



Colegio de Ingenieros del Perú
Consejo Departamental de Lima
Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica

CONFERENCIA

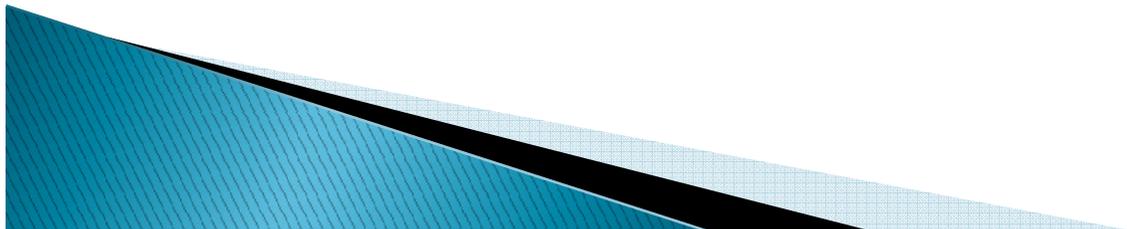
*Impacto de las ER en la Matriz
Eléctrica Peruana*

Dr. Jaime E. Luyo

Lima, 27 de abril del 2011

CONTENIDO

- ▶ Seguridad Energética y Desarrollo Sostenible
- ▶ Matriz Eléctrica Objetivo para el 2030 en Perú
- ▶ Análisis de un Caso de Generación Eólica en el Reino Unido
- ▶ Impactos en la Red Eléctrica la Conexión de Aerogeneradores
- ▶ Verificación, Validación y Certificación de Aerogeneradores
- ▶ Conclusiones
- ▶ Reflexión Final

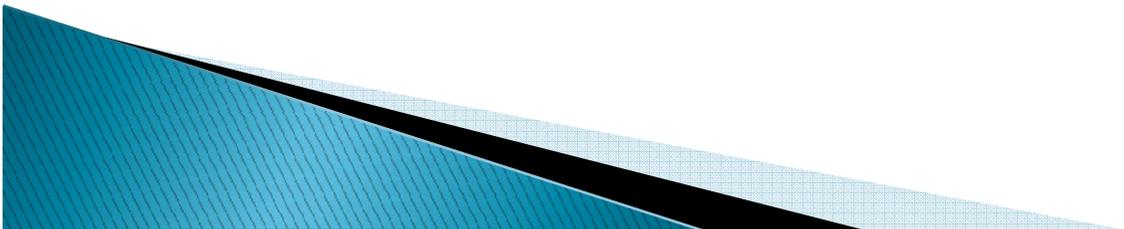


La Seguridad Energética de USA

MENSAJE A LA NACIÓN-PRESIDENTE OBAMA

- ▶ “Reducir en un tercio las importaciones petroleras para 2020”
- ▶ “para el 2015 un millón de vehículos eléctricos en USA,...aumentar el uso de energías limpias,...biocombustibles avanzados,...para el 2035 el *80% de la electricidad* provenga de energías limpias renovables como la eólica y solar y con una nueva generación de reactores nucleares”
- ▶ “la inversión en energías limpias y una mayor eficiencia,..... con el objetivo de garantizar la seguridad energética del país”

Georgetown University, Was. D.C., March 30 , 2011



Estrategia *Green Growth* de República de Corea

1. Declaration of Green Growth Vision

Envisioning the next 60 years (announcement of a new national vision on the occasion of 60th anniversary of the founding of the Republic)



More than just a development strategy

- Changing people's behavior and way of thinking
- Creating a new civilization

What do we mean by Green Growth?

“As we go green – we generate money & jobs”

<Elements of Green Growth>



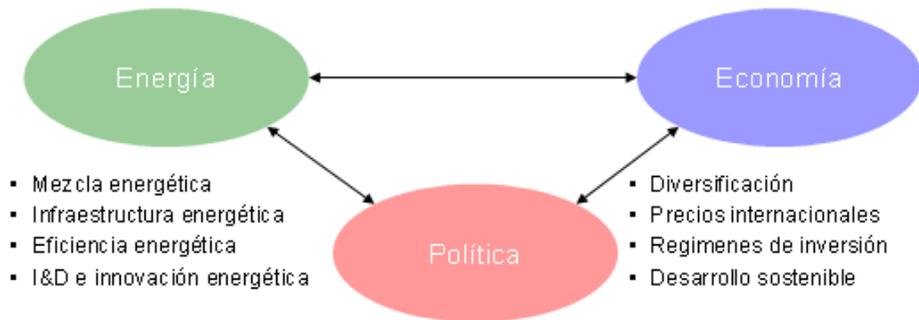
Desarrollo Sostenible y Seguridad Energética

Desarrollo Sostenible



Competitividad Responsable (CR), que “consiste en hacer que el desarrollo sostenible (sustentable o perdurable) (DS) pese en los mercados globales”.

Seguridad Energética

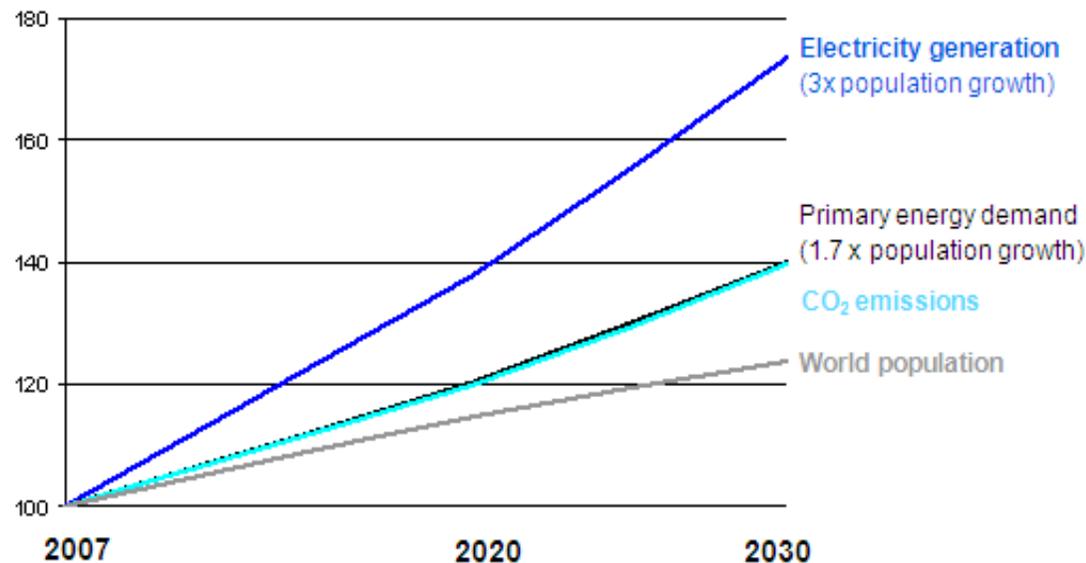


Tendencias mundiales de crecimiento en generación eléctrica, demanda de energía primaria y emisiones de CO₂

What are the prevailing trends impacting energy?
Growth in population, living standards, demand, CO₂

