



## IMPACTO AMBIENTAL POR USO DEL GAS NATURAL DE CAMISEA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PERÚ

Douglas D. Sarango J.<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Apartado Postal 14-0149, Lima, Perú

### Resumen

En Este estudio se determino el impacto ambiental por uso del gas natural de Camisea en la generación de energía en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) en el período 2004-2020. La cantidad de C, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y NMCOV, dejados de emitir al medio ambiente por uso del gas de Camisea, esta fuente de energía reemplazo los combustibles Diesel 2, Residual 5, Residual 5000, Residual 6 y Carbón. Las emisiones mencionadas están en función de: Tipo de combustible, energía anual generada por cada central térmica y la aplicación de factores de emisión por quema de combustibles para el sector electricidad.

Se uso el modelo Wien Automatic System Planning For Power Generating System Expansion Planning - WASP III<sup>®</sup> para obtener la optimización de la expansión de la generación del SEIN, período 2004-2020. Este modelo fue desarrollado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con apoyo del Banco Mundial (BM) a fines de la década de los ochenta.

PACS: 47.45.-n; 47.55.Ca; 91.50.Hc; 07.88.+y; 89.60.Fe; 89.60.Ec

**Palabras claves:** gas natural de Camisea, WASP III, programación dinámica, centrales térmicas, centrales hidráulicas, hidrología, contaminantes, impacto ambiental

### Abstract

In this study was determined the environment impact for Camisea natural gas used in the electrical energy generating for the National Electric System (SEIN), during 2004-2020 period. The amount of C, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y NMCOV, were not emitted to the environment for Camisea natural gas use, this energy source replaced Diesel 2, Residual 5, Residual 500, Residual 6 y Coal. These emissions are depended of fuel type, thermoelectric power plant annual energy generation and other factors of emissions due to burning fuels in the Peru's Electric Sector.

The Wien Automatic System Planning For Power Generating System Expansion Planning – WASP III model was used to get the expansion optimization of the generation for minimum cost for SEIN in the long term 2004-2020 period. This model was developed for International Atomic Energy Agency (IAEA) and World Bank, at the end of 80'.

**Keywords:** Camisea natural gas, WASP III, dynamic programming, thermoelectric power, hydropower, hydrology, contaminants, environment impact.

### 1. Introducción

En 1981 en la selva-sur del país, la compañía SHELL descubrió importantes volúmenes de gas natural húmedo en la zona de Camisea, provincia de la Convención, departamento del Cuzco. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) considera que este recurso estará disponible en Lima a fines del año 2004 para su uso en generación de energía por las

centrales térmicas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) de nuestro país [1].

El MEM de acuerdo a la Ley de Concesiones Eléctricas D.L. No. 25844, a elaborado el Plan Referencia de Electricidad 2003 (PRE-2003), que incluye el estudio de la utilización del gas natural de Camisea para el crecimiento de la generación termoeléctrica para el abastecimiento de la demanda

\* Corresponding author. e-mail: dsarangoj@unmsm.edu.pe

eléctrica del país, incrementando de esta forma la seguridad del suministro eléctrico.

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), esta conformado por centrales hidráulicas y centrales térmicas, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, sistemas de compensación reactiva y cargas, que transfieren la energía desde los centrales de generación hidráulica y térmica hacia los centros de demanda, ver Fig. 1.

El SEIN cubre la demanda máxima de energía de nuestro país, que fue de 3 154 MW en el año 2003, donde la generación hidráulica y térmica cubren la demanda eléctrica de la zona costera, desde la localidad de Marcota-departamento de Ica- por el sur hasta el departamento de Piura por el norte, y desde la ciudad de Ayacucho hasta la ciudad de Tingo María en la zona central del país. Mientras que por la parte sur desde Quillabamba en el Cuzco hasta Ilave en Puno, y desde Arequipa hasta Tacna por el Sur.

La energía eléctrica generada por las centrales térmicas del SEIN es obtenida mediante el uso de combustibles derivados de petróleo, como es el Petróleo Diesel-2, Petróleo Residual 500, Petróleo Residual 5, Petróleo Residual 6 y Carbón, que son combustibles altamente contaminantes por las emisiones que son expulsas al aire, como son el carbono (C), metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrógeno( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y componentes orgánicos volátiles distintos del metano (NMVOC).

