

REVISTA

SODEBRAS

SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 7 - Nº 79 - Julho / 2012
ISSN - 1809-3957

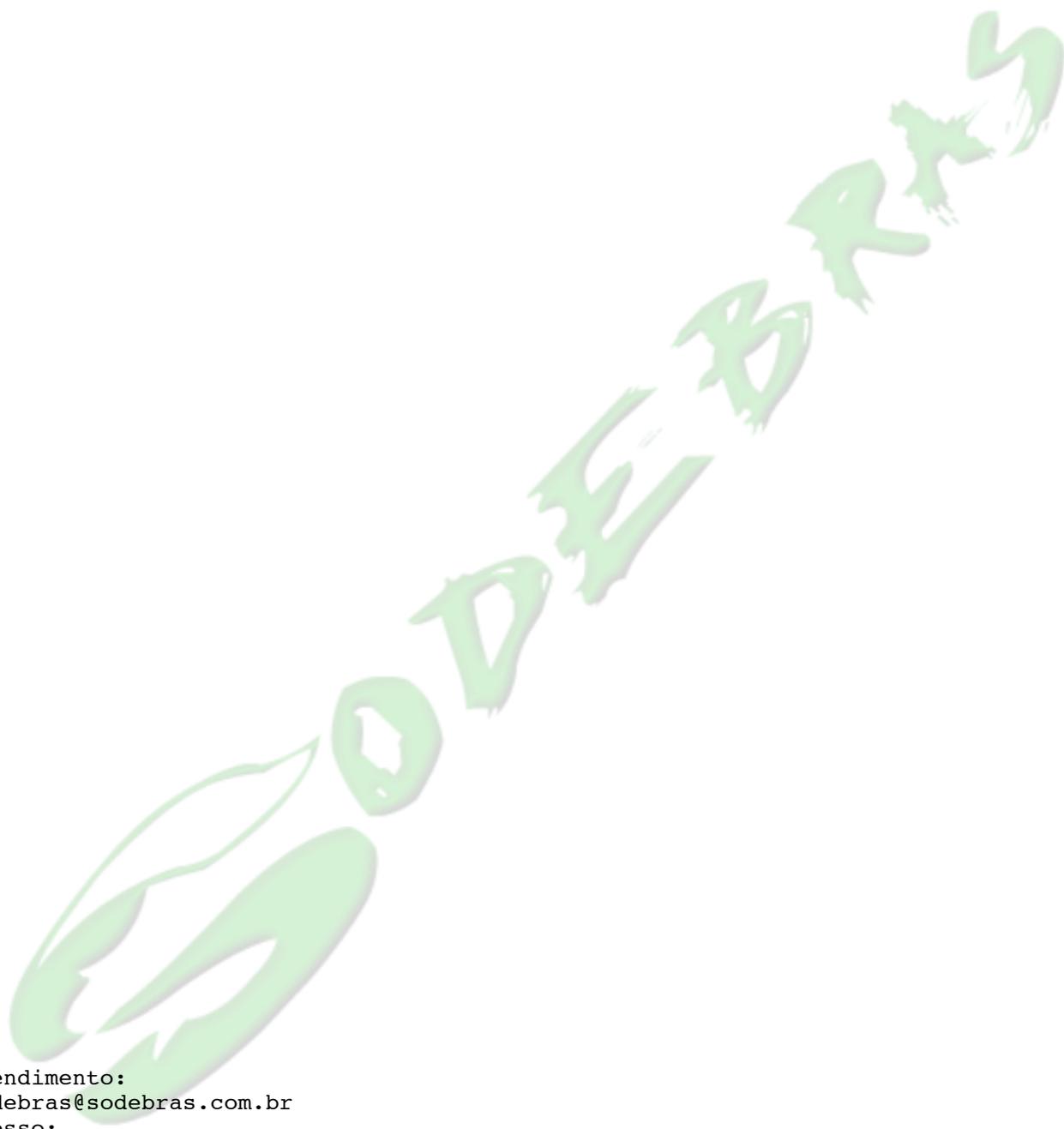
ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

MANTENIMIENTO ÓPTIMO DE LA TURBINA EÓLICA CLASE II – Dr. di Prátula, Horacio.R., Ing. Alberto C. Russin
Mg. Eduardo Guillermo, Ing. Andrea Rossi, Ing. Rodolfo Bocero, Diego Petris, Dr. Alfredo Juan 03

DESARROLLO DE UNA MATRIZ FODA COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE UN PROYECTO EÓLICO
EN EL SUR ESTE BONAERENSE - D. Petris, di Prátula, H.R., E. Guillermo, A. Rossi, R. Bocero, A. Juan 13

O ENEM, O SAERJ, A REORIENTAÇÃO CURRICULAR E O ENSINO DE ESTATÍSTICA NO ESTADO DO RIO
DE JANEIRO - Paulo Apolinário Nogueira, Eline Das Flores Victor, Cristina Novikoff 20



Atendimento:
sodebras@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>



MANTENIMIENTO ÓPTIMO DE LA TURBINA EÓLICA CLASE II

ISSN 1809-3957

Dr. di Prátula, Horacio.R., Ing. Alberto C. Russin UTN – FRBB - GESE , ESOA-INUN Mg. Eduardo Guillermo, Ing. Andrea Rossi, Ing. Rodolfo Bocero, Diego Petris UTN-FRBB-GESE Dr. Alfredo Juan – UNS

Síntesis—El análisis del recurso eólico en la región costera y sur de la Provincia de Buenos Aires y las normas de diseño de las actuales turbinas eólicas anticipan el uso de turbinas clase II en los parques eólicos a instalarse en esa región. Esta afirmación se basa en publicaciones existentes, tales como la efectuada por los mismos investigadores [1] demostrando que el viento medio oscila entre 8 y 8.50 m/s con turbulencia baja. Al mismo tiempo los parámetros de diseño básicos de las turbinas eólicas que cumplen con la normativa IEC 61400-1 [2] prueban que la turbina clase II es la indicada para la zona mencionada.

Los siguientes aspectos son fundamentales para optimizar la generación del parque eólico: Buenos recursos eólicos en la zona elegida, buena distribución de los equipos en el terreno, la elección de la turbina eólica, la operación y el mantenimiento y el buen intercambio de energía con la red eléctrica.

En este trabajo se analizará la elección de la turbina y su mantenimiento orientado a optimizar la generación de un parque eólico en la zona mencionada. Se tomarán en cuenta para la investigación los parámetros básicos según la norma mencionada, las experiencias de los parques eólicos del sector y los recursos eólicos existentes.

Palabras claves-- **Mantenimiento - energía eólica - turbinas clase II - Diseño Turbinas Eólicas - Recursos Eólicos - norma IEC 61400-1.**

I. NOMENCLATURA

Se mencionarán en la introducción si es necesario.

II. INTRODUCCIÓN

La zona mencionada en la síntesis del presente trabajo incluye la costa Atlántica Bonaerense y el sur de la Provincia tal cual ha sido marcada en el mapa que se observa en la Fig. 1.

En la zona de Bahía Blanca y la costa Atlántica hasta Carmen de Patagones presentan características eólicas similares.

Las Turbinas eólicas existentes se encuentran en la zona de Punta Alta, Claromecó, Tandil, Mayor Buratovich y Darregueira. Todas ellas son de la década del noventa y por lo tanto de palas fijas, efecto Stall y generadores de inducción con caja de engranajes y conexión a red eléctrica directa.

Como antecedente de la intensidad de los vientos en la zona mencionada anteriormente se puede citar la norma para construcción de líneas eléctricas en la Provincia de Buenos Aires tanto de la AEA¹ y la DPE² dónde se

prevén vientos extremos hasta 36.11 (m/s) ó 41.66 m/s (130 a 150 km/h).

Las mediciones de viento efectuadas en la zona corroboran los valores que se observan en la Fig. 1.

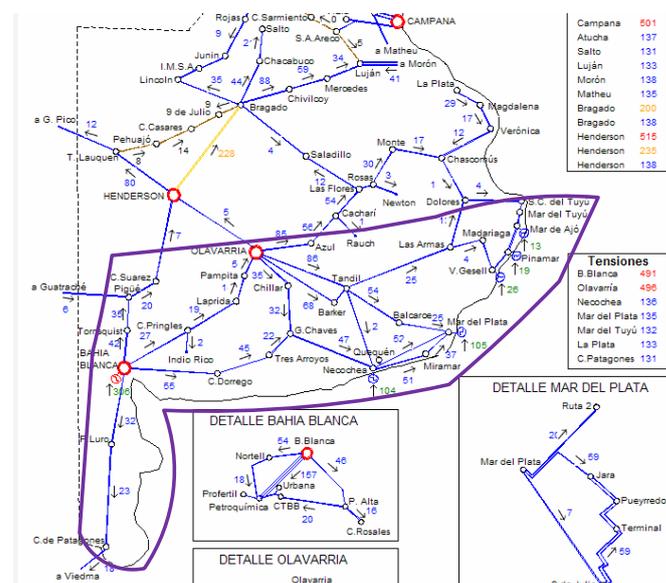


Fig. 1. Zona Atlántica y Sur de la Provincia de Buenos Aires. Los valores medios se estimaron a 80 mts. de altura.

En los parques eólicos existentes (Turbinas de 40-45 mts de altura) se han medido a 40 mts. de altura valores medios del orden de 7.5-8.1 m/s.