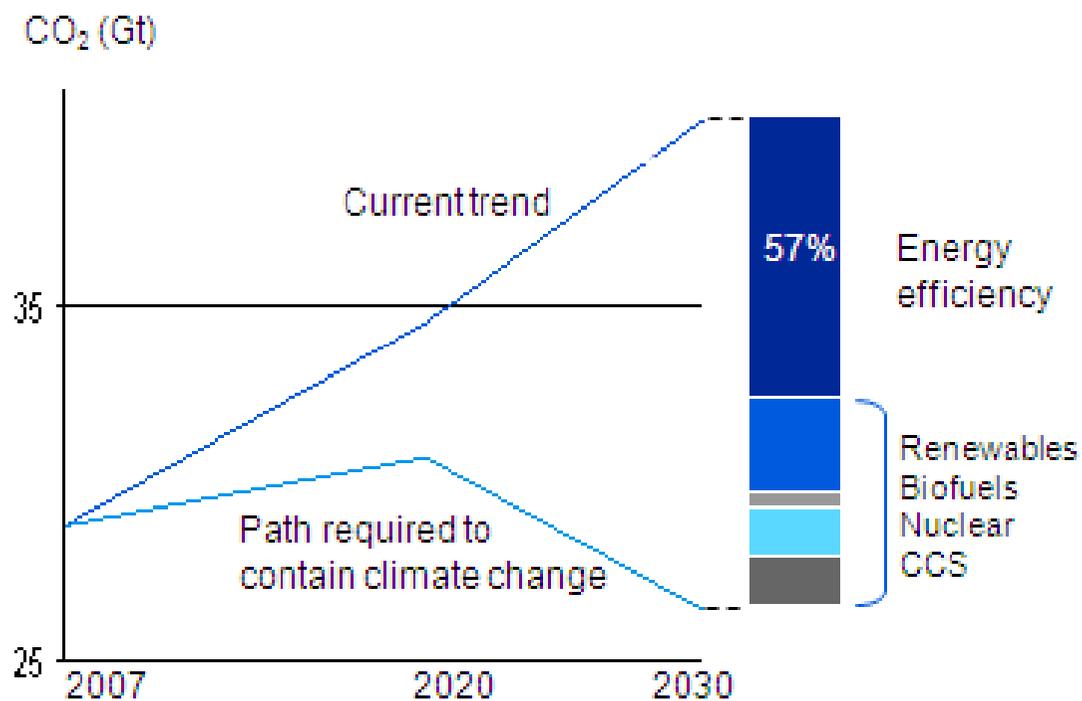
All values rebased to 100

Source: International Energy Agency, Global Insight

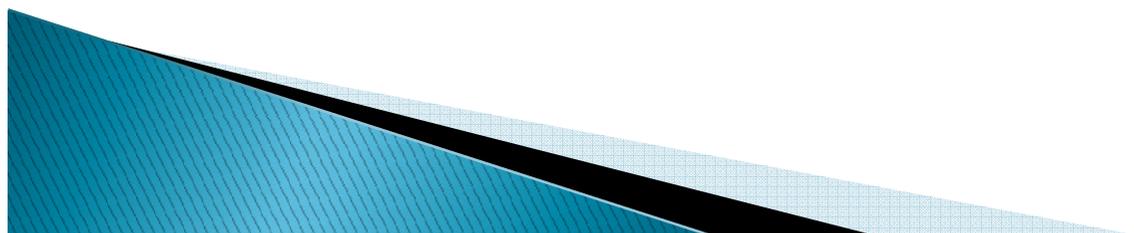


Source: Peter Leupp, Global energy mix in 2030, cost-effective solutions to the global energy challenges, WEC Montreal, set. 2010