Teniendo en cuenta que el gas natural de Camisea, según el MEM, estará disponible en Lima a fines del año 2004, para generación de energía en el SEIN, se planteo la presente investigación para cuantificar el beneficio de su uso en el sector energía y el medio ambiente, estando esto representado por los contaminantes dejados de emitir al medio ambiente por su uso en reemplazo de los combustibles derivados de petróleo utilizados por las centrales térmicas en la generación de energía eléctrica.

Para alcanzar este objetivo, se ha efectuado el Planeamiento de la Optimización de la Expansión de la Generación del Sistema Interconectado Nacional (SEIN) sin y con el uso del gas natural de Camisea, optimizando de esta forma los recursos hidráulicos y térmicos existentes y futuros de nuestro país, para cubrir la demanda eléctrica en el período 2004-2020. Para ello se ha usado el modelo "Wien Automatic System Planning a Computer Code For Power Generating System Expansion Planning (WASP III)" que fue elaborado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) bajo el patrocinio del Banco Mundial (BM) a fines de la década de los ochenta [2].

El WASP III esta diseñado para determinar el plan óptimo de la expansión de la generación de mínimo costo de la generación de un sistema

hidrotérmico, el cual es una secuencia de centrales hidráulicas y térmicas adicionadas al sistema actualmente existente, que es evaluado para obtener el costo de una función objetivo mediante el uso de programación dinámica, y obtener la generación de energía por año de cada central térmica que forma parte del plan de expansión de mínimo costo.

De esta forma los diferentes tipos de centrales térmicas que forman parte del equipamiento de mínimo costo, y los combustibles que utilizan tendrán un impacto en la polución atmosférica, representada por los contaminantes emitidos a la atmósfera para cuya cuantificación es necesario conocer la generación de energía anual (GWh) de cada central térmica dentro del período de planeamiento (2003-2020).

## 2. Planteamiento de Hipótesis

- El uso del gas natural de Camisea en la generación de energía eléctrica en reemplazo del Petróleo Diesel-2, Petróleo Residual 500, Petróleo Residual 5, Petróleo Residual 6 y Carbón que son utilizados para la generación de electricidad en el SEIN, período 2003-2020, es positivo por se dejan de emitir al medio ambiente contaminantes como el carbono (C), metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrógeno( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y componentes orgánicos volátiles distintos del metano (NMVOC).
- Para cuantificar las emisiones que se dejan de emitir por el uso del gas natural de Camisea en la generación de energía, período 2003-2020, se debe obtener el Plan Optimo de Expansión de la Generación de Mínimo Costo del SEIN con el modelo WASP III, para obtener la generación de energía anual de cada central térmica, para luego aplicar factores de emisión por quema de combustibles del IPCC y del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

## 3. Materiales y Métodos

### Modelo WASP III

El modelo Wien Automatic System Planning Package - WASP III permite encontrar el plan óptimo de expansión de la generación de un sistema hidrotérmico, para un período de 30 años, y bajo las restricciones dadas por el planificador [2,3,4].

Cada posible secuencia de unidades, hidráulicas o térmicas, adicionadas al sistema, plan de expansión o política de expansión, es evaluado para obtener el costo de una función, la función objetivo, la cual está compuesta de [8]: Los costos de capital de inversión

(I), Los valores del costo de inversión (S), Los costos del combustible (F), Los costos del inventario del combustible (L), Los costos operación y mantenimiento no combustible (M), y Los costos de la energía no servida ( $\phi$ ).  
entonces:

$$B_j = \sum_{t=1}^T [I_{i,t} - S_{i,t} + F_{i,t} + L_{i,t} + M_{i,t} + \phi_{i,t}]$$

Donde:

$B_j$  es la función objetivo unido al plan de expansión  $j$ ,  $t$  es el tiempo en años,  $T$  es la longitud del período de estudios o sea el número total de años. El plan de expansión óptimo está definido por: El mínimo de  $B_j$  entre todos los  $j$

Si  $[K]$  es un vector conteniendo el número de todas las unidades de generación en operación en el año  $t$  para un plan de expansión dado, luego  $[K_t]$  debe satisfacer la siguiente relación:

$$[K_t] = [K_{t-1}] + [A_t] - [R_t] + [U_t]$$

donde:

$[A_t]$  = Es el vector que se encarga de sumar las unidades en el año  $t$

$[R_t]$  = Es el vector encargado de los retiros de las unidades en el año  $t$

$[U_t]$  = Es el vector que aspira o es candidato de la generación de unidades sumadas al sistema en el año  $t$ , tal que  $[U_t]$  mayor o igual a 0.