El grupo de investigación GESE (Grupo de Estudios Sobre Energía) de la Universidad Tecnológica Nacional ha medido en la ubicación: 38°44'15.06"S y 62°26'57.96"O (Fig. 2) los valores que se leen en la Tabla I siendo la distribución de probabilidad de Weibull la exhibida en la Fig. 3 (se analizó la distribución de la velocidad del viento como lo especifica la norma IEC 61400-1).

TABLA I

Intensidad de viento a 80 mts de altura en la zona	
Velocidad Media m/s	8,4
Velocidad Mediana m/s	7,6
Factor de Capacidad	0.4

¹ AEA (Asociación Electrotécnica Argentina)
Volume 7 – n. 79 – Julho/2012

² DPE (Dirección Provincial de la Energía – Provincia de Buenos Aires)

V_{hub} (m/s) (viento promedio máx a la altura del eje de la turbina)	23.63
---	--------------

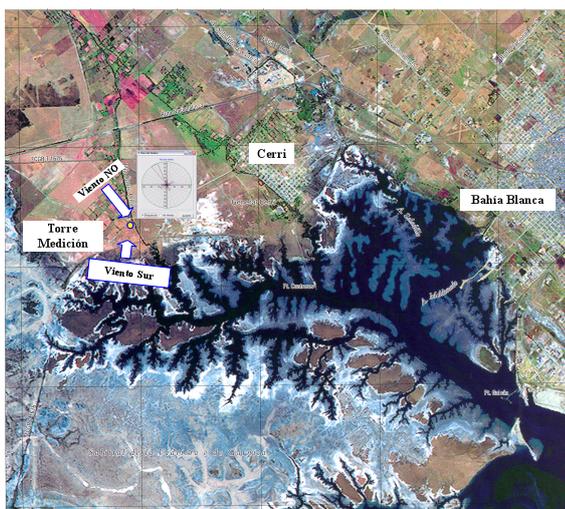


Fig. 2. Mapa de ubicación torre de medición y rosa de los vientos

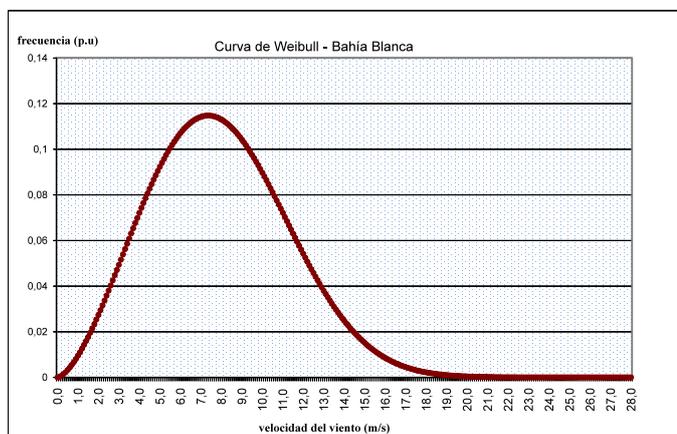


Fig. 3. Curva de Distribución de Weibull

III. ELECCIÓN DE LA CLASE DE TURBINA

De acuerdo a la normativa IEC 61400-1 y a las referencias [3,4] la siguiente Tabla incluida en la norma orienta a la elección del tipo de turbina.

TABLA II
Parámetros de la Velocidad del Viento para Clases de Turbinas Eólicas

Parámetros	clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase S
Velocidad del vto de referencia en m/s	50,00	42,50	37,50	30,00	Valores dados por el diseñador
velocidad anual del viento promedio m/s	10,00	8,50	7,50	6,00	
intensidad turbulencia Alta a 15 m/s I ₁₅	0,18	0,18	0,18	0,18	
intensidad turbulencia Baja a 15 m/s I ₁₅	0,16	0,16	0,16	0,18	
velocidad de ráfaga de viento de retorno 50 años: 1,4*V _{ref}	70,00	59,50	52,50	42,00	
velocidad de ráfaga de viento de retorno 1 año: 1,05*V _{ref}	52,50	44,63	39,38	31,50	

La velocidad del viento de referencia es la velocidad máxima en 10' con periodo de retorno de 50 años a la

altura del rotor. La velocidad promedio anual a la altura del centro del rotor y la intensidad de viento I_{15} corresponde a la intensidad de turbulencia a 15 m/s. Se utiliza un parámetro de valor 3 para el cálculo de desviación estándar en el modelo normal de turbulencia. La Tabla II nos permite verificar que el valor de viento promedio anual a 80 mts. decidiría la elección de una turbina Clase II (viento medio 8.4 m/s – según la escala de Beaufort 4 – tipo moderado), mientras que el viento de referencia (según DPE y AEA) no supera los 36.11 m/s lo que nos sitúa en Turbinas Clase III.

Puede considerarse la rugosidad clase 1 Long. m 0.03 Energía 52 % [5].

La turbulencia [6..8] cuyo modelado es complejo nos muestra un comportamiento aleatorio del viento siendo importante (según la norma IEC 61400-1) la intensidad, el espectro y las escalas de longitud.

Para la clase de turbina según la norma la tabla III y curvas (Figs. 4,5) siguientes determinan las condiciones de turbulencia.

TABLA III
Parámetros básicos para Clases de Turbinas Eólicas

Parámetros	clase I	Clase II	Clase III	Clase S
Velocidad del vto de referencia en m/s	50,00	42,50	37,50	Valores dados por el diseñador
A I _{ref} (-)	0,16	0,16	0,16	
B I _{ref} (-)	0,14	0,14	0,14	
C I _{ref} (-)	0,12	0,12	0,12	

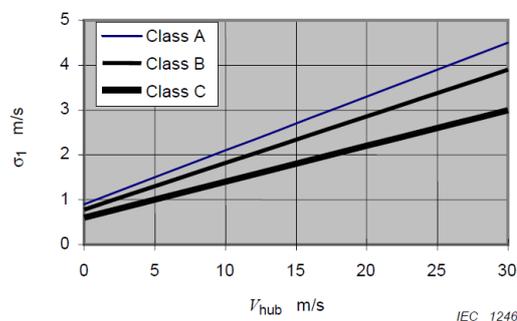


Fig. 4 Desvío estándar de turbulencia para modelo de turbulencia normal (61400-1 © IEC:2005)

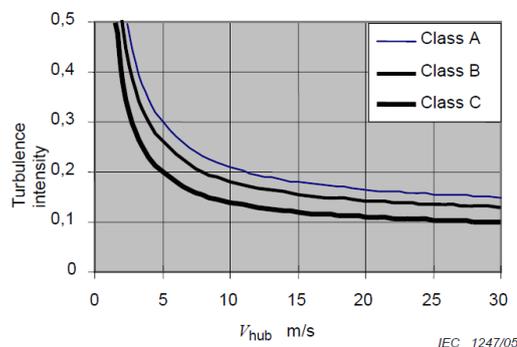


Fig. 5 Intensidad de turbulencia para modelo de turbulencia normal (61400-1 © IEC:2005)

Siendo V_{hub} el valor promedio en 10' de la velocidad del viento a la altura del centro del rotor (26.9 m/s en nuestro caso).
 Para modelos de velocidad de viento extremo el desvío estándar será: $0.11 * V_{hub}$ ($0.11 \times 23.63 \text{ m/s} = 2.6$) y para el modelo de extrema turbulencia el desvío estándar según la I_{ref} tendrá un valor entre 3.73 (A) y 2.8 (C). El viento de ráfaga según las ecuaciones dadas por normas sería de 10.34 m/s.
 Considerando los valores la turbina clase II parece adecuada a la zona.

IV. MANTENIMIENTO DE LA TURBINA ELEGIDA

Optimizar el mantenimiento significa equilibrar los requerimientos del mantenimiento, esto es, económicos, técnicos, métodos de diagnóstico, ambientales etc. y adecuar los recursos necesarios para llevarlo a cabo: operarios, equipamiento, facilidades, disponibilidad de repuestos, stock, etc [9]. Trabajos a la intemperie con condiciones climatológicas adversas (nieve, viento, frio, etc).

La optimización en nuestro País pasa inicialmente por ubicarnos geográficamente, económicamente y en la accesibilidad y factibilidad de operación, equipamiento y obtención de repuestos.

Bahía Blanca es apta geográficamente para el transporte de equipos y repuestos tanto en forma marítima (posee puerto) como terrestre (numerosas rutas de comunicación). Es sede de una Universidad y una Facultad Tecnológica (ambas con carreras técnicas) y la Base Naval Puerto Belgrano.

Es importante establecer la incidencia de cada falla en una turbina eólica, con caja de engranajes (Fig. 6) [10] o sin ella (los cambios tecnológicos apuntan a una turbina eólica sin multiplicador) (Fig.7).

