por el balance energético de la República del Paraguay [3], los datos del Estudio de Mercado (periodo 2006-2016) de la ANDE, y los datos de Demanda de Potencia Horaria de la ANDE [4].

Para el efecto se diseñan tres escenarios para un horizonte en el año 2012, estos escenarios suponen la sustitución de cocina a gas por cocina eléctrica a inducción en 60%, 90%, y 130%, el último escenario es el que admite la sustitución de un porcentaje de utilización de leña en la cocción por esta tecnología.

### 3.1. Prospectiva de la Demanda Energética



**Figura 2: Demanda de Gas de Uso Residencial y Comercial [Miles de TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo)]**

Estos datos revelan una tasa muy grande de crecimiento en la utilización de gas licuado de petróleo desde el año 1980 hasta el año 1999, y presentan mucha fluctuación a partir de ese año hasta el año 2005. Probablemente la pendiente inicial elevada es debida a la masiva sustitución del uso de la leña por gas, y la fluctuación presentada a partir del año 1999 podría tener varias causas, que ocasionan dificultad para la proyección del consumo de energía en este sector. Para efectos de este trabajo, solo utilizaremos de estos datos la cifra correspondiente al año 2005, de 72.000 toneladas equivalentes de petróleo como base para la prospectiva de la demanda de energía en este sector.

El desarrollo de la proyección se realizará a través de una metodología consistente en estimar la tasa de crecimiento en la utilización de GLP igual a la tasa de crecimiento de la demanda de energía eléctrica, dicha tasa de crecimiento anual es del 6,29%, obtenido del Estudio de Mercado de la ANDE Periodo 2006-2016 [5] Escenario de Crecimiento de Producto Interno Medio.

De esta forma los escenarios a considerar son los siguientes:

**Tabla III: Escenarios Energéticos - Horizonte Año 2012**

Escenarios considerados	Energía GLP	Energía Útil	Energía Eléctrica Inducción	Energía Eléctrica Inducción + Pérdidas SEP (20%)
	2012(TEP)	2012(TEP)	2012(TEP)	2012(TEP)
Escenario1 (60%)	62.221	36.088	44.010	55.013
Escenario2 (90%)	82.962	48.118	58.680	73.350
Escenario3 (130%)	134.813	78.191	95.355	119.194

**3.2. Análisis del Modelo Matemático de la Curva de Carga Típica**

Se utilizó el modelo diseñado en la Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa titulado “Rediseño del Sistema de Distribución en Media Tensión de la Zona Urbana de Encarnación y Cambyreta, considerando las Obras Complementarias de Yacyreta”, resumido a continuación.

El Modelo de Ajuste de la Curva de Demanda consiste en aproximar la Curva de Demanda a un polinomio a través del software Matlab que utiliza el método de ajuste de los mínimos cuadrados, el polinomio es una función versátil en el sentido de que es una función continua en todos los puntos, es fácil de integrar, y los coeficientes forman un espacio vectorial que facilitan el análisis de la función.

En el eje X se representa la hora del día y en el eje Y la demanda en MWatt. Se utiliza la siguiente notación vectorial:

$$\mathbf{C} = (c_1, c_2, \dots, c_{13}) \quad \text{Coeficientes del polinomio}$$

De esta forma se ajustan los datos reales a un polinomio de orden  $n = 12$ , facilitando los cálculos relacionados con la curva de demanda típica.

### 3.2.1 Modelo de la Prospectiva de Demanda de Potencia.

Considerando 2 variables explicativas en la evolución de la Curva de demanda, el aumento en la cantidad de usuarios y la variación de indicadores económicos, cuyo efecto en él es la suma de los efectos de cada caso, en los coeficientes del polinomio está representado en la ecuación:

$$C_f = d_1 C_0 + (0,0, \dots, d_2)$$

$C_f$ : Coeficientes de la Curva de demanda final.

$C_0$ : Coeficientes de la Curva de demanda inicial.

d1: factor proporcional al aumento en la cantidad de usuarios,

d2: factor proporcional a un indicador económico que es el PIB/habitante.

Como la variable explicativa de mayor incidencia es el aumento en la cantidad de usuarios, para los efectos de este trabajo aproximaremos la Curva de Demanda al producto,  $C_f = d_1 C_0$ , sin considerar la sustitución de la cocina a gas.

### 3.2.2 Demanda de Utilización de Potencia de la Cocina Eléctrica.

Para el estudio de la demanda de utilización de Potencia de la cocina eléctrica es necesario considerar la potencia de cada cocina y realizar un estudio estadístico sobre el comportamiento de los habitantes en cuanto a la cocción de alimentos, esto es preciso para estimar una curva de carga en función del horario y demanda de potencia de la utilización de la cocina para cocción de alimentos.