$[A_t]$  y  $[R_t]$  son datos dados y  $[U_t]$  es la variable no conocida para ser determinada, más conocida como vector del sistema de configuración o simplemente el sistema de configuración.

Definiendo el período crítico ( $P$ ) como el período del año para el cual la diferencia entre la correspondiente capacidad de generación existente y la demanda máxima tiene el más pequeño valor, y si  $P(K_{t,p})$  es la capacidad instalada del sistema en el período crítico del año  $t$ , las siguientes restricciones podrían ser reunidas para todas las configuraciones aceptables [4]:

$$(1 + a_t) \cdot D_{t,p} \geq P(K_{t,p}) \geq (1 + b_t) \cdot D_{t,p}$$

Las cuales simplemente indican que la capacidad instalada en el período crítico debe ser, tender entre los máximos y mínimos márgenes de reserva dados,  $a_t$ , y  $b_t$ , respectivamente, por encima de la demanda pico  $D_{t,p}$  en el período crítico del año.

La confiabilidad del sistema de configuración es evaluada por el WASP III en términos del índice de pérdida de la probabilidad de carga ( $LOLP$ ). Este índice es calculado para cada período y para cada hidrocondición del año. El  $LOLP$  anual se determina como la suma de los  $LOLP$  para cada período, que a su vez son calculados como la suma de los  $LOLP$  para cada hidrocondición (en el mismo período) pesados por sus probabilidades.

Si el  $LOP (K_{t,a})$  y  $LOLP (K_{t,i})$  representan el  $LOLP$  anual y el  $LOLP$  por período, entonces, cada configuración aceptable debe respetar las siguientes restricciones:

$$LOLP(K_{t,a}) \leq C_{t,a}$$

$$LOLP(K_{t,i}) \leq C_{t,p}$$

Donde  $C_{t,a}$  y  $C_{t,p}$  son valores límites dados, como datos ingresados.

Si un plan de expansión contiene sistemas de configuraciones para el cual la demanda anual de energía  $E_t$  es mayor que la oferta anual de generación  $G_t$  de todas las unidades existentes para el correspondiente año  $t$ , el costo total del plan de expansión podría ser penalizado por el costo resultante de la energía no servida.

Obviamente, este costo es una función de la cantidad de energía no servida  $N_t$  que puede ser calculada de la siguiente manera:

$$N_t = E_t - G_t$$

Además se puede imponer túneles de restricciones en la configuración vectorial  $[U_t]$ , de tal manera que cada configuración aceptable debe respetar:

$$[U_t^0] \leq [U_t] \leq [U_t^0] + [\Delta U_t]$$

Donde:

$[U_t^0]$  es el más pequeño valor permitido a las configuraciones del vector,  $[\Delta U_t]$  es el túnel de restricciones o ancho de túnel

El problema, como se expresa aquí, consiste en encontrar los valores del vector  $[U_t]$  bajo el período de estudio que satisfagan las ecuaciones antes mencionadas. Este será el mejor plan de expansión del sistema dentro de las restricciones impuestas. El WASP busca este mejor plan de expansión usando la técnica dinámica de programación.

De esta manera, se procede a nuevas iteraciones, reflejando las restricciones, según sea el caso, hasta obtener una solución libre de mensajes. Esta

solución, entonces, será el plan de expansión óptimo para el sistema.

### Información Utilizada

#### a) Demanda Eléctrica

Se toman los resultados de proyección de la demanda eléctrica del Plan Referencial de Electricidad 2003-2012 (PRE-2003) elaborado por el MEM, para obtener la proyección de la demanda eléctrica al año 2020.