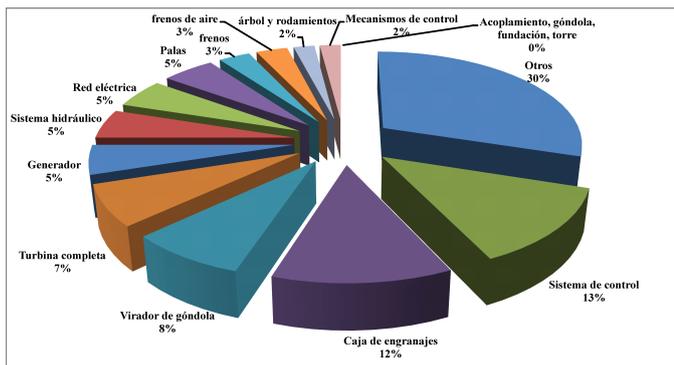


Fig. 6 Incidencia porcentual de fallas en turbinas eólicas con caja de engranajes [10]

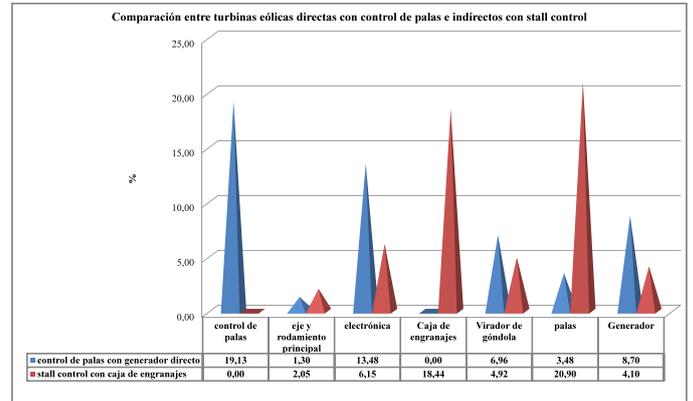


Fig. 7a Comparación fallas con y sin caja de engranajes [10]

Se observa un aumento de 4.1 % (con caja de engranajes) a 8.7 % (directos) en fallas de generadores (con el agravante de que existe una importante diferencia de tamaño y de procedimiento en caso de reparación). Los sistemas de control y la caja de engranajes son dispositivos muy vulnerables.

La comparación entre experiencias de Países con alto desarrollo eólico muestra algunas diferencias entre las estadísticas de falla (Fig. 8).

La figura 9 exhibe las estadísticas que comparan fallas en subsistemas de las turbinas eólicas de velocidad variable con velocidad fija.

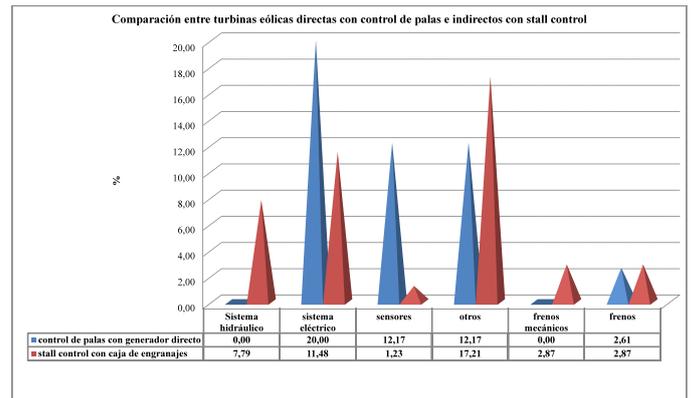


Fig. 7b Comparación fallas con y sin caja de engranajes [10]

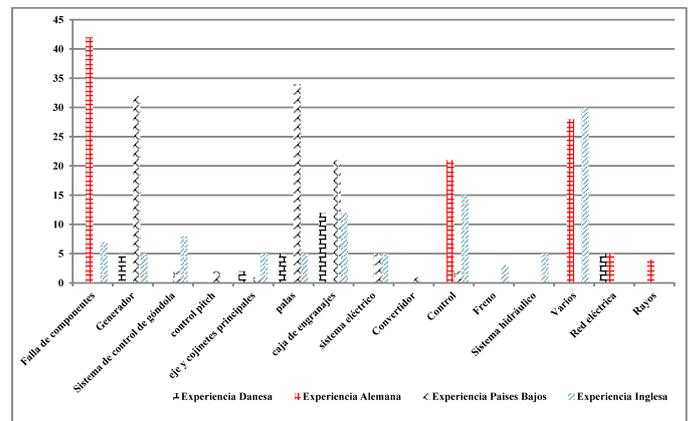


Fig. 8 Estadística de comparación entre diferentes experiencias [9]

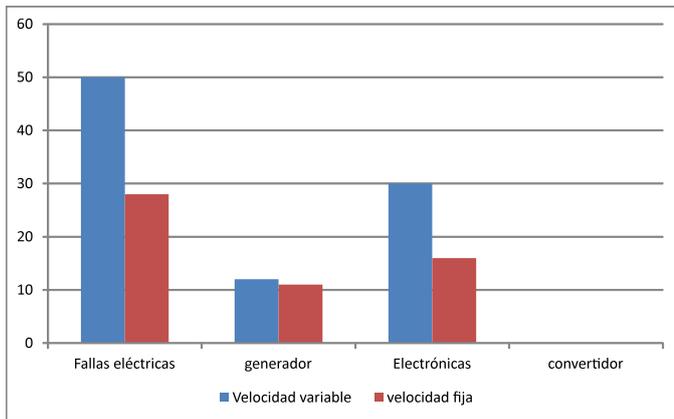


Fig. 9a Comparación subsistema eléctrico [11]

En síntesis: Puede destacarse que el sistema de control de palas (19.13%) tiene mayor incidencia de fallas que la caja de engranajes (18.44%) pero las palas muestran mayor cantidad de fallas en las palas fijas (20.9%) que en las palas controladas (3.48%). Al mismo tiempo el sistema eléctrico muestra mayor incidencia en los directos (20%) que en los indirectos (11.48%) como también los sensores (12.17% a 1.28%).

La evaluación que debe realizarse debe enfocarse a los grandes sistemas: Generadores, palas, tren de propulsión, caja de engranajes y sistemas eléctrico. Debe decidirse si es importante un mantenimiento predictivo o preventivo y si debe considerarse vital el monitoreo de partes.

En el caso de fallas del generador se dividen según su porcentaje de incidencia en: aislación 34%, rodamientos 41%, rotor 9% y otras 14%. El costo del rodamiento es bajo y su recambio es rápido con reducido lucro cesante, pero el costo de una reparación eléctrica es elevado y con alto lucro cesante, sin considerar el hecho de que en ambas fallas el generador debe desmontarse y bajarse para su reparación. Estos aspectos económicos deben evaluarse para prestar atención al diagnóstico por fallas eléctricas y rodamientos de las máquinas eléctricas.

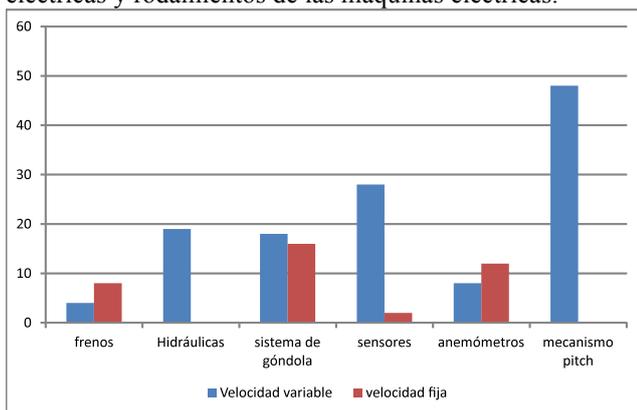


Fig. 9b Subsistema de control [11]

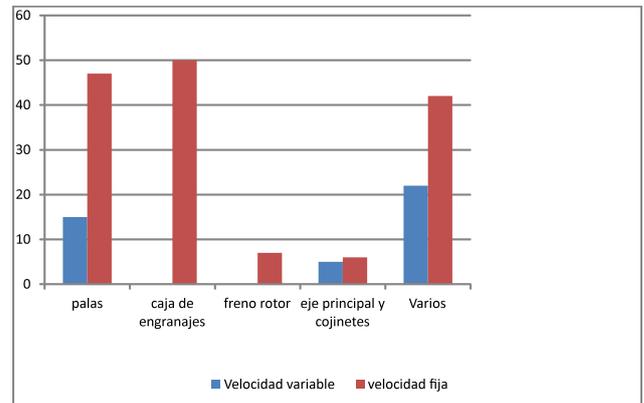


Fig. 9c Subsistema del tren de propulsión y varios [11]

Considerando que el concepto de optimización del mantenimiento pasa por establecer una estrategia que establezca el mejor equilibrio entre los costos de mantenimiento directo (mano de obra, materiales, administración, etc) y las consecuencias por no realizar el mantenimiento requerido (pérdidas de producción, roturas, daños, mano de obra ociosa, etc) (Fig. 10) sin considerar otros factores como salud, seguridad y medio ambiente, se analizan los costos de las consecuencias de fallas y se comparan con los costos de mantenimiento directo.

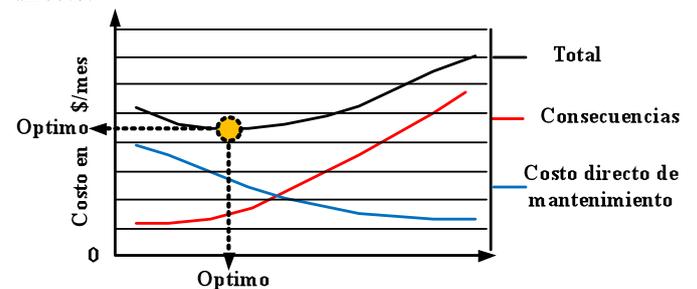


Fig. 10 Concepto de optimización de mantenimiento [9]

Si analizamos las consecuencias de las fallas, tomaremos en cuenta el costo del material, costo de transporte, carga y descarga, grúa, número de personas diarias, mano de obra, impuestos, el lucro cesante por el tiempo de pérdida de producción considerando el factor de capacidad de la zona.