Este tipo de análisis requiere una cantidad de mediciones en consumidores en una muestra representativa, y realizar estas mediciones requiere mucho esfuerzo económico y tiempo.

Para salvar este inconveniente se ha utilizado otra metodología basada en ajuste de polinomios en Matlab y se ha utilizado como base un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia, de donde se obtuvieron los siguientes datos.

**Tabla IV: Energía Utilizada en las comidas, promedio y relación de utilización**

Gas natural	Desayuno	Almuerzo	Cena	Total/día
lts/persona/día	lts/pers/día	lts/pers/día	lts/pers/día	
PROMEDIO	25,83	90	23,33	139,167
Relación de Utilización	0,19	0,65	0,17	1

Los datos de la **Tabla IV** serán utilizados en el modelado de la Curva característica de utilización de la cocina, la relación de utilización indica la cantidad de energía que se utiliza para cada comida, teniendo como unidad la utilización total de energía para cocción de alimentos.

### 3.2.3 Modelo de la Curva Característica de Utilización de la Cocina

Premisas básicas

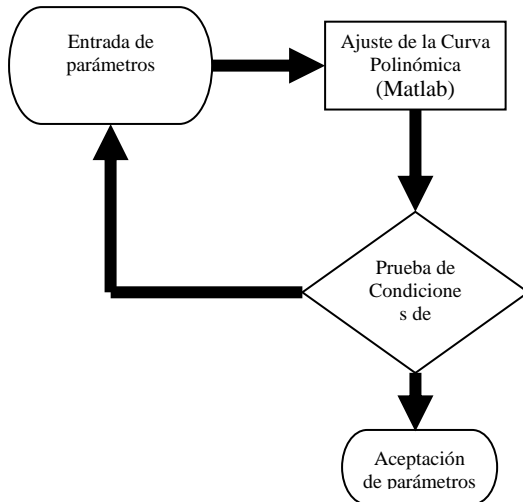
- La energía comprendida entre los horarios correspondientes a cada comida (desayuno, almuerzo y cena) debe ser proporcional a la relación de utilización de la **Tabla IV**.
- La curva de demanda de energía utilizada en cada comida debe tener la forma de una campana de Gauss (distribución probabilística), cuya distribución tendrá como punta los horarios siguientes: 07:00 para el desayuno, 12:00 hs para el almuerzo y 19:00 hs para la cena.

Para simplificar el problema se aproxima esta curva a un polinomio de grado  $n=12$ , cuyas características sean que la integral bajo la curva de los horarios correspondientes a cada comida sean proporcionales a los factores de la **Tabla IV**, y que tengan valores máximos en los horarios



de puntas indicados en b), y una dispersión en una franja de 2,5 horas aproximadamente a cada lado.

Para encontrar los coeficientes del polinomio de esta curva característica se diseñó un algoritmo esquematizado en el siguiente diagrama de flujo.



**Tabla V: Resultados arrojados por el Vector  $C_C$  aceptado**

	Hora	Área	Relación calculada	Relación deseada
Desayuno	0-9	0,86	0,19	0,18
Almuerzo	9-16	2,69	0,62	0,64
Cena	16-24	0,77	0,17	0,17

**Figura 5: Diagrama de Flujo para el Cálculo de Coeficientes del Polinomio de la Curva de Demanda de la Cocina.**

Los coeficientes del polinomio válido para cada caso son el producto de estos coeficientes por una constante, de tal forma que la energía total sea igual a la integral bajo la curva, para un valor dado de energía  $E$ , es posible determinar los coeficientes del polinomio  $C_x$ .

$$E_c = \int_0^{24} C_C \cdot P_{12} dt = C_C \cdot P_d = c_1 \frac{24^{13}}{13} + c_2 \frac{24^{12}}{12} + \dots + c_{12} \frac{24^2}{2} + c_{13} 24 = 4,33429$$

$$C_x = a \cdot C_C \quad E = \int_0^{24} a \cdot C_C \cdot P_{12} dt = a \int_0^{24} C_C \cdot P_{12} dt = a \cdot E_c \Rightarrow a = \frac{E}{E_c} = \frac{E}{4,33429}$$

**Tabla VI: Promedio Diario Demanda de la Cocina Eléctrica a Inducción**

Escenarios considerados	Promedio Diario (MWh)
Escenario1 (60%)	1.752
Escenario2 (90%)	2.336
Escenario3 (130%)	3.795

Cabe destacar que en estos escenarios no se incluye la utilización del horno eléctrico ya sea a resistencia óhmica o a micro ondas, se estima esta utilización en aproximadamente el 10% del valor de la energía utilizada para cocción.