#### b) Situación Actual del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)

La situación actual del SEIN esta representada por las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y térmicas existentes al 2003. En la Tabla 1 se presenta las empresas generadoras de electricidad del SEIN, al año 2003.

Tabla 1. Empresas de generación del SEIN – 2003

Empresa	Potencia Efectiva (1) (MW)	Energía Anual (1) (GWh)
ELECTROPERU	842	6634
EDEGEL	759	4334
CAHUA	48	2264
EGENOR	352	2137
ELECTROANDES	174	1039
CNP	38	120
SINER	12	55
EGASA	170	745
EGESUR	35	86
EGESAG	113	710
EGEMSA	91	687

(1) Generación Hidráulica

#### c) Oferta de Generación Hidráulica y Térmica Comprometida y en Proyecto

Para el desarrollo del escenario de expansión de la generación del SEIN, periodo 2004-2020, se consideran como centrales hidráulicas comprometidas a la C.H. Poechos a entrar a operar en el primer trimestre del 2004, el proyecto de la C.H. Yuncán, prevista para el tercer trimestre del año 2005. Se toma en cuenta el cambio de combustible a gas natural de la C.T. Ventanilla (Unidades Siemens No. 3 y No. 4). Como opciones tenemos Turbinas a gas, Centrales de Ciclo Combinado, usando como combustible Diesel-2 y gas natural, y Centrales a Carbón. Las opciones de centrales hidroeléctricas consideradas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Centrales hidroeléctricas en Proyecto del SEIN

Central	Potencia Instalada (MW)	Ubicación
Poechos II	15	PIURA
Yucán	130	PASCO, JUNIN
El Platanal	220	LIMA
Morro de Arica	50	LIMA
Huanza	86	LIMA
Marañón	96	HUANUCO
Cheves	525	LIMA
Quitaraca	112	ANCASH
Tarucani	50	AREQUIPA
Pucará	130	CUSCO
Piaz I	15	LA LIBERTAD
Centaurus I y III	25	ANCASH

### Metodología

La metodología seguida para la optimización de la expansión de la generación de SEIN es la siguiente [6,7]:

- Determinación de la demanda eléctrica y su proyección en el periodo de planeamiento.
- Fijar las premisas y criterios económicos para el planeamiento de la expansión de la generación del SEIN.
- Análisis de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas pertenecientes al SEIN.
- Determinación de las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y centrales térmicas existentes del SEIN.
- Determinación de las opciones de generación hidráulica y térmica comprometidas en entrar a operar en el SEIN dentro del periodo de estudio.
- Determinación de las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y centrales térmicas en proyecto para la expansión del SEIN.
- Elección del modelo a ser utilizado y que se adapte al SEIN.
- Elaboración de los archivos de datos de los módulos del modelo WASP III (Loadse, Fixsys, Varsys, Congen, Mersim, Dynpro, Reprobato).
- Evaluación económica de los escenarios de expansión de la generación del SEIN mediante el modelo WASP III, sin y con uso del gas natural de Camisea.

## 4. Resultados y Discusión

### Proyección de la Demanda Eléctrica (2004-2020)

A partir de los resultados de proyección de la demanda eléctrica para el periodo 2003-2012, del PRE-2003, se ha efectuado la proyección de la

demanda hasta el año 2020, usando la tasa de crecimiento del período 2008-2012, ver Figura 2. Donde se espera que la demanda máxima de potencia sea 3255 MW para el 2005, de 3864 MW para el

2010, 4638 MW para el año 2015 y para el 2020 de 5568 MW.