Debe considerarse la diferencia con Países de gran desarrollo eólico y sistemas de mantenimiento organizado para la atención de grandes parques eólicos fundamentalmente en transporte, repuestos y alquiler de grúas. Estos aspectos sumados a las fallas catastróficas orientan el stock y la periodicidad del mantenimiento en dichos subsistemas.

Las fallas catastróficas de mayor importancia son:

1. Falla de palas (5 %)
2. Falla de rodamiento principal (1.3 % a 2.05 %)
3. Falla de eje principal
4. Falla de caja de engranaje (18.44 %)
5. Falla de generador (4.1 % a 8.7 % - según la turbina)

A. Mantenimiento Predictivo de las Palas

El material de construcción de las palas de la turbina eólica es de fibra de vidrio. Las fallas que pueden presentarse están relacionadas a la absorción de humedad, fatiga, ráfagas de viento o impacto de rayos [12..18].

El mantenimiento regular aconseja repasar el par de aprieta de palas, pieza de prolongación (extender) y buje cada 500 hs de servicio o 12 meses, Realizar una inspección visual en cilindros hidráulicos para puntas de pala, punta de pala, verificación de impactos de rayos, eje de las punta de pala y soldaduras en soportes del extender.

La inspección visual consiste en verificar la presencia de fisuras y percibir sonidos. Comprobar el funcionamiento de los sensores por sobre-velocidad se efectúa con vientos entre 8-12 m/s.

Es comprensible pensar que una falla catastrófica en las palas de la turbina eólica producirá daños graves en la misma. El porcentaje de fallas en las palas es aproximadamente del 5% del total de fallas de la turbina. Debemos considerar que el tamaño de las palas ha aumentado considerablemente en los últimos 25 años. La figura muestra esta tendencia (Fig. 11) [17]:

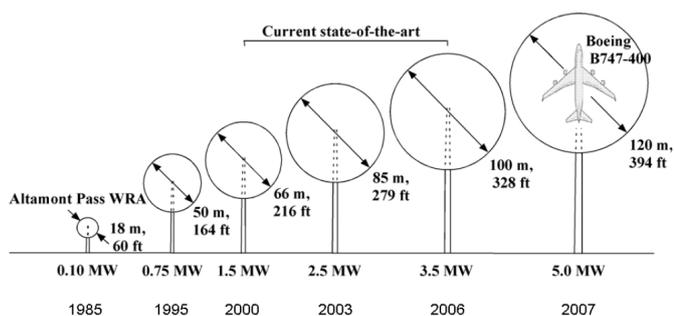


Fig. 11 Tendencia en tamaño de las palas de las turbinas eólicas

Este incremento y la seriedad de un problema en las palas lo ubica como una falla verdaderamente perjudicial y que merecen la aplicación de un mantenimiento predictivo con diagnóstico de fallas on-line por monitoreo.

- Para detectar fallas por esfuerzos pueden usarse sensores de vibración, diagnóstico por acústica y técnicas de propiedades termo-elásticas.
- Para verificar el desempeño la técnica de procesos paramétricos.
- La inspección visual sin embargo, se requiere como complemento ideal del estado de la pala.

Las palas requieren un buen sistema de sensores insertados y conocimiento del personal de la resistencia de los componentes de la estructura así puede efectuarse una predicción cuantitativa del tiempo de vida que le queda [19].

Es importante considerar que en la evaluación confluirán diferentes disciplinas.

La emisión acústica parece ser un método excelente para monitorear las palas, se basa en la condición de que el material sujeto a fatiga y esfuerzo emite ondas de sonidos como resultado de los pequeños pero bruscos cambios de

la estructura. La proporción y propiedades de estas emisiones pueden usarse como indicadores de crecimiento del daño.

La emisión acústica es una técnica diferente del uso de sensores para medir deformación los cuales detectan desplazamientos locales. Es importante destacar que las señales de ondas llevan la energía de la fuente a través del material. La dispersión causada por diferentes frecuencias componentes y velocidades atenúa las señales reduciendo la amplitud de la señal. Incluso las frecuencias mayores se atenuarán más rápidamente. Estos aspectos complican el diagnóstico.

Sin embargo, la iniciación (indicación primaria de falla) de posibles fallas se detecta a través de ondas de sonido en un amplio rango de frecuencias. En compuestos poliméricos los componentes de alta frecuencia de las ondas de fatiga se atenúan rápidamente, mientras que las de baja frecuencia viajan más. Sin embargo, estas ondas son más afectadas por el ruido y esto perturba las ondas por daño por stress. Por esta razón los sensores se seleccionan para frecuencias de 150 kHz que resulta un buen compromiso entre rango sensible a la emisión acústica y la reducción del ruido.

Las señales se analizan por: amplitud de señal (dB), duración (μ s), Energía, número de señales que cruzan el cero, tiempo de crecimiento, conteo de picos, frecuencia media de portación (kHz), Energía verdadera (J) y momento espectral. Un ejemplo se reproduce a continuación [19]:

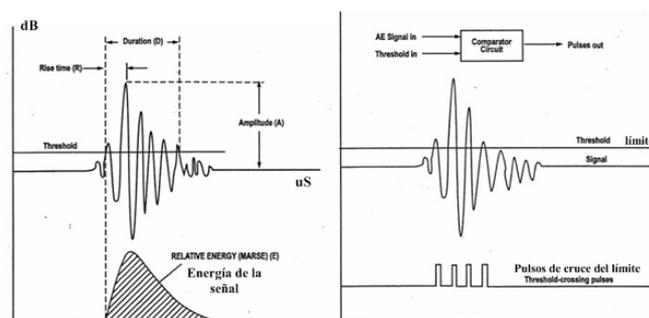


Fig. 12 Se exhibe una emisión acústica violenta y el principio de detección de la señal de emisión acústica y el conteo de pasos por cero

En un testeo de la pala (25 mts) (excesivo pero utilizado como prueba) para obtener pruebas acerca de la iniciación del proceso de daño y su progreso.

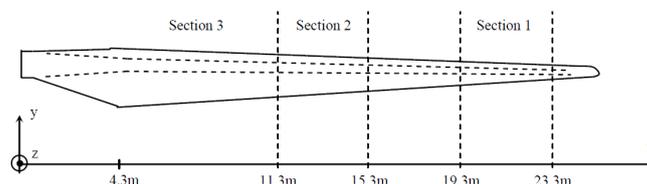


Fig. 13 Ubicación de los sensores sobre la cuerda de la pala

Los datos recolectados (ver figura 13) en la pala pueden sintetizarse del siguiente modo: En el test 1, los sensores se colocaron en la primera sección para prevenir la deflexión en dirección al flap (23.3 m), en la zona entre la sección dos y uno para detectar la actividad entre la parte dos y la zona del flap (19.30 m), se colocaron

sensores a 20.1 m en el área de predicción de falla para comparar el nivel de actividad con el sensor a 19.3 m. En el test 2, también se colocaron sensores en las zonas dos y tres, contribuyendo a los cálculos de predicción de falla alrededor de la zona de los 11.5 mts y 12 mts. (Cuerda de la pala).

La alta actividad de eventos se situó a lo largo de la última zona de la cuerda y se detectó la zona dos como cercana a la falla. El sensor uno se posiciona cerca de la zona de falla predicha (11.3 m). El sensor dos se coloca cerca de la zona de carga (15.3 m). La falla ocurre cerca del sensor dos, pero en el momento de la falla hay un repentino “brinco” (explosión de energía) en la zona del sensor uno cuando la pala mostraba una recuperación elástica del material (Fig. 14).

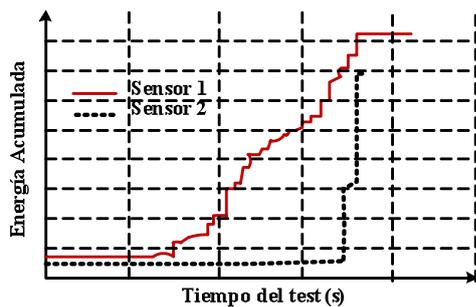


Fig. 14 Se muestran sobre los ejes de ordenadas la energía acumulada y en la abscisa el tiempo de ensayo para los sensores 1 y 2 [18]

En general las conclusiones sobre el tema indican la conveniencia del monitoreo de palas en los parques eólicos en el mar y no en tierra y el uso como método de diagnóstico de fallas que finalmente culminarán en falla de la emisión acústica. Sin embargo, éste método es uno de los varios métodos que pueden usarse, la fibra óptica puede también considerarse promisorio.

El aumento de tamaño de las palas incrementará el daño que la falla provocará y por lo tanto se acrecentará la conveniencia económica del monitoreo para predecirla.

B. Mantenimiento Predictivo del tren de propulsión y Caja de Engranajes

Si identificamos las frecuencias del multiplicador y el generador (para equipos con caja de engranajes) podremos identificar las frecuencias de falla.