Impacto de la Eficiencia Energética

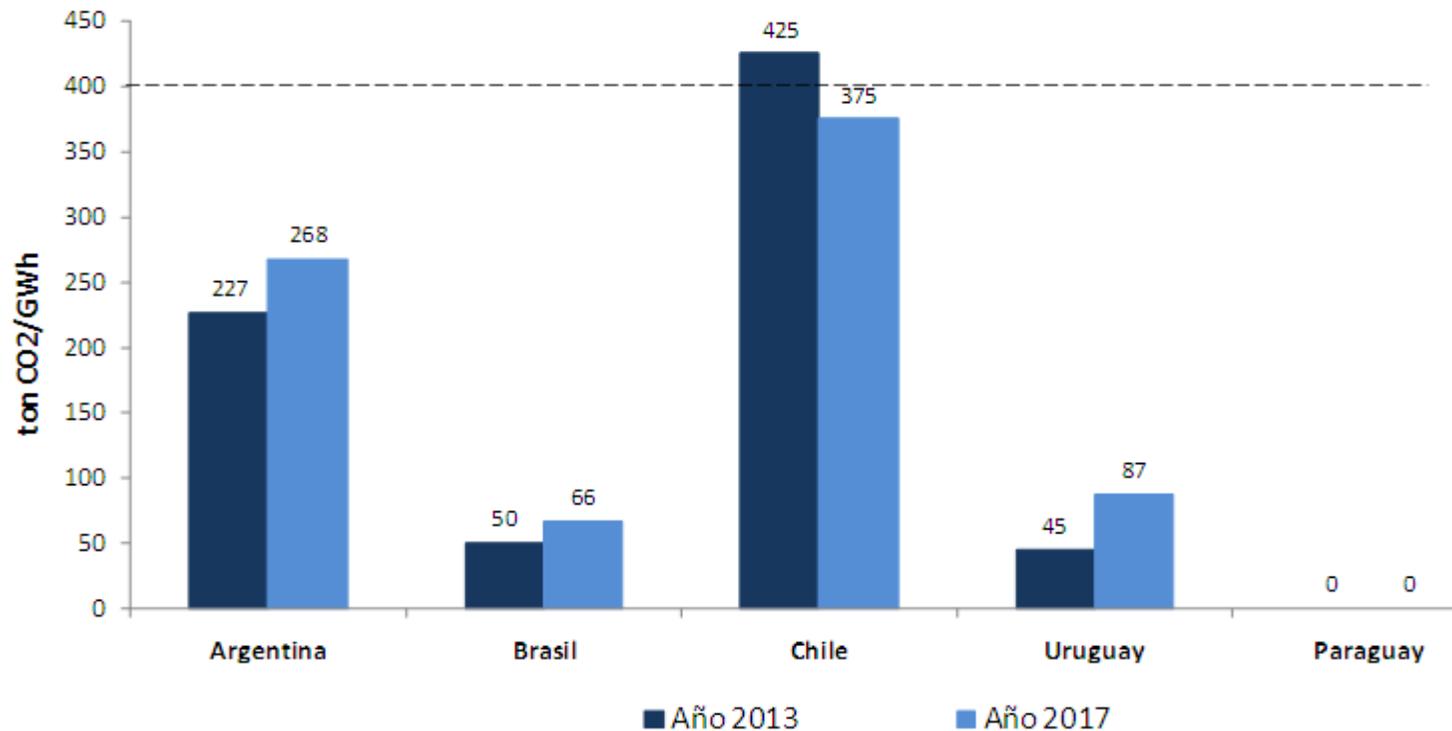


Source: IEA



Contaminación Ambiental de la Generación Eléctrica

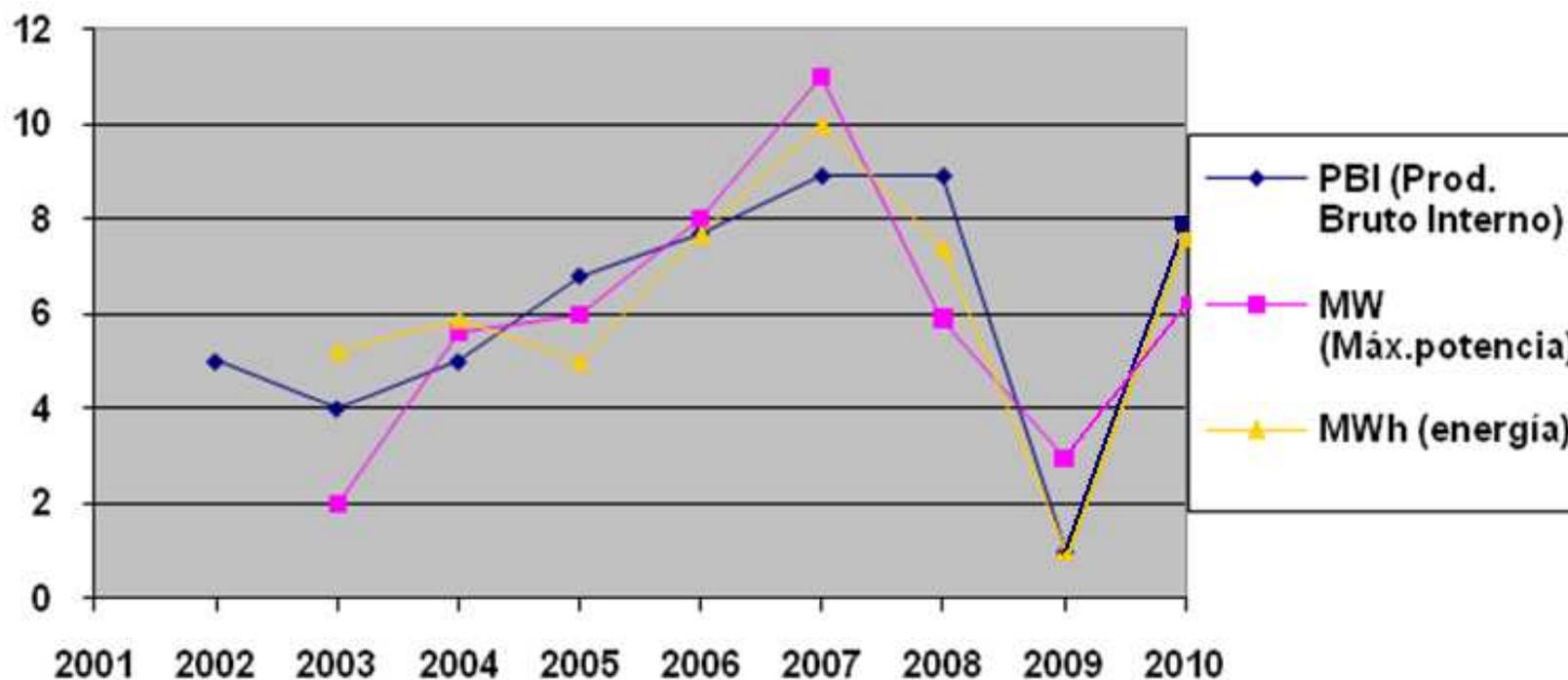
Mercosur: emissions per GWh



Fuente : CIER 2010

NOTA : 400 ton CO2/GWh emite una planta termoeléctrica de C.C. a gas natural

Tasa de Crecimiento Anual de la Economía y la Electricidad en Perú

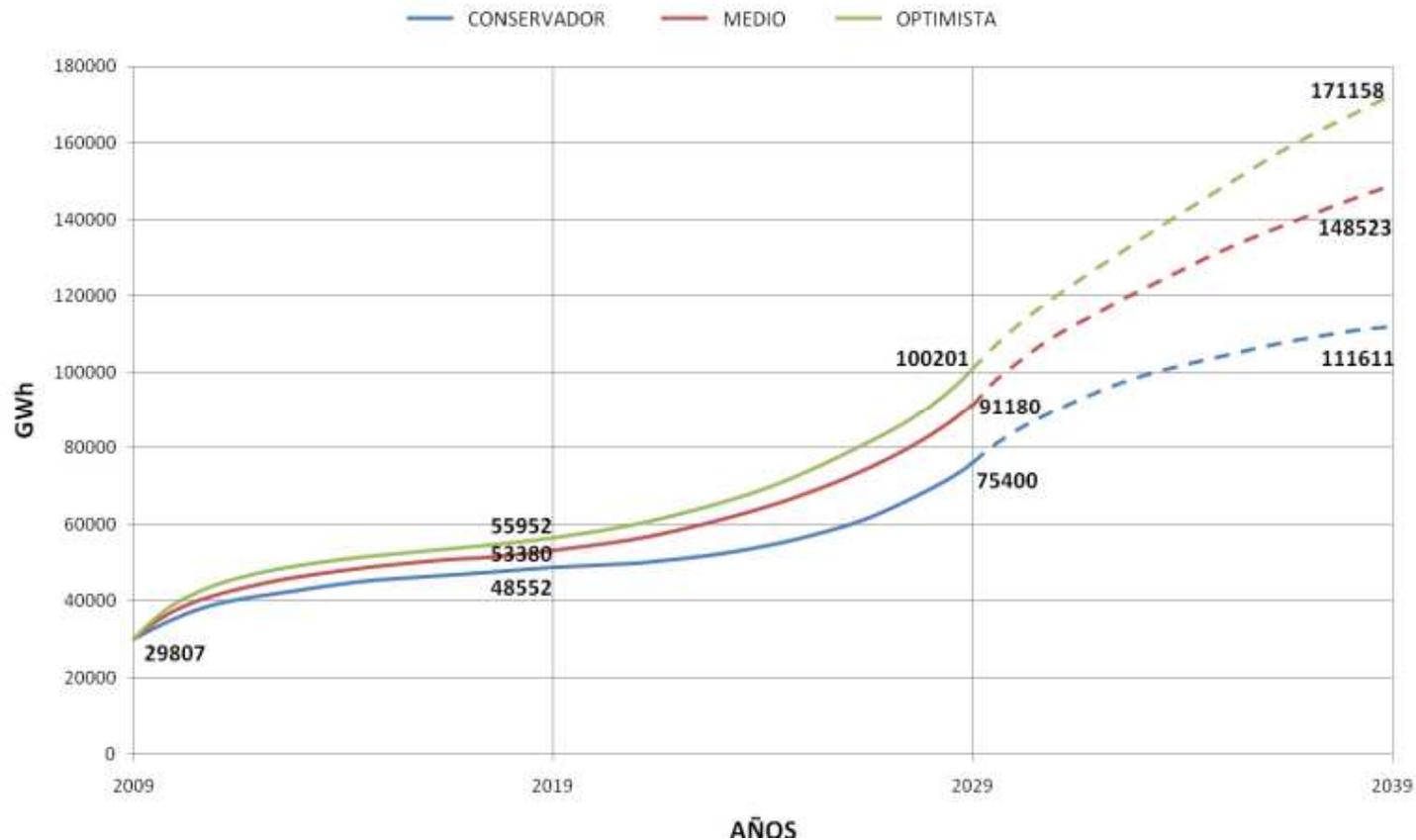


Fuente: Elaboración propia
Datos del BCRP, COES

Existe una alta correlación entre el Crecimiento Económico y la Producción Eléctrica en el país . Esta última es el indicador que anticipa mejor el comportamiento y dinámica de la economía !!

Proyección de la Demanda de Energía a L. P.

DEMANDA DE ENERGÍA SEIN 2009 - 2039



Nota : Se incluye impacto de eficiencia energética (0.5% anual promedio)

Fuente: J. Luyo, *Implicancias de la Interconexión Eléctrica Perú-Brasil en la Matriz Eléctrica Peruana*,
Foro Perspectivas de la Matriz Eléctrica Peruana y Brasileña, Lima 19-20 de abril 2010

Proyección de la Demanda de Potencia a L. P.