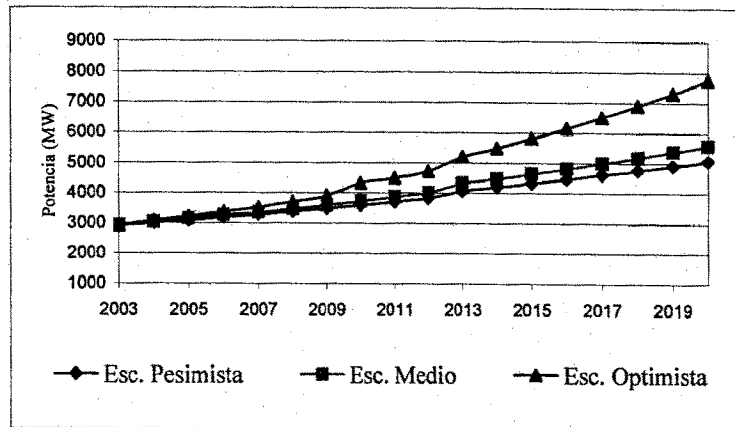


Fig. 1. Proyección de la demanda de potencia del SEIN: 2004-2020

**Elaboración de los Archivos de datos del modelo WASP III**

Con la información de proyección demanda eléctrica para el escenario medio en el período 2004-2020, los datos técnicos y económicos de las centrales hidroeléctricas y térmicas existentes, y los proyectos de generación hidráulicas y proyectos de generación térmicas del SEIN, se elaboraron los archivos de datos de los módulos Loadsy, Fixsys, Varsys, Congen, Mersim, Dynpro, y Reprobat del modelo WASP III, tanto para el caso sin y con uso del gas de Camisea.

**Optimización de la Expansión del SEIN con el modelo WASP III**

El modelo WASP III, está diseñado para encontrar la política de optimización del planeamiento de expansión de generación de mínimo costo de un sistema hidrotérmico, como es el SEIN. Esta expansión del sistema debe resultar técnicamente factible y garantizar el cubrimiento de la demanda dentro del período de estudio con niveles adecuados de confiabilidad, calidad y seguridad.

Con el modelo WASP III, para el escenario de demanda media (2004-2020), se determinó el programa de equipamiento de expansión de mínimo costo del SEIN, para el caso donde las centrales térmicas usan como combustible derivados de petróleo (CASO 700), ver Tabla 3, y para la situación en que estas centrales usen gas natural de Camisea (CASO 800), ver Tabla 4.

Los resultados mostrados en cada caso, indican las nuevas centrales hidráulicas y térmicas del

sistema para el período 2004-2020, así como su potencia y año de entrada en operación.

Tabla 3. Equipamiento de mínimo costo SEIN – CASO 700

Año	Gas Natural	Petróleo Diesel	Carbón Mineral	Hidro	Proyectos Factibles Periodo 2003-2020
2004				15	CH Poechos I
2005				130	CH Yuncan
2006					
2007					
2008		240	125		Turbina Vapor Ilo No. 6 Una Central Ciclo Combinado
2009				50 112	CH Tarucani CH Quitaracsa
2010				220	CH Platanal
2011		240			Una Central Ciclo Combinado
2012					
2013		240			Una Central Ciclo Combinado
2014		240			Una Central Ciclo Combinado
2015					
2016		240			Una Central Ciclo Combinado
2017		240			Una Central Ciclo Combinado
2018		240			Una Central Ciclo Combinado
2019		240			Una Central Ciclo Combinado
2020		240			Una Central Ciclo Combinado
Total		2160	125	527	Total requerido (MW)=2812

Tabla 4. Equipamiento de mínimo costo SEIN – CASO 800

Año	Gas Natural	Petróleo Diesel	Carbón Mineral	Hidro	Proyectos Factibles Periodo 2003-2020
2004	324			15	Conversión 2 Unidades CT Ventanilla CH Poechos 1
2005				130	CH Yuncan Cambio a Ciclo
2006	73				Una Unidad - CT Ventanilla
2007					
2008	680				Dos Centrales Ciclo Combinado
2009				50	CH Tarucani
2010	340			112	CH Quitaraca Una Central Ciclo Combinado
2011					
2012	340				Una Central Ciclo Combinado
2013					
2014				220	CH Platanal Una Central Ciclo Combinado
2015	340				
2016	171				Una Turbina a Gas
2017	340				Una Central Ciclo Combinado
2018					
2019	340				Una Central Ciclo Combinado
2020	340				Una Central Ciclo Combinado
<b>Total</b>	<b>3288</b>			<b>527</b>	<b>Total requerido (MW)=3815</b>

**Emissiones no generadas por el uso del gas natural de Camisea en la generación de energía en el SEIN, período 2004-2020**

El efecto del gas natural de Camisea en el medio ambiente por su uso en la generación de energía eléctrica en el SEIN (2004-2020), esta representado por la cantidad de emisiones que se dejan de emitir a la atmósfera por el no uso como combustible el Petróleo Diesel-2, Petróleo Residual 500, Petróleo Residual 5, Petróleo Residual 6 y Carbón en las centrales térmicas del SEIN.