Los sensores se colocarán según la figura 15 [19]:

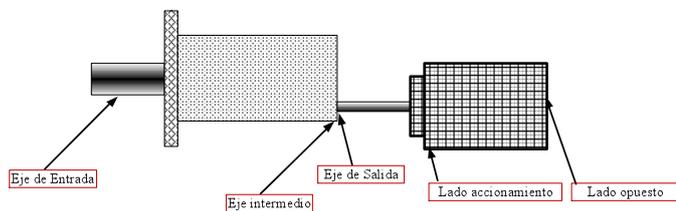


Fig. 15 ubicación de los sensores de vibración en el tren de propulsión

Las variables a medir son:

- 10-1600 Hz – Valor global de RMS velocidad de vibración en mm/s (determina las tendencias del nivel de vibración en cada punto de medida)

- 0-200 Hz – Velocidad de vibración en mm/s – espectro de vibración de baja frecuencia (nos permite visualizar los niveles de vibración de frecuencias menores: frecuencia de giro y las primeras frecuencias de engrane con sus armónicas)
- 0-2000 Hz – velocidad de vibración en mm/s – espectro de vibración de alta frecuencia (nos permite visualizar los niveles de vibración de frecuencias mayores: frecuencias de engrane y las de rodamiento con sus armónicas)
- 0-5000 Hz – aceleración de vibración en g’s – espectro de demodulación. (nos permite visualizar las frecuencias de fallo de rodamientos en sus primeras fases)

La configuración de la medición se observa en la Tabla III:

TABLA III CONFIGURACIÓN DE MEDICIÓN

configuración	Valor global RMS	Espectro baja frecuencia	Espectro alta frecuencia	Espectro de demodulación
Magnitud	Velocidad de vibración	Velocidad de vibración	Velocidad de vibración	Aceleración de vibración
Unidad	mm/s	mm/s	mm/s	g’s
Rango de medida	0-1600 Hz	0-200 Hz	0-2000 Hz	0-5000 Hz
Nº líneas de resolución	1600 líneas	400 líneas	800 líneas	3200-6400 líneas
Tipo ventana	Hanning	Hanning	Hanning	Hanning
Filtro pasa alto	10 Hz	0.5 Hz	2 Hz	10 Hz

Y los puntos de medida se observan en la Tabla IV:

TABLA IV UBICACIÓN DE LOS SENSORES

Punto de medida	Axial (A)	Horizontal (H)	Vertical (V)
E (eje de entrada multiplicadora)	X	X	
I (eje intermedio multiplicadora)	X	X	
S (eje salida multiplicadora)	X	X	X
LA (lado accionamiento del generador)	X	X	X
LOA (lado opuesto de accionamiento genrador)	X	X	X

Los puntos S, LA y LOA se toman triaxiales por ser de mayor velocidad.

Las frecuencias de diagnóstico están relacionadas a las frecuencias de giro:

1. En la multiplicadora con las frecuencias de giro: f_1 , f_2 y f_3 (tres etapas de multiplicación). Generalmente entre 0.5 y 30 Hz
2. Frecuencias de engrane: f_{z1} , f_{z2} y f_{z3} surgiendo los valores del producto del número de dientes de cada etapa de multiplicación por la frecuencia de giro de cada etapa: entre 30-800 Hz
3. Frecuencias de rodamientos:
 - a. Frecuencia de fallo pista exterior

$$BPFO = \frac{N}{2} * (1 - \cos \frac{D}{d})$$

- b. Frecuencia de fallo pista interior

$$BPF = \frac{N}{2} * 1 + \cos \alpha \frac{D}{d} \quad (2)$$

c. Frecuencia de giro de la bola o rodillo

$$BSF = 2 BS = N * \frac{DD}{dd} \cos \alpha \quad (3)$$

d. Frecuencia de fallo de una jaula de ardilla

$$FTF = \frac{N}{2} \cos \alpha \frac{D}{d} \quad (4)$$

Dónde:

d = diámetro del rodillo o bola

D = diámetro de paso del rodamiento (de centro a centro de

rodillo o bola)

α = ángulo de contacto

n = número de rodillos o bolas

N = frecuencia de giro del eje (Hz)

La frecuencia de giro del generador generalmente será entre 15 y 30 Hz.

La frecuencia del paso de polos será en la máquina de inducción: $(N_s - N_r) p = s \times N_s \times p$ donde N_s es la velocidad de rotación sincrónica, N_r la velocidad rotórica, s el resbalamiento y p los pares de polos.

La frecuencia del paso de barras es igual al número de barras por la velocidad rotórica.

Las bajas frecuencias de falla corresponden a fallas de desequilibrio estático y dinámico, excentricidad (frecuencia de giro).

La flexión en el eje corresponde a frecuencias entre la de giro y el doble. La desalineación presenta frecuencias entre 2 y 3 veces la de giro.

Las fallas en barras del generador pueden obtenerse con la ecuación [20]:

$$f_v = s \frac{v \oplus}{\psi \otimes} \frac{(1-s)}{p} \quad (5)$$

Debe considerarse que la extracción de un aerogenerador o la caja multiplicadora requieren de una grúa de buen porte cuyo costo es elevado.

Como vimos al comienzo del ítem IV, la grúa, carga y descarga, traslado y lucro cesante son importantes económicamente para establecer el periodo óptimo de mantenimiento.

El monitoreo permite un mantenimiento predictivo que evita muchas fallas. Sin embargo el cambio de rodamientos del generador no se puede llevar a cabo en la góndola por lo que la presencia de la grúa es inevitable pero el costo del recambio no es elevado y el lucro cesante es mínimo comparado con una falla eléctrica (eso es en turbinas con caja de engranaje).

Es evidente que para prolongar la vida útil de la máquina eléctrica y caja multiplicadora se requiere atención permanente a los indicios de falla, ya que una vez que la falla se manifiesta las consecuencias tienen un costo importante.

C. Mantenimiento del Generador

La detección de fallas en las máquinas eléctricas requiere más de un método de diagnóstico. En el caso de fallas rotóricas podemos citar:

- Pruebas estáticas (medición de inductancia para diferentes posiciones rotóricas).
- Análisis de vibraciones.
- Análisis del espectro de frecuencia de la corriente.
- Análisis de la potencia instantánea.
- Análisis de la cupla instantánea.
- Análisis del campo magnético.
- Termografía.

La detección de fallas estáticas requiere:

- Medición de resistencia de aislación
- Índice de relación absorbida y de polarización
- Espectro de frecuencia de corriente
- Termografía
- Ensayos de sobretensión AC y DC
- Ensayo de resistencia con DC
- Ensayo de tensión escalón DC
- Ensayo de tangente de delta, pérdidas, tip-up y capacidad
- Ensayo de descargas parciales
- Ensayo de ondas de choque

Es normal recurrir a más de uno de los métodos citados para detectar fallas incipientes. La predicción requiere corroboración para mayor seguridad.

Las publicaciones recientes proponen nuevos métodos de diagnóstico u optimizan los existentes, esto exhibe la inquietud de investigadores y especialistas por mejorar la predicción dando la pauta que el problema aún no ha sido totalmente resuelto.

El uso de computadoras y sistemas en línea para obtener un seguimiento permanente del estado de la MEI necesita un lenguaje matemático diferente para expresar las ecuaciones del modelo y el desarrollo de algoritmos de diagnóstico y métodos de medición adecuados.

La investigación que propone el grupo GESE (UTN FRBB) se basa en un lenguaje matricial para expresar la estructura y geometría (circuitos eléctrico y magnético) de la máquina eléctrica desarrollando un método experimental y un algoritmo de diagnóstico cuyo basamento es la medición de flujo disperso sobre la máquina.

Utiliza el álgebra matricial como una herramienta poderosa para la sistematización de cálculos laboriosos, porque provee una notación compacta para almacenar información y describir relaciones complicadas.

El método aplicado a fallas rotóricas ha sido publicado en diferentes congresos y revistas y fue desarrollado por el Dr. di Prátula en su tesis doctoral [21,22].

Las nuevas investigaciones han enfocado el diagnóstico a la determinación de autovalores y autovectores de la matriz de flujo medidas sobre la máquina eléctrica (ME) sin dejar de lado la determinación del espectro de frecuencia como originalmente fuera propuesto.

En un análisis de la ME observamos que el flujo total surge de la acción de dos fuerzas magnetomotrices debido a la corriente que circula por sus bobinados (bobinado estático y rotórico) uno estacionario y otro móvil sobre el circuito magnético principal de conversión donde la permeancia del entrehierro es de mayor importancia por la elevada concentración de energía magnética.

Las fallas mecánicas “modulan” la permeancia de entrehierro estableciendo una frecuencia característica propia del tipo de falla. Esta modulación determina la aparición de frecuencias características en el flujo total que permiten el diagnóstico de falla y por lo tanto en el flujo disperso [23].

El diagnóstico de fallas rotóricas está asociado a variaciones de los autovalores (enlaces energéticos entre el circuito eléctrico (bobinados) y el magnético) y los autovectores (frecuencia y sentido de los enlaces) y el espectro de frecuencia presente en el flujo de dispersión.

En el caso del estator el análisis algebraico (autovalores y autovectores) y el espectro de frecuencia del flujo disperso permiten detectar fallas incipientes como cortocircuitos entre espiras de una misma bobina.