DEMANDA DE POTENCIA SEIN 2009 - 2039



Fuente: Elaboración propia

Nota : Se incluye impacto de eficiencia energética (0.5% anual promedio)

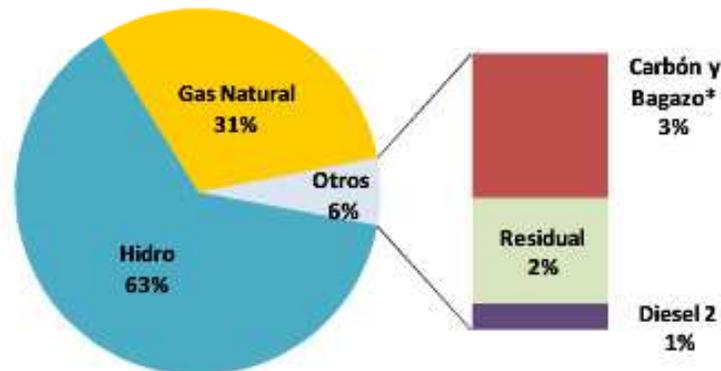
Comentarios: –En el periodo 2017–2030 se requiere incorporar 14,000 MW adicionales de generación (incl. 30% de reserva) en escenario optimista ; y en el medio , se requerirán 10,100 MW adicionales .

Matriz Eléctrica Actual

Situación Actual - Electricidad

Demanda SEIN (2009)/1:	4 322 MW
Producción SEIN (2009)/1:	29 956 GW.h
Clientes(2009)/2:	4,9 Millones

Producción del SEIN (2009) /1



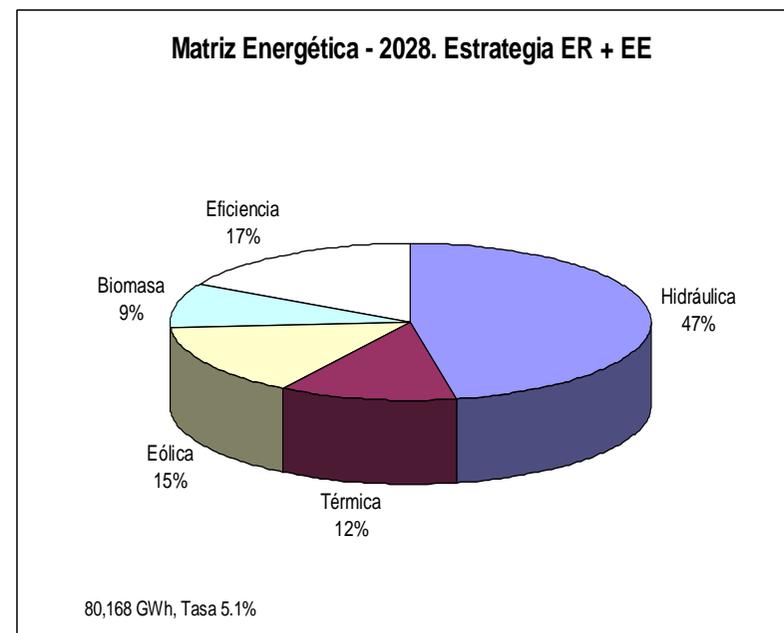
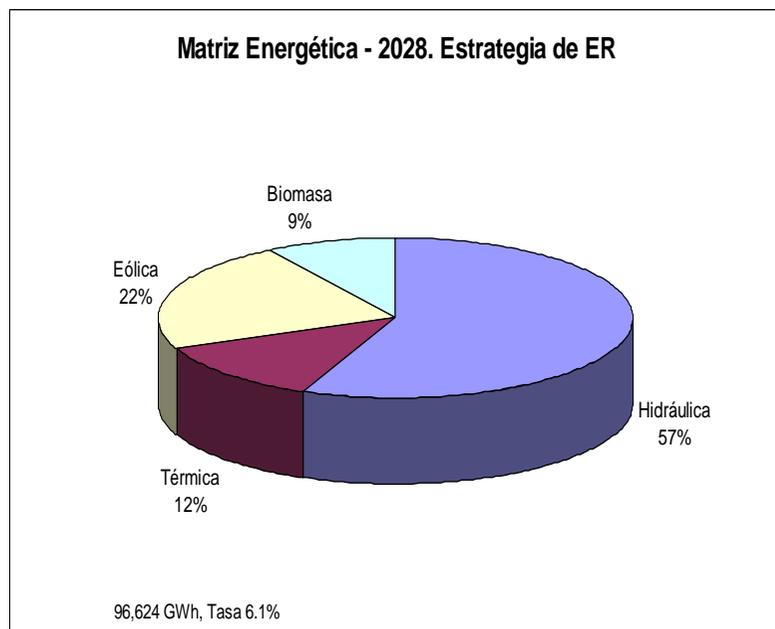
(*) Incluye la producción de energía de la C.T. Paramonga durante sus pruebas (1 831 MW.h)

/1 Fuente: COES, no incluye Ecuador. Incluye Poechos y Curumuy.

/2 Fuente: Ministerio de Energía y Minas

COMENTARIO: El 37% de la producción está generada con recursos energéticos no-renovables y contaminantes. Casi el total de los recursos de GN provienen de Camisa para usarlo como combustible de una generación termoeléctrica concentrada en Lima.

Proyección de la Matriz Eléctrica con ER y EE



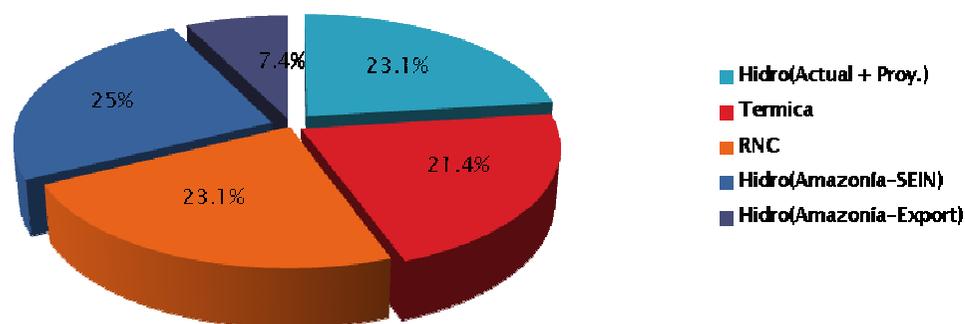
ER: energías renovables EE: eficiencia energética

Fuente : J. Luyo, *Análisis del Impacto en el Sector Eléctrico–Convenio Energético Perú–Brasil*, Seminario Hidroeléctricas en la Amazonía, El Caso Inambari, C.I.P., oct. . 2009

NOTA : Se hizo una comparación entre un enfoque estratégico (con ER y EE) y el tradicional adoptado en el Estudio “ Estrategia para el Desarrollo Energético del Perú”, Consorcio Cenergía/Fundación Bariloche de mayo 2009.

Impacto de CC.HE. (Amazonía) y RNC-Aprox.

ESTRUCTURA DE CAPACIDAD 2030



Total: 21,600 MW (Escenario Medio)

Fuente: Elaboración propia

RNC = recursos energéticos no convencionales

Hidro (Amazonía-Export) = capacidad de CC. HE. en Amazonía para exportación

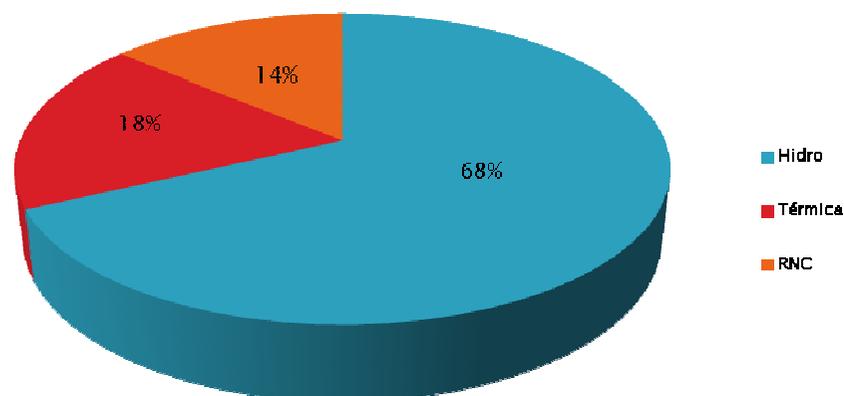
Hidro (Amazonía-SEIN) = capacidad de CC. HE. en Amazonía de refuerzo al SEIN

Total Hidro (Amazonía) = 7,000 MW (Complejo Hidroeléctrico del Pongo de Manseriche)

COMENTARIO : Se ha aplicado un enfoque estratégico hacia el *Desarrollo Energético Sostenible*.