Para cada escenario se analiza la Curva de Demanda Máxima, sumando la curva de demanda promedio de la cocina a la curva de demanda máxima del Sistema Eléctrico de Potencia de demanda máxima del Sistema Eléctrico de Potencia. Esta consideración es aceptable debido a que la utilización de la cocina no debería de presentar mucha fluctuación y que no existe razón probable para que los días de demandas máximas en utilización de energía eléctrica coincidan con los días de demanda máxima de utilización de energía eléctrica para cocción.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

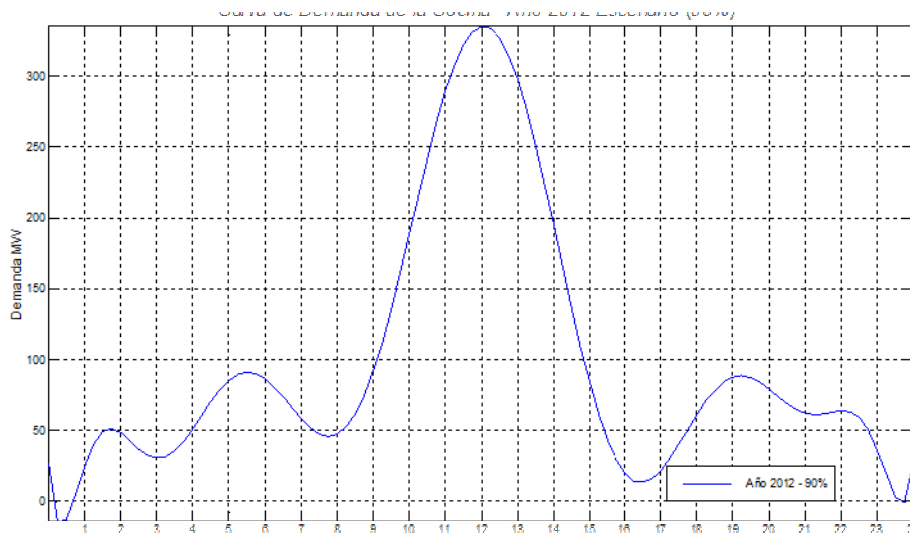


Figura 6: Curva de Demanda de Utilización de la Cocina Año 2012 Escenario 90%

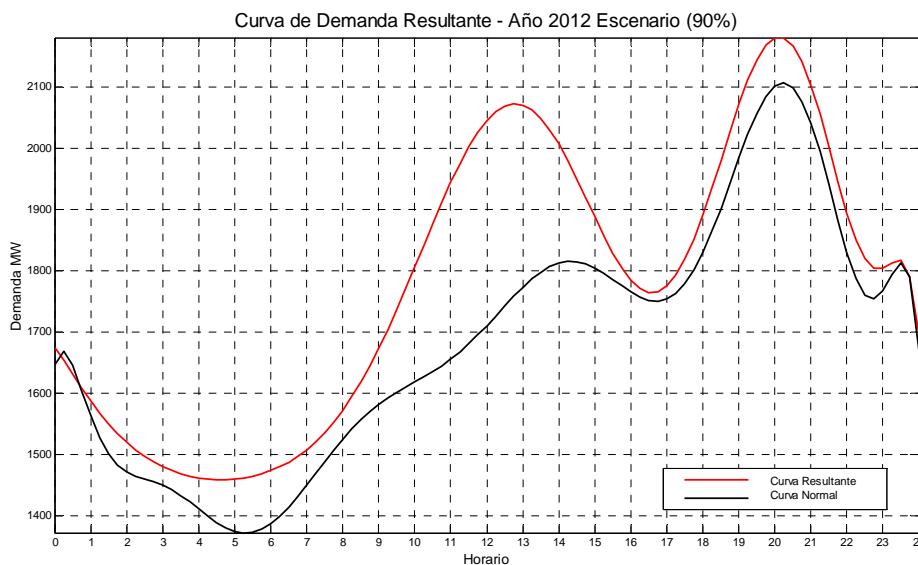


Figura 7: Curva de Demanda Resultante Año 2012 Escenario 90%

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rediseño del Sistema de Distribución en Media Tensión de la Zona Urbana de Encarnación y Cambyreta, considerando las Obras Complementarias de Yacyreta. FACULTAD DE INGENIERÍA – UNI
- [2] Determinación del Consumo Final de Energía en los sectores Residencial, Urbano y Comercial. Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ciencias.
- [3] Balance Energético de la República del Paraguay elaborado por el Vice Ministerio de Minas y Energías del año 2005.
- [4] [www/ande.gov.py](http://www/ande.gov.py) “Memoria y Balance”.