Como ejemplo analizamos una falla que produce una excentricidad dinámica y una estática que modifica la estructura magnética de la MEI. Esta variación afecta la permeancia del circuito magnético (entrehierro) y por consiguiente la inductancia, el flujo concatenado por los bobinados y por lo tanto la fuerza electromotriz inducida, la corriente de excitación, la potencia reactiva y el flujo. Efectuando una simulación para una MEI de 4 polos y 36 ranuras y dando valores a “ δ_s ” (16% de δ_0) y “ δ_d ” (16% de δ_0) y una frecuencia generada por una función random de 24,25 a 29,7 Hz. el flujo concatenado variará y contendrá las frecuencias de falla, un análisis de sus matrices columnas mostrará un espectro con componentes “ $p \pm 1$ ” [24]. Esto significa que esas componentes producen fuerzas magnetomotrices de frecuencia diferente por poseer diferente cantidad de polos magnéticos.

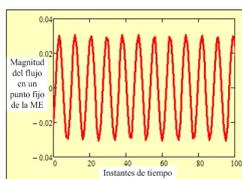


Fig. 16 Valores medidos a lo largo de su perímetro y axial

El flujo perimetral se mide con sensores colocados sobre la máquina perimetralmente (toma varias ranuras) y el axial colocando sensores axialmente (toma una ranura a lo largo).

Dado lo explicado en el párrafo anterior un espectro de la corriente mostraría frecuencias “ $f \pm f_r$ ” [25] y por lo tanto el espectro de frecuencias del flujo también. Las figuras a continuación exhibirán las frecuencias de fallas y su análisis muestra que:

- Las frecuencias de falla (generadas por la función random) aparecieron como frecuencias en las bandas laterales de la frecuencia fundamental en el espectro de flujo.
- Como resultado del espectro de una columna se detecta la existencia de una armónica $p-1$ y una $p+1$ [24,26]. En el ejemplo se tomaron solo 18 ranuras o sea dos polos magnéticos por lo que si tomamos las 36 ranuras sería “ $2 - 1 = 1$ par de polos magnéticos” y “ $2 + 1 = 3$ pares de polos magnéticos”.
- El resultado observado en la figura que se incluye a continuación es muy interesante porque se ha arribado con simplicidad a la demostración de que si la MEI tuviera un solo par de polos la falla produciría un flujo magnético homopolar el cual puede o no fluir [22,26].

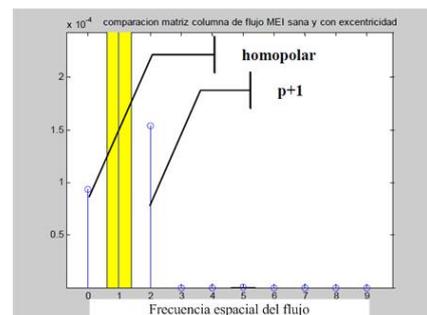


Fig. 17 Espectro de una columna de la matriz de flujo sana y con excentricidad

Las ecuaciones serían:

$$\Phi_{SF P \Phi}_{mm} = \left(\chi \times \omega t \right) * \left(\chi \times \omega t \right) \left(\right) \square \square \mathbb{R}^{\chi \times \omega t_n} \quad (6)$$

Dónde:

χ = Lugares geométricos en la ME a lo largo de su perímetro, t_n = instantes de tiempo, P = permeancia del circuito magnético y SF = suma de las fuerzas magnetomotrices actuantes.

Toda falla que afecte al circuito magnético (fundamentalmente entrehierro) producirá una modulación de la permeancia. Toda falla que afecte el bobinado afectará las fuerzas magnetomotrices. Esto permitirá tanto la detección de la falla por variación de las propiedades algebraicas de la matriz como por el espectro del flujo.

D. Transformador elevador de conexión a la red eléctrica

El transporte de la energía desde los turbogeneradores eólicos hasta las redes eléctricas requiere del uso de transformadores en más de una etapa considerando el tamaño de la granja eólica.

Las fallas en los transformadores según las estadísticas son debidas a esfuerzos eléctricos, térmicos y mecánicos, donde la vida de la máquina está supeditada a su aislamiento. Controles adecuados realizados en lapsos regulares o bien en ocasiones especiales, resulta un medio adecuado de incrementar la confiabilidad de los transformadores, haciendo posible descubrir la existencia

de fallas incipientes. No existe un único control o ensayo que permita obtener un diagnóstico del estado del aislamiento, salvo en casos muy puntuales, se requiere implementar una serie de diferentes controles no necesariamente programados [27].

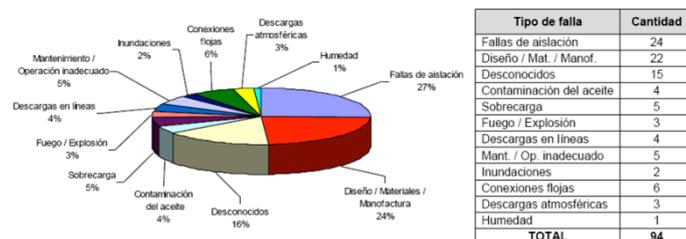


Fig. 18 Causales de falla en transformadores de potencia (94) entre 97-2001, difundida por IMIA W.G.

La edad media para los transformadores es de 25 a 30 años. Durante su vida útil se encuentran sometido a diversas condiciones de carga y solicitaciones transitorias que influyen en el grado de envejecimiento de los aislantes.

El estudio realizado sobre 94 transformadores > 25 kVA en todo el mundo muestra claramente que la falla de aislamiento (bobinados y bushing) es la más frecuente.

Los ensayos frecuentes para diagnóstico de fallas son:

- Resistencia de bobinados
- Ensayo de respuesta en frecuencia
- Índice de polarización, tensión de reabsorción y constante de tiempo
- Tangente de delta y pérdidas dieléctricas
- Descargas parciales
- Ensayo de aceite
 - Rigidez dieléctrica ASTM D 1816
 - Tensión interfacial ASTM D 2285
 - Número de neutralización (acidez orgánica). ASTM D 974
 - Contenido de inhibidor de oxidación (para aceites inhibidos IEC 60666
 - Contaminación con agua ASTM D 1533
 - Gases disueltos IEC60567/60599
 - Color, aspecto ASTM D 1500 VDE 0370
 - Punto de inflamación ASTM D 93
 - Punto de escurrimiento ASTM D 97
 - Lodos IEC 60422
 - Densidad ASTM D 1298
 - Viscosidad ASTM D 445
 - Tangente delta, factor de disipación dieléctrica ASTM D 927
 - Contaminantes sólidos: Método para conteo y tamaño ISO 4406 / IEC 60970
 - Residuo carbonoso ASTM D 189
 - Cenizas ASTM D 482
- Método de monitoreo acústico (se combina con las descargas parciales) (Con la técnica de diagnóstico ultrasónica es posible estimar la ubicación aproximada de arcos y descargas parciales dentro del tanque del transformador)

V. CONCLUSIÓN

En el trabajo se ha presentado un análisis de los recursos eólicos en la zona y aquellos aspectos que relacionan las clases de turbinas mencionadas en la norma IEC 61400-1 indicando la conveniencia de elegir turbinas clase II para instalar en la zona.

Se instala a continuación una discusión basada en estadísticas y condiciones para optimizar el mantenimiento de las turbinas eólicas basado en el menor costo que surge de confrontar consecuencias con el costo directo de mantenimiento.

En la parte final se especifican los subsistemas de mayor efecto sobre la curva de consecuencias y que influyen directamente en la elección adecuada de los intervalos de inspección, mantenimiento y reemplazo de piezas.

Finalmente se presentan una serie de métodos de diagnóstico a los subsistemas que comprometen la turbina y agravan el costo de las consecuencias (por su costo y lucro cesante).

Dentro de los métodos de diagnóstico se propone un método de diagnóstico que detecta el 100% de las fallas y puede utilizarse on-line.

Como pauta final consideramos que la estadística de fallas requiere de una revisión dado que en nuestro País se han detectado problemas de palas, caja de engranaje y generadores, siendo la falla en el sistema de conexión (transformadores) menor.

Deben analizarse los vientos y su turbulencia (palas, rotor y caja de engranaje). Esto nos lleva a que en nuestro País deben considerarse las zonas de generación, ya que en algunos lugares (sur del País) el viento es óptimo pero también requiere de mayor robustez de los equipos mientras que en el Sur y costa Bonaerense es de menor caudal pero menos turbulento (como se vió).

Por lo tanto, el estudio de vientos también es importante para recabar información orientadora hacia la posible falla del equipo.

VI. REFERENCIAS

Trabajos Personales presentados en Congresos (Publicados):

- [1] di Prátula, H.R. – Alfredo Juan – Diego Petris – E.Guillermo – A. Rossi – R. Bocero, " Optimización en la elección del aerogenerador y del método de evaluación de vientos en la región de Bahía Blanca," *ASADES 09 – Publicado en los anales del congreso - ISSN 0329-5184 – Tema 6. trabajo n° 209 - pag 06.209-06.218.*
- [10] di Prátula, H.R., Alberto C. Russin, Eduardo Guillermo, Andrea Rossi, Rodolfo Bocero, Alfredo Juan "Mantenimiento Predictivo de Turbinas Eólicas", Instituto Universitario Naval, Primeras Jornadas de Ciencia y Tecnología, 26-27/08/2010.

Normas Internacionales:

- [2] (61400-1 © IEC:2005), Wind turbines –Part 1: Design requirements, Third edition 2005-08.