Impacto de CC.HE. (Amazonía) y RNC-Aprox.

MATRIZ ELÉCTRICA OBJETIVO
2030



Total: 90,000 GWh (Escenario Medio)

Fuente: Elaboración propia

COMENTARIOS: -La participación de las CC. HE de la Amazonía contribuirían con el 39.7 % de la generación total.
- El complejo hidroeléctrico del Mantaro, produce actualmente el 25% de la generación total del SEIN y el 20% de la max. demanda . Se debe recordar que el 50% de su capacidad instalada ya tiene 40 años de operación y 30 años el resto .

La seguridad eléctrica del país es más vulnerable con el paso del tiempo, salvo que se adopten las políticas y acciones acertadas hoy.

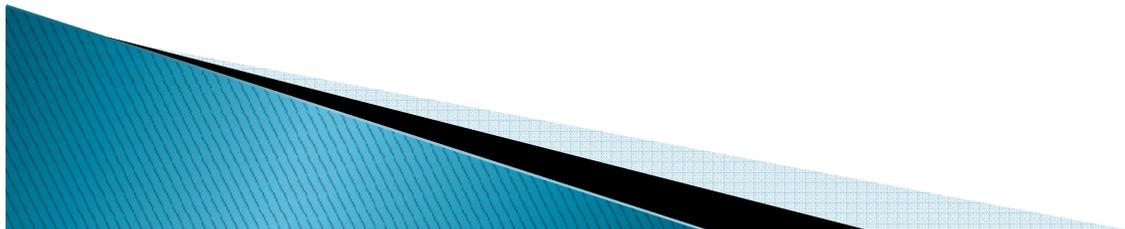
ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

(November 2008 to December 2010)

By Stuart Young , Scotland, march 2011

The following five statements are common assertions made by both the wind industry and Government representatives and agencies. This Report examines those assertions.

1. "Wind turbines will generate on average 30% of their rated capacity over a year."
2. "The wind is always blowing somewhere."
3. "Periods of widespread low wind are infrequent."
4. "The probability of very low wind output coinciding with peak electricity demand is slight."
5. "Pumped storage hydro can fill the generation gap during prolonged low wind periods."



ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

Average outputs from metered wind farms were:

2008 (November and December only)	31.72%
2009	27.18%
2010	21.14%
2009/2010	23.63%
2008/2009/2010	24.08%

The belief that onshore wind farms generate on average 30% of rated capacity is not supported by the record of generation from November 2008 to December 2010 inclusive.

OUTPUT LEVELS	2008-2010	2008	2009	2010	2009/2010
% Time over 30% capacity	33.44	47.22	38.55	26.02	32.29
% Time 20-30%	12.70	9.14	13.90	12.09	13.00
% Time 10-20%	20.45	15.06	18.56	23.25	20.91
% Time 5-10%	15.47	10.09	14.04	17.80	15.92
% Time 2.5-5%	9.79	9.88	8.68	10.88	9.78
% Time 1.25-2.5%	5.06	5.08	4.33	5.80	5.06
% Time <1.25%	3.09	3.53	1.94	4.16	3.05

ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

The significant information to come from this analysis is the aggregated lengths of time at unexpectedly low levels of output:

- More than half the time below 20% of capacity.
- Over one third of the time below 10% of capacity.
- The equivalent of one day in twelve below 2.5% capacity.
- The equivalent of just under one day a month below 1.25% capacity.

INCIDENCE OF METERED WIND GENERATION BELOW 10MW AND 20MW 1ST NOVEMBER 2008 TO 31ST DECEMBER 2010

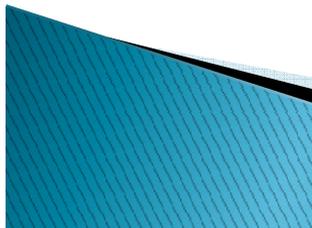
SUMMARY

DURING THE STUDY PERIOD, WIND GENERATION OUTPUT WAS BELOW 10MW

NUMBER OF DAYS IN STUDY PERIOD	791	DAYS
NUMBER OF DAYS GENERATION FELL BELOW 10MW	51	DAYS
NUMBER OF FIVE MINUTE PERIODS BELOW 10MW	2662	PERIODS
ON AVERAGE,		
FREQUENCY OF DAYS GENERATION FELL BELOW 10MW	ONCE EVERY	15.51 DAYS
AVERAGE TIME BELOW 10MW ON DAYS GENERATION FELL BELOW 10MW	FOR	4.35 HOURS

DURING THE STUDY PERIOD, WIND GENERATION OUTPUT WAS BELOW 20MW

NUMBER OF DAYS IN STUDY PERIOD	791	DAYS
NUMBER OF DAYS GENERATION FELL BELOW 20MW	124	DAYS
NUMBER OF FIVE MINUTE PERIODS BELOW 20MW	7330	PERIODS
ON AVERAGE,		
FREQUENCY OF DAYS GENERATION FELL BELOW 20MW	ONCE EVERY	6.38 DAYS
AVERAGE TIME BELOW 20MW ON DAYS GENERATION FELL BELOW 20MW	FOR	4.93 HOURS



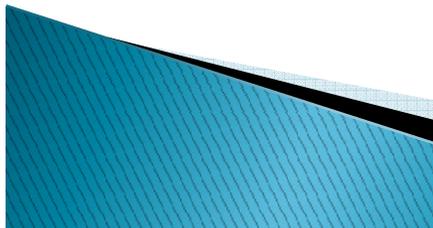
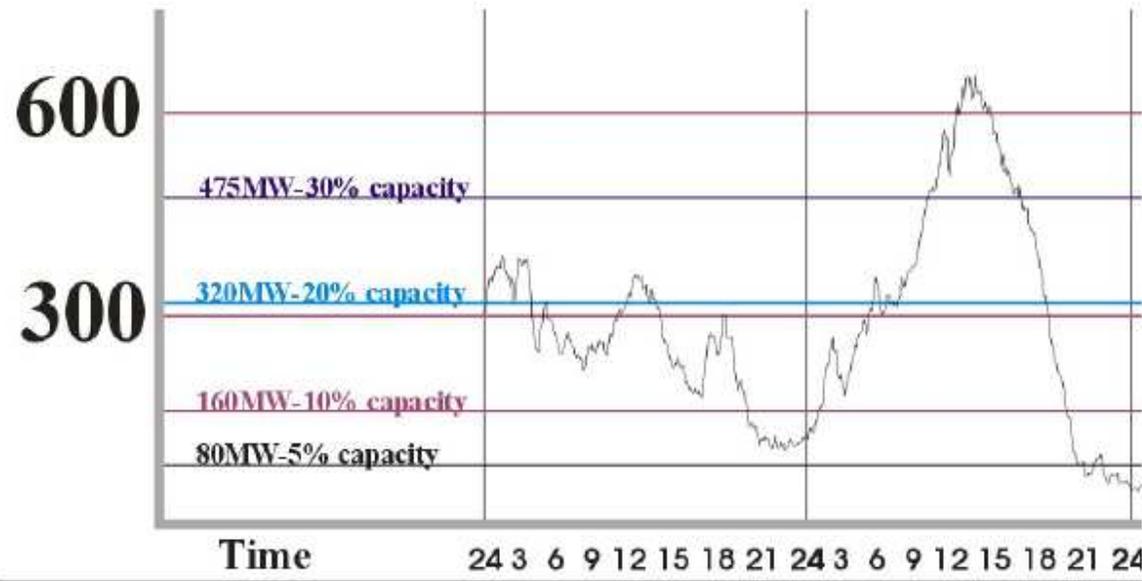
ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

Coincidence of Peak Demand with Low Wind Output

PEAK DEMANDS AND WIND OUTPUT IN 2010.					
DATE	TIME	DEMAND MW	WIND MW	METERED WIND CAPACITY MW	% of METERED WIND CAPACITY
7th JANUARY 2010	17.05 HRS	59541	75	1588	4.72
7th DECEMBER 2010	17.20 HRS	60191	134	2430	5.51
20th DECEMBER 2010	17.20 HRS	60017	62	2430	2.55
21st DECEMBER 2010	17.30 HRS	59405	61	2430	2.51

- The four highest daily peak demands of 2010 occurred at periods of very low wind output.