Para cuantificar las emisiones de C, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y NMCOV por la quema de combustibles derivados de petróleo y carbón, se ha obtenido la generación de energía por año de cada central térmica del proceso de optimización de la expansión de la generación del SEIN, sin uso (CASO 700) y con uso de gas natural de Camisea, (CASO 800).

La cantidad de emisiones son obtenidas por aplicación de factores de emisión a la generación de energía anual de cada central térmica, estos factores corresponden a la categoría de quema de combustibles del Sub Sector Electricidad obtenidos del PRE-2003 [1].

Los resultados muestran por ejemplo, que la evolución de la emisión de Carbono (C) a la atmósfera por uso del petróleo Diesel 2 en la generación de energía en el SEIN, para el CASO 700 y CASO 800, es significativamente menor al usar el gas natural de Camisea, ver Fig. 3.

La cantidad total de emisiones de C, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y NMCOV no emitidos a la atmósfera por el uso del gas natural de Camisea en la generación de energía en el SEIN, período 2004-2020, se muestran en la Tabla 6.

En la Fig. 4, se observa gráficamente estos resultados, siendo los más representativos la emisión de carbono (C) y monóxido de carbono (CO), donde es menor su emisión por uso del gas natural de Camisea.

Tabla 5. Factores de emisión para quema de combustibles en el Sub Sector Electricidad.

Combustible	Factor de Emisión					
	C (t/TJ)	CH <sub>4</sub> (Kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (Kg/TJ)	NO <sub>x</sub> (Kg/TJ)	CO (t/TJ)	NMVOC (Kg/TJ)
Diesel-2	20.2	1	0.6	200	15	5
Residual 500	21.1	3	0.6	200	15	5
Residual 5	21.1	3	0.6	200	15	5
Residual 6	21.1	3	0.6	200	15	5
Gas Natural	15.3	4	0.1	150	20	5
Carbón	25.8	10	1.4	300	20	5

Fuente PRE-2003

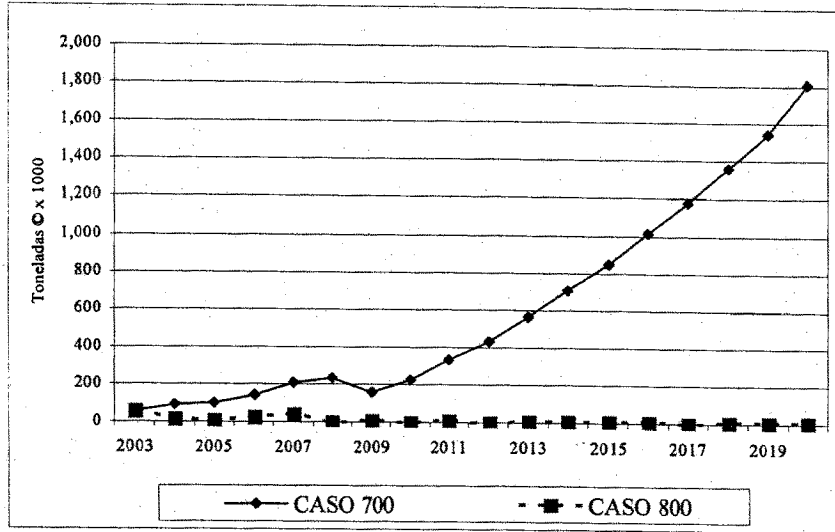


Fig. 2. Emisión de carbono (C) por uso del Diesel 2 en el SEIN

Tabla 6. Total de contaminantes no emitidos y emitidos a la Atmósfera por uso del gas de Camisea en el SEIN, período 2004-2020