Publicaciones –Trabajos de Investigación – Tesis Doctorales:

- [3] Francisco M. Gonzalez-Longatt, Reporte de investigación 2008-01 "Normativa IEC 61400-1: Modelado del viento en condiciones normales"
- [4] Marxo A. Borja, "Consideraciones básicas en la selección de aerogeneradores para el Corredor Eólico del Istmo de

- Tehuantepec”, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Centro Regional de Tecnología Eólica CERTE, México.
- [5] Raúl R. Prando, Tecnología y Servicios Industriales, módulo cuarto curso 2010 de energía eólica, Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UdelaR, Uruguay
- [6] Francisco M. González-Longatt, Omar Amaya, Marco Cooz, Luis Duran César Peraza, Francisco J. Arteaga, Carlos Villanueva, “Modelación y simulación de la velocidad de viento por medio de una formulación estocástica”, Revista Ingeniería UC. Vol. 14, No 3, 7-15, 2007
- [7] Ackermann T. (2005): “Wind Power in Power Systems”, Royal Institute of Technology, Editorial John Wiley and Sons, Ltd, Stockholm, Sweden.
- [8] Burton T, Sharpe D, Jenkins N. y Bossanyi E. (2001): “Wind Energy Handbook”, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England.
- [9] Jesse Agwandas Andrawus, “Maintenance Optimization for Wind Turbines”, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Abril 2008, The Robert Gordon University Aberdeen Scottish University.
- [11] Michael R. Wilkinson, Fabio Spinato and Peter J. Tavner, “Condition Monitoring of Generators & Other Subassemblies in Wind Turbine Drive Trains”, SDEMPED Cracow Poland 9/2007.
- [12] Anindya Ghoshal et al "Structural health monitoring techniques for wind turbine blades" Elsevier Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 85 (2000) 309-324
- [13] MLS Electrosystem "Predictive Maintenance for Blade Pitch Systems" NREL Wind Turbine Workshop Albuquerque NM17 and 18 september 2007
- [14] "How hard can it be to pitch a wind turbine blade?" Morten Hartvig Hansen Wind Energy Department Risø, DTU
- [15] K.Suresh Babu et al "The Material Selection for Typical Wind Turbine Blades using a MADM Approachs Analysis of Blades" MCDM 2006, Chania, Greece, June 19-23, 2006
- [16] R. Raišutis et al "The review of non-destructive testing techniques suitable for inspection of the wind turbine blades" ISSN 1392-2114 ULTRAGARSAS (ULTRASOUND), Vol.63, No.1, 2008
- [17] Mark A. Rumsey et al "Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades" Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185
- [18] K. K. Borum et al "Condition Monitoring of Wind Turbine Blades" Proceedings of the 27th Risø International Symposium on Materials Science: Polymer Composite Materials for Wind Power Turbines Editors: H. Lilholt, B. Madsen, T.L. Andersen, L.P. Mikkelsen, A. Thygesen Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2006
- [19] Virginia Gíao Pajuelo - Profesor Antonio Ordoñez "Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo de averías en el tren de potencia de un aerogenerador" Universidad de Sevilla - año 2006
- [20] I. Morita, “Air Gap Flux Analysis for Cage Rotor Diagnosis,” Electrical Engineering in Japan, Vol. 112, No.3, 1992 Translated from Denki Gakkai Ronbunshi, Vol. 111-D, .7, pp. 578-587. July 1991
- [21] H. R. di Prátula, “Una vision holística de la máquina de inducción y análisis estructural en falla con medición no invasiva de las variables eléctricas y magnéticas,” XRPIC Conference –October 8-10, San Nicolás Argentina. Vol. 1, pp.165-170, 2003
- [22] di Prátula, Horacio R. “Diagnóstico predictivo de fallas rotóricas en máquinas eléctricas de inducción” - I.S.S.N: 1852-7205 - INUN – Instituto Universitario Naval - SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN - Edificio Libertad • Piso 10 • Avda. Comodoro Py 2055 (1104) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - http://www.ara.mil.ar/revista_investigacion.asp - – Año 1 ° 1 – 2009 –Revista Electrónica Instituto Universitario Naval SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN pg 79-89
- [23] H. Henao et al, “A Frequency-Domain Detection of Stator Winding Faults in Induction Machines Using an External Flux Sensor,” Industry Applications, IEEE Transactions on Vol. 39, Issue: 5, pp.1272- 1279, Sept.-Oct. 2003
- [24] M. Fernandez Cabanas et al., “Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas,” Ed. Marcombo-ABB Service, 1998 ISBN 84-267-1166-9
- [25] R. R. Schoen et al, "An unsupervised, on-line system for induction motor fault detection using stator current monitoring," Industry Applications, IEEE Transactions, Vol. 31, Issue: 6, pp.1280-1286, Nov/Dec 1995
- [26] D. G. Dorrell et al, “Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors,” Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 33, Issue: 1, pp. 24-34, Jan/Feb 1997
- Ing. Esteban Lantos “Mantenimiento proactivo de transformadores”,

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



Revista SODEBRAS –Volume 7 – Nº 79 – JULHO/ 2012
**DESARROLLO DE UNA MATRIZ FODA COMO HERRAMIENTA
DE ANÁLISIS DE UN PROYECTO EÓLICO EN EL SUR ESTE
BONAERENSE**

ISSN 1809-3957

D. Petris, di Prátula, H.R., E. Guillermo, A. Rossi, R. Bocero, UTN-FRBB-GESE¹ A. Juan – UNS²

Síntesis-- Un proyecto de energía eólica requiere el análisis de múltiples variables que revisten diferente importancia y sensibilidad ante su variación. El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) describe las variables y discierne la importancia de cada una de ellas desde un análisis cualitativo, traza un mapa de sus comportamientos determinando fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas en relación al proyecto. Es una herramienta sencilla y práctica para determinar estrategias en la búsqueda de un futuro deseable. Si bien se aplica principalmente en gestión de las organizaciones analizando factores internos y externos resulta también aplicable a todo tipo de proyecto técnico con determinadas y particulares dimensiones de análisis. Su implementación puede considerarse una herramienta útil para analizar el futuro desarrollo eólico en la zona sur este bonaerense. Permite analizar las características particulares del proyecto en función de las variables que influyen en la instalación de una granja eólica y evaluarlas en un cuadro de doble entrada donde éstas se cruzan para su análisis.

En el presente trabajo se enfocan los recursos eólicos, el sistema eléctrico y la geografía regional como también la elección técnica del aerogenerador y otras variables relacionadas con la tarifa, las leyes, los accesos (caminos, vías navegables, etc), el impacto social, la necesidad regional, etc.

En síntesis, el estudio permitirá realizar un enfoque rápido de todos los aspectos importantes de los proyectos eólicos a instalar en esta zona considerando desde el recurso y el análisis tecnológico hasta los aspectos económicos, la operación de proyectos y el mantenimiento del parque.

Palabras claves-- Análisis FODA - Energía Eólica - Granja Eólica -Recursos Eólicos - Norma IEC 61400-1.

I. NOMENCLATURA

Se mencionarán en la introducción si es necesario.

II. INTRODUCCIÓN

Muchos factores han influido notablemente en la conciencia de los gobiernos, de las personas y de las empresas sobre la importancia del abastecimiento de energía en cuanto a su cantidad pero en particular en cuanto a su disponibilidad en el tiempo. Los antecedentes de este recorrido podríamos decir que queda centrado en términos históricos desde los finales del siglo XX, y más acentuadamente a partir de lo que se llamó “la crisis del petróleo” en la década de los años ‘70.

Desde entonces y en mayor o menor medida se han intensificado las búsquedas de otras fuentes de energía fuera de las convencionales que han sido en petróleo y sus derivados o la energía hidroeléctrica y en menor

medida, por lo menos para nuestro país, la energía atómica. Este proceso de búsqueda y desarrollo de nuevas fuentes de energía estuvo básicamente centrado en aquellos países que, teniendo un importante consumo, no disponen de petróleo y deben importarlo.

El aumento de los precios del petróleo y/o su inestabilidad y en consecuencia sus efectos sobre la economía y sobre la previsibilidad de estas sociedades de fuerte dependencia de petróleo importado los ha llevado a desarrollar tecnológicamente equipos para producir energía utilizando el viento. Estos proyectos de desarrollo eólico han dado una de las respuestas más sólidas en términos de su implementación y varios países en el mundo han comenzado o ya han consolidado un cambio en su matriz energética. Quizá en caso paradigmático de este cambio sea Holanda (Netherlands) que a la actualidad produce casi el 50% de su energía a través de parques eólicos.

A. Energía eólica en la zona de Bahía Blanca

La secretaría de energía de la nación ha elaborado conjuntamente con grupos de investigación y Universidades el SIG eólico que constituye una herramienta para tener una macro-visión de la zona con potencialidad eólica.

La figura 1 muestra los resultados y la primera intuición nos lleva plantear que exista una potencialidad latente que podría transformarse en una fuente importante de energía. Ahora bien: el desarrollo de la industria eólica excede la sola disponibilidad de recursos naturales y más bien una industria es un complejo de recursos aplicados a desarrollar todas las potencialidades.

El presente trabajo analiza la energía eólica desde una visión estratégica que excede la simple explotación de un recurso natural y renovable, que aunque por sí constituye una importante y valorable fuente de desarrollo, no proyecta toda la potencialidad que es posible obtener de la energía eólica como industria y no solo como explotación eólica.