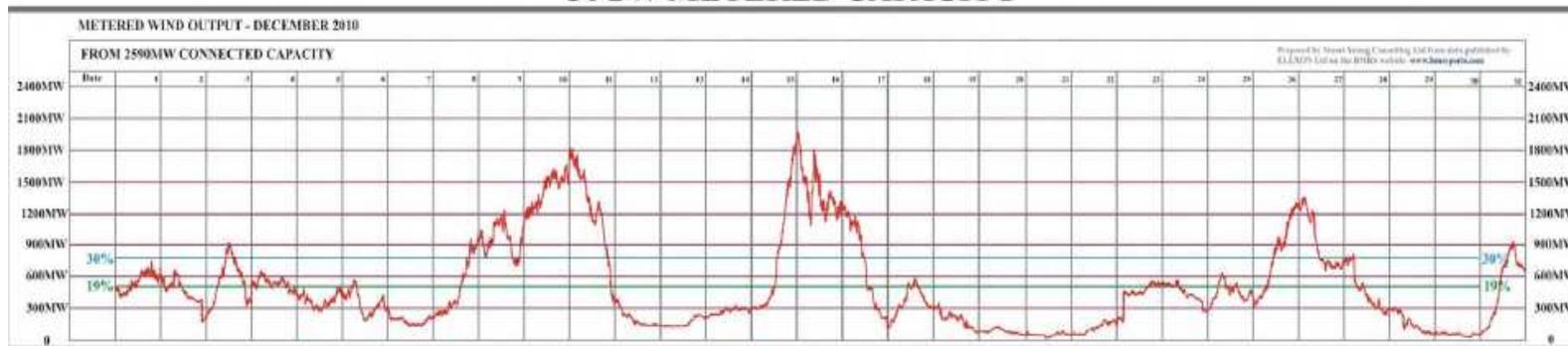
Changes in output in excess of 100MW over a five minute period are not uncommon.



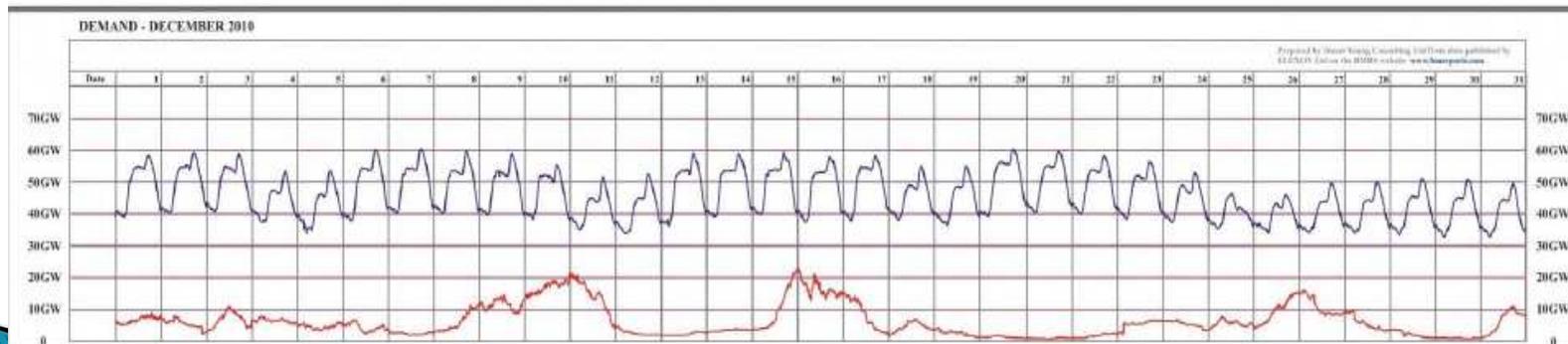
ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

ANALYSIS OF WIND POWER GENERATION NOVEMBER 2008 TO DECEMBER 2010

ILLUSTRATION OF ACTUAL METERED WIND OUTPUT, ACTUAL DEMAND, AND ACTUAL METERED WIND OUTPUT FACTORED UP TO A NOTIONAL 30GW METERED CAPACITY



DECEMBER 2010



NOTE.

IN THE UPPERMOST GRAPH, THE RED DATA LINE REPRESENTS ACTUAL RECORDED WIND GENERATION. THE BLUE LINE REPRESENTS 30% OF METERED CAPACITY. THE GREEN LINE REPRESENTS THE ACTUAL AVERAGE OUTPUT AS A PERCENTAGE OF METERED CAPACITY.

IN THE LOWER GRAPH, THE RED DATA LINE REPRESENTS ACTUAL WIND GENERATION FACTORED UP TO 30GW CAPACITY AND SHOWN TO THE SAME SCALE AS DEMAND WHICH IS REPRESENTED BY THE BLUE DATA LINE.

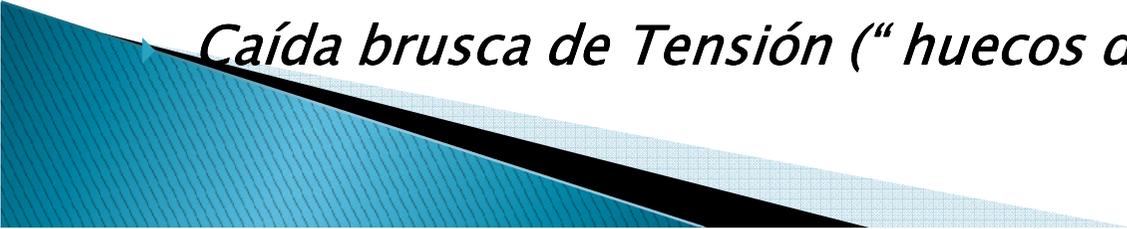
ANALYSIS OF UK WIND POWER GENERATION

General Conclusions

- ▶ The nature of wind output has been obscured by reliance on “average output” figures. Analysis of hard data from National Grid shows that wind behaves in a quite different manner from that suggested by study of average output derived from the Renewable Obligation Certificates (ROCs) record, or from wind speed records which in themselves are averaged.
- ▶ It is clear from this analysis that wind cannot be relied upon to provide any significant level of generation at any defined time in the future. There is an urgent need to re-evaluate the implications of reliance on wind for any significant proportion of our energy requirement.