Foco de Emisión	Contaminante x 10 <sup>3</sup>					
	C (t)	CH <sub>4</sub> (Kg)	N <sub>2</sub> O (Kg)	NO <sub>x</sub> (Kg)	CO (t)	NMVOC (Kg)
D2, R500, R6, Carbón (1)	19639	3249	705	201213	14583	4522
Gas Natural (2)	1023	267	7	10027	1337	334

- (1) Contaminantes no emitidos por no uso de derivados de Petróleo
- (2) Contaminantes emitidos por uso de Gas Natural de Camisea

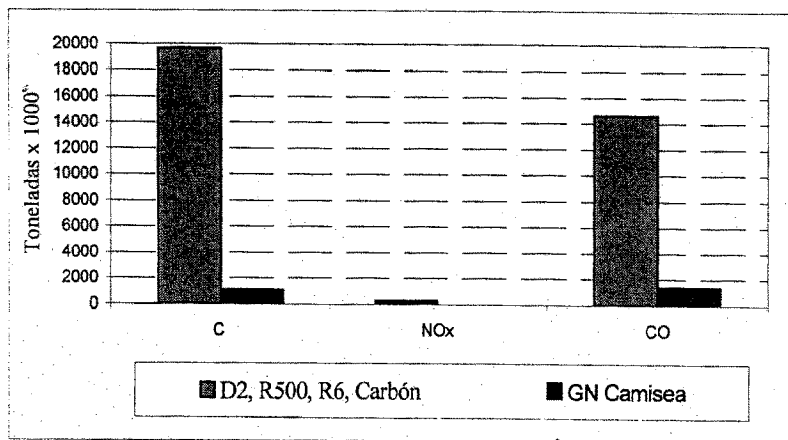


Fig. 3. Comparación de emisiones de C, NOx y CO no emitidos y emitidos por uso del gas de Camisea en el SEIN Período 2004-2020

**5. Conclusiones**

El uso del gas natural de Camisea como combustible para la generación de energía eléctrica en las centrales térmicas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), para el período 2004-2020, es beneficioso por evitar la contaminación del medio ambiente por la menor emisión de carbono (C), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de

nitrógeno (N<sub>2</sub>O), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y componentes orgánicos volátiles distintos del metano (NMVOC), que resultan del uso de combustibles derivados de petróleo, como son el Petróleo Diesel-2, Petróleo Residual 500, Petróleo Residual 5, Petróleo Residual 6 y el Carbón.

La cuantificación de emisiones de C, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y NMCOV a la atmósfera esta en función

del tipo de combustible utilizado, la energía anual generada por cada central térmica, obtenida del estudio de optimización de la expansión de la generación del SEIN y por la aplicación de factores de emisión para la categoría de quema de combustibles para el Sub Sector Electricidad.

#### Referencias

- [1].Ministerio de Energía y Minas, 2003. Plan Referencial de Electricidad del Perú 2003. Dirección General de Electricidad, Lima-Perú.
- [2].International Atomic Energy Agency, Viena-Austria, 1980. Wien Automatic System Planning Package (WASP III) a Computer Code For Power Generating System Expansion Planning, User's Manual. Inter Regional Training Course on Electric System Expansion Planning, Nov. 1993.
- [3].International Atomic Energy Agency, 1984. Expansion Planning for Electrical Generation Systems - A Guidebook. Technical reports Series No. 241, IAEA, Vienna. -
- [4].International Atomic Energy Agency-Vienna, Austria and Argonne National Laboratory-Argonne, Illinois, 1993. Interregional Training Course on Electric System Expansion Planning. Nov. 1993.
- [5].Ministerio de Energía y Minas, 2001. Plan Referencial de Electricidad del Perú 2001. Oficina Técnica de Energía Regional, Lima-Perú.
- [6].Sarango J. D., 2001. Planeamiento y Optimización de la Expansión de Sistemas Hidráulicos mediante el Modelo WASP III y su Aplicación al Sistema Eléctrico Nacional del Perú. Tesis de Magister-UNALM, Lima-Perú.
- [7].Velásquez B. T, Sarango J. D., 1999. Modelamiento Hidrológico e Hidráulico del Sistema Eléctrico Interconectado Sur del Perú para el Calculo del Costo Marginal de Energía. Aplicación del Modelo SISUR. UNALM, Lima-Perú.