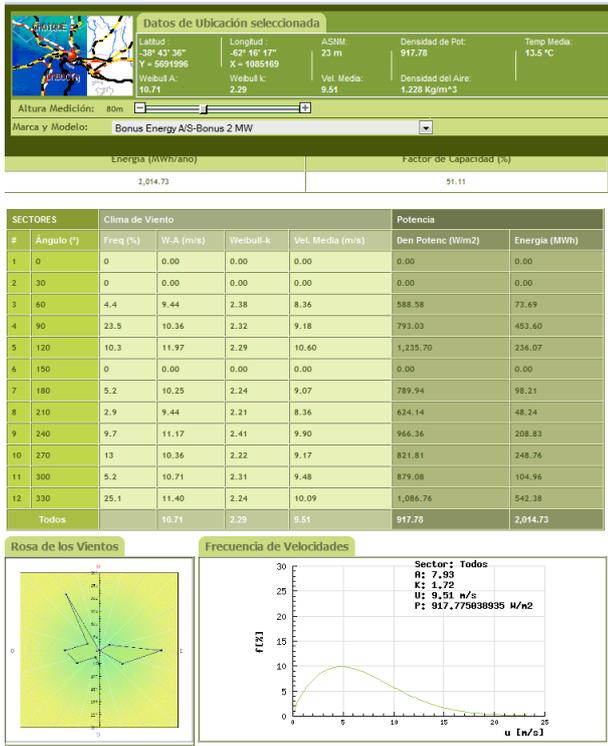


Fig. 1 Datos de la zona dados por el SIG Eólico a 80 mts. V_{medio} de 9.51 m/s

Para esta visión de la energía eólica como industria aplicaremos una análisis de matriz la FODA (o TOWS en inglés) que una de las herramientas de análisis estratégico [1] [2] [3] usadas por empresas que evalúan negocios y proyectos de inversión y en nuestro caso lo aplicaremos al análisis de la región.

La matriz FODA plantea el análisis interno y externo para determinar fortalezas y debilidades (análisis internos o de la región) y oportunidades y amenazas (análisis externo de la región) pudiendo, además, plantear una horizonte temporal en este tipo de análisis [3] [4]. De estos análisis deberán surgir como aportes o propuestas estratégicas según se indica en el cuadro de figura 2.

Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas

Fig. 2 Matriz FODA.

III. DESARROLLO DE LA MATRIZ FODA

A. Fortalezas (Fuerzas de la Región)

1. Recursos eólicos
2. Sistema eléctrico
3. Acceso marítimo y terrestre
4. Disponibilidad de territorio
5. Orografía de la zona
6. Polo de desarrollo industrial
7. Universidades – Investigación.

Sin duda del punto de vista de la generación de energía eólica el recurso eólico es importante. En este sentido la región dispone de un potencial eólico que surge tanto de los estudios del SIG como los efectuados por emprendedores de proyectos y grupos de estudio como el GESE (UTN FRBB).

La figura 3 muestra los resultados de este estudio realizado por los investigadores del GESE. Los niveles medios de viento o sea la velocidad media anual, que son una medida aproximada pero representativa para un análisis de perfil en una evaluación de un proyecto dan cuenta de un valor de 8 a 8.5 m/s.

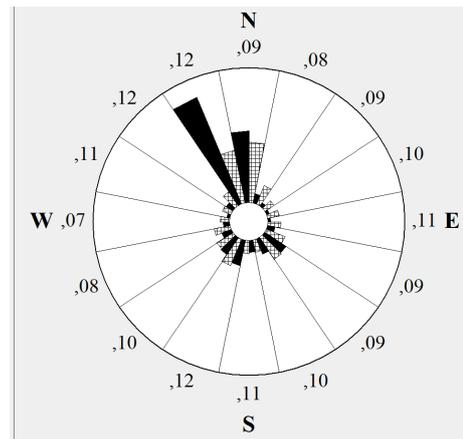


Fig. 3a Rosa de los vientos de la zona

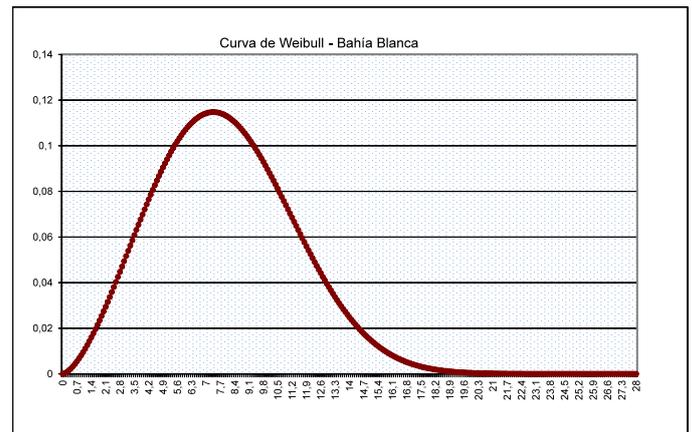


Fig. 3b Curva de Weibull - $k=2.55 - C=8.942$

Estos niveles pueden ser sustentados a nivel de mediciones de tipo micro-localización en la zona de Buratovich según estudios efectuados por la Cooperativa Eléctrica (existe un parque eólico en la zona). La figura 4 muestra el perfil Weibull de dicha zona.

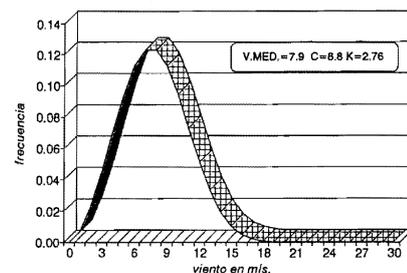


Fig. 4 Curva de Weibull a 43 mts. sitio del parque eólico de Mayor Buratovich

El parque existente desde 1997 hasta la fecha ha permitido evaluar el viento en la zona. Durante la década posterior a la puesta en marcha se presentaron dos eventos extremos y algunos vientos superiores a 15 m/s. Los aspectos relacionados a los eventos y vientos extremos considerando la clase de turbina eólica instalada es importante para determinar la inversión (clase II ó clase III según norma IEC 61400-1). Considerando que existen equipos a 33.1 y 66 kms. con una rosa y características de los vientos similares, sumado a la medición de vientos a 15.8 kms de la ciudad (Fig. 5) se cuenta con información que permite determinar la clase de turbina a instalar.

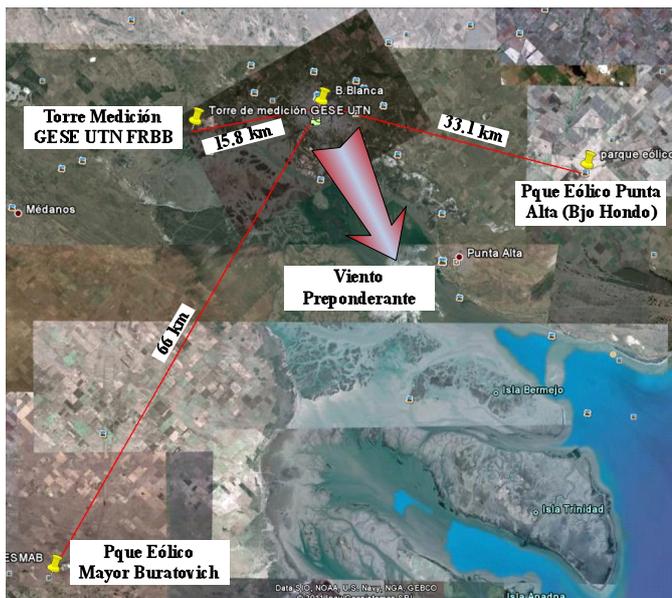


Fig. 5 Zona cercana a Bahía Blanca y sentido viento preponderante (NNO)

Es importante destacar de la generación eólica la falta de dependencia de combustibles no renovables y contaminantes como el petróleo, gas, carbón, etc. y señalarlo como una fortaleza. A los aspectos señalados anteriormente debe agregársele que considerando la declinación comprobada del petróleo en el balance energético conocido como TRE (tasa de retorno energético) lo que deriva en inestabilidad de su precio. Otra fortaleza importante de la región en relación con los proyectos de generación de energía de base eólica es el acceso a la red eléctrica interconectada nacional y por lo tanto inter-conectada con Centrales Térmicas e Hidroeléctricas y Países limítrofes (Fig. 6). Otra fortaleza importante es la disponibilidad y acceso a amplios litorales marítimos que poseen bajo nivel de declive. Actualmente se han expandido fuertemente en los países con más desarrollo de la industria de generación de energía a través del viento la instalación de importantes parques eólicos en el mar aprovechando así no solo los vientos sino también el aumento del potencial aprovechable por la baja fricción (y consecuente disminución del potencial eólico) que ofrece la superficie del agua al viento. A pesar que el viento tiene sentido

preponderante desde tierra al mar, la rugosidad del terreno (pampa con relieve llano). Se considera muy buena la zona para fundar (antiguo lecho marino) disminuyendo costos y dificultades técnicas. Otra fortaleza importante para la región es la infraestructura del puerto de Bahía Blanca cuyas instalaciones permite la carga y descarga (exportación e importación) de materiales y equipos de gran envergadura.