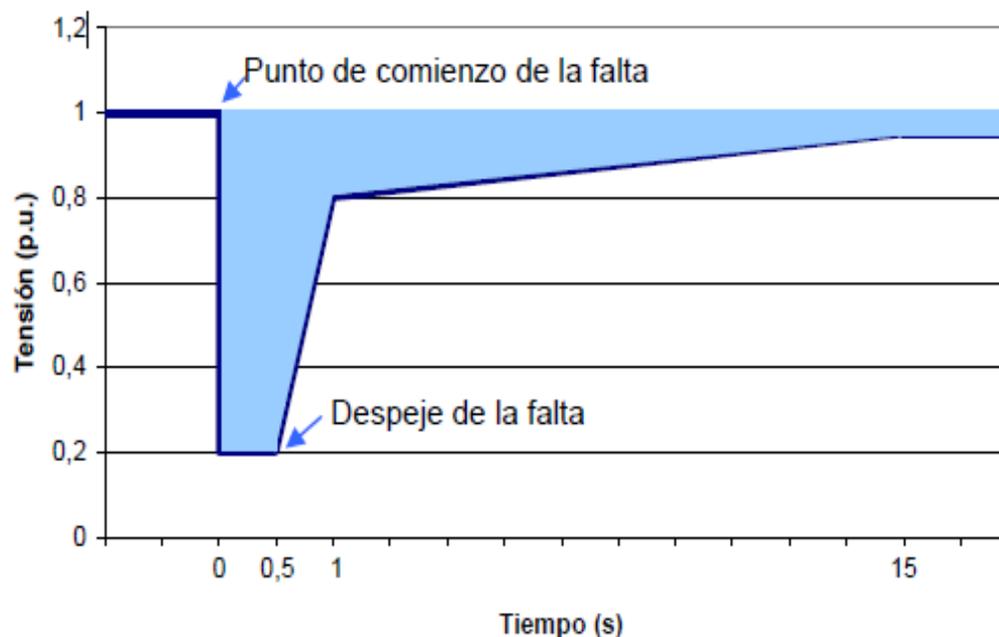
Impactos en la Red Eléctrica la Conexión de Aerogeneradores

- ▶ *Localización del parque eólico.*
 - ▶ *Variaciones de amplitud y frecuencia de la tensión.*
 - ▶ *Armónicos.*
 - ▶ *Transitorios de tensión.*
 - ▶ *Corrientes de cortocircuito y sistemas de protección.*
 - ▶ *Estabilidad.*
 - ▶ *Caída brusca de Tensión (“ huecos de tensión”).*
- 

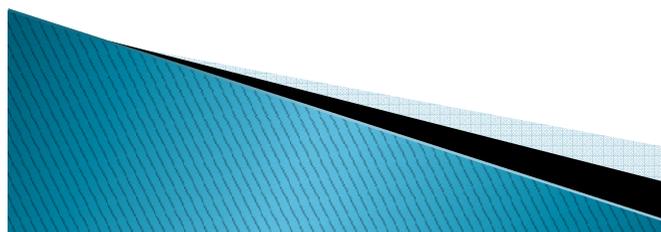
Impacto en la Red Eléctrica la Conexión de Aerogeneradores

Continuidad de suministro durante hueco de tensión

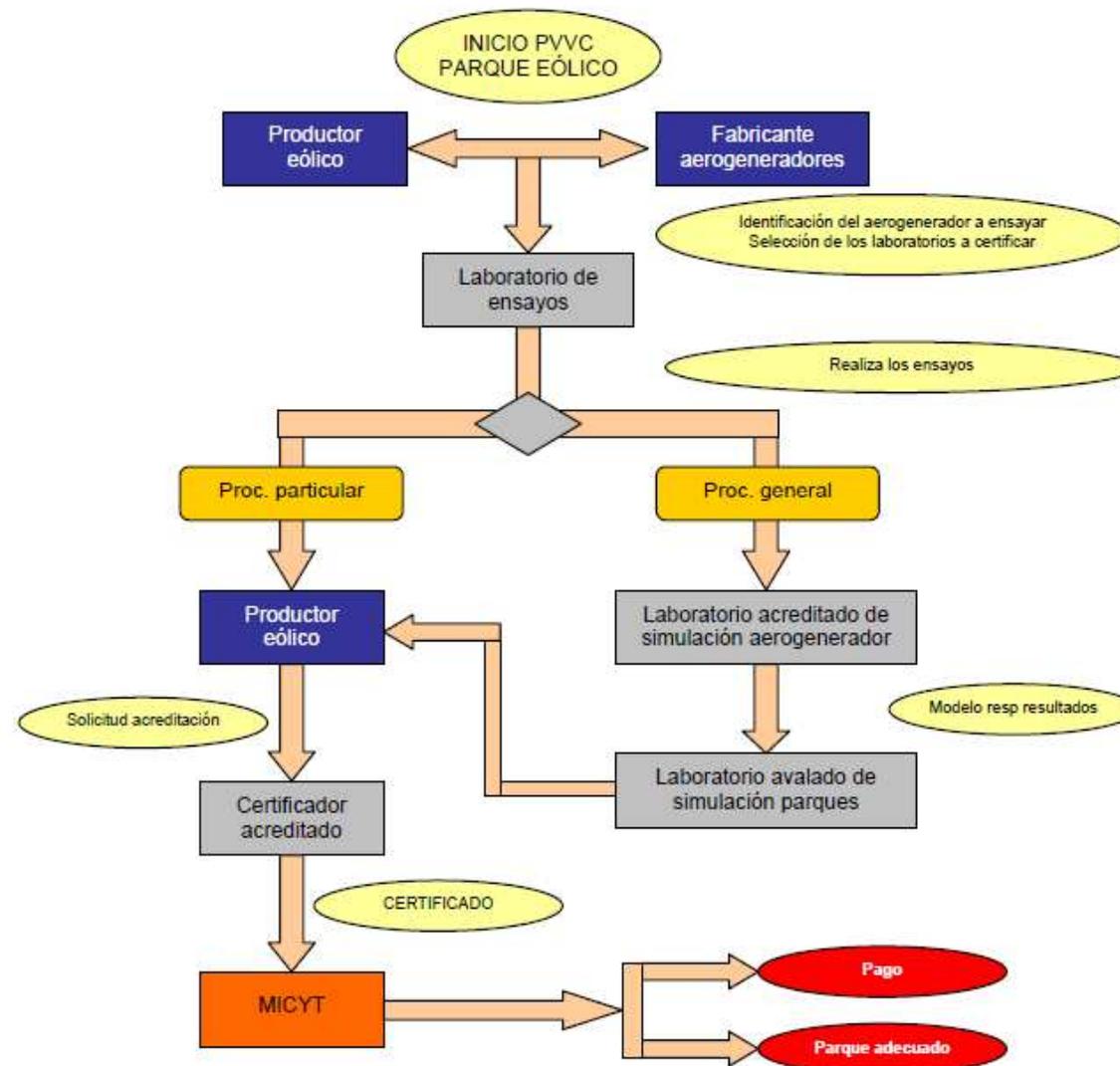
- ▶ Procedimiento de Operación (en España) se indica a este respecto: “*Las instalaciones de generación no deben desconectar como consecuencia de los huecos de tensión asociados a cortocircuitos correctamente despejados; se tomarán, por lo tanto, las medidas de diseño y/o control necesarias en éstas (y todos sus componentes) para que soporten sin desconexión huecos de tensión trifásicos, bifásicos o monofásicos, en el punto de conexión a la red de transporte*”, es decir, no deben desconectar en la zona gris de la Figura



Curva tensión-tiempo admisible¹ en el punto de conexión.

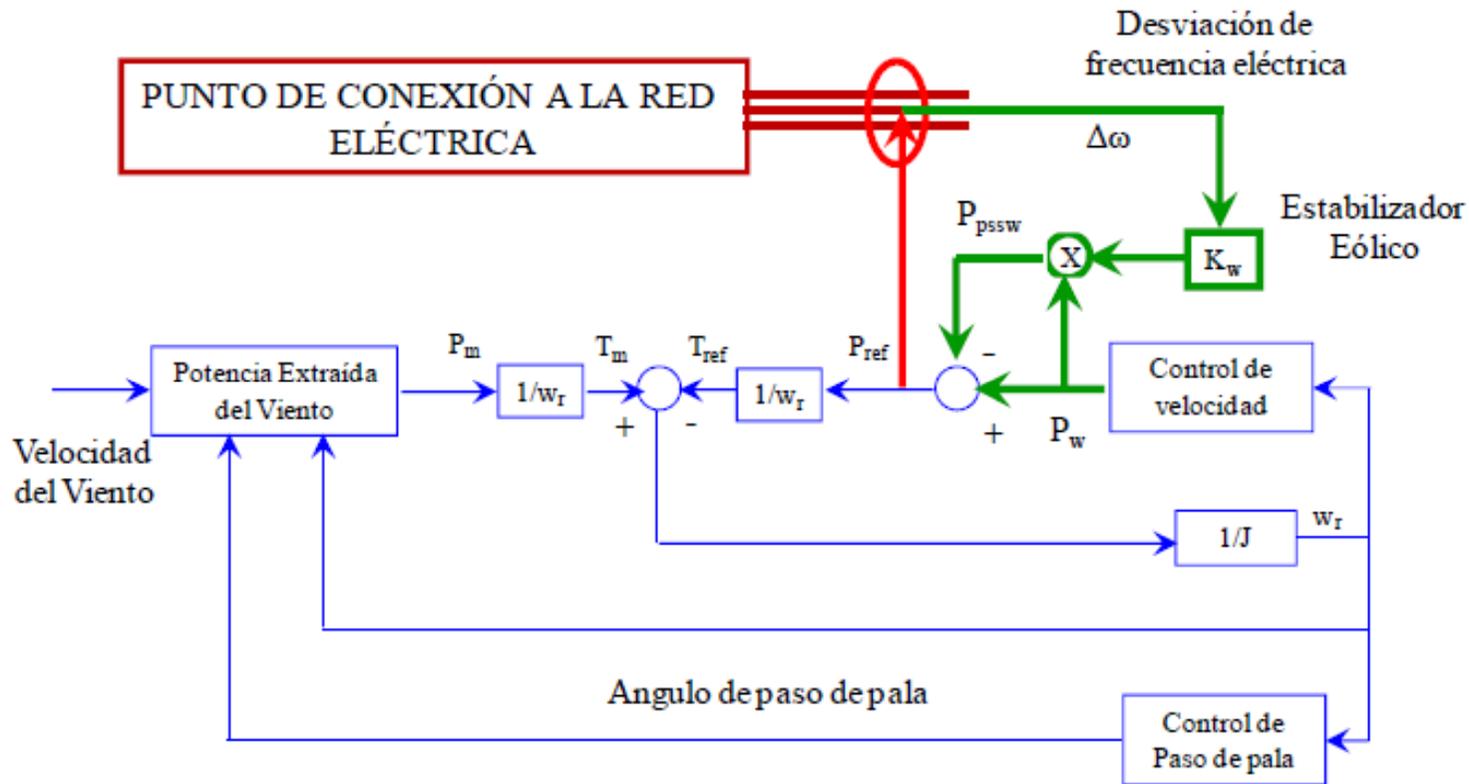


Procedimiento de verificación, validación y certificación (PVVC)



Sinopsis del procedimiento de verificación, validación y certificación del PO 12.3.

Estabilidad y Amortiguamiento de Oscilaciones en SEP con conexión de Aerogeneradores



Modelo de control del aerogenerador.

CONCLUSIONES

- ❑ La Política para un Planeamiento energético integral a largo plazo en el país debe definirse en base a una estrategia sustentada en tres pilares* :
 - ▶ *el consumo de cantidades crecientes de energías renovables convencionales y no convencionales y limpias, cuyos recursos existentes sean abundantes;*
 - ▶ *la institucionalización de la eficiencia y ahorro energético en el país ;*
 - ▶ *y la seguridad energética.*

- ❑ La Eficiencia Energética es una estrategia ganadora .Se pueden alcanzar en el país varios objetivos simultáneamente , particularmente en el sector eléctrico :
 - ▶ *Suficiencia de generación*
 - ▶ *Reducción de la contaminación ambiental*
 - ▶ *Mejora del presupuesto público, por menores subsidios explícitos e implícitos en los precios de la electricidad*
 - ▶ *Mayor Competitividad*

* J.E. Luyo , "Lineamientos de Política Energética en el Perú" ,Lima julio 2009 .

CONCLUSIONES

- ❑ La Matriz Eléctrica Objetivo (MEO) puede ser una herramienta importante para el proceso de planificación .
 - ❑ Lograr una MEO con atributos de sostenibilidad técnica, económica, de respeto al medio ambiente y atención a la demanda social , dependerá mucho de las políticas y estrategias adoptadas con visión de largo plazo.
 - ❑ El Perú , a partir de la década de 2020 , para sostener la tasa de crecimiento promedio de la economía de la última década , requerirá *duplicar* la capacidad de generación eléctrica (que debe incluir un mínimo del 30% de reserva) *cada década* .
 - ❑ La década del 2020 presenta grandes retos en el Sector Eléctrico , tanto para satisfacer el crecimiento elevado de la demanda de energía y potencia eléctrica, como por el necesario desarrollo de los recursos energéticos renovables y agotables del país para la producción eléctrica que requerirá de inversiones del orden de los \$2,000 *millones de dólares anuales* durante la década cuyas decisiones se deben adoptar en la presente .
- 

CONCLUSIONES

- ❑ Existe una magnitud de recursos energéticos renovables en el país que se podrían utilizar para ir satisfaciendo la demanda eléctrica creciente en el largo plazo ; debiéndose tener en cuenta que : para cubrir la *base de la demanda* , los recursos hídricos de la Amazonía son los más adaptables , mientras que los recursos RNC y los recursos no renovables (como el gas natural) complementariamente cubrirían la *demanda media y punta y la reserva* .
 - ❑ El desarrollo e incorporación de los grandes proyectos hidro-eléctricos en la Amazonía (como el complejo hidroeléctrico del Pongo de Manseriche-Marañón) , hacia el 2030 podrían cubrir *el 40%* de la matriz eléctrica y *más del 30%* de la capacidad instalada , posibilitando *además la exportación* .
 - ❑ Considerando experiencias exitosas de países vecinos de *participación de sus empresas estatales y también del sector privado nacional* en proyectos energéticos en sus propios países como a nivel internacional , resulta de importancia *la mayor participación de la empresa nacional*, que ha sido escasa a partir de la década de 1990.
- 

CONCLUSIONES

- ▶ **La incorporación de las ER convencionales como las no- convencionales en la Matriz Eléctrica peruana, además de ir resolviendo los requerimientos de mayor demanda eléctrica para sostener el crecimiento económico y el desarrollo social del país para las próximas décadas; también representa un reto para la ingeniería peruana en la solución de nuevos problemas técnicos (incorporación de nuevas tecnologías en ER, grandes CHes en la cuenca amazónica, etc.) así como de I&D . Es una nueva fuente de trabajo calificado en todas las fases de ingeniería desde los estudios de prefactibilidad hasta la operación y mantenimiento .**
 - ▶ **En el caso particular de los aerogeneradores , su conexión al SEIN requiere resolver problemas de operatividad que son diferentes a los de los generadores convencionales, debido a la variabilidad de la potencia del viento como de su respuesta frente a fallas en el SEP al que está conectado. Es pues, una nueva tarea para los ingenieros peruanos.**
 - ▶ **Es de urgencia la oficialización de los Procedimientos y Requisitos de Operación de los Parques Aerogeneradores; así como las Normas de Verificación, Validación y Certificación de nuevos aerogeneradores .**
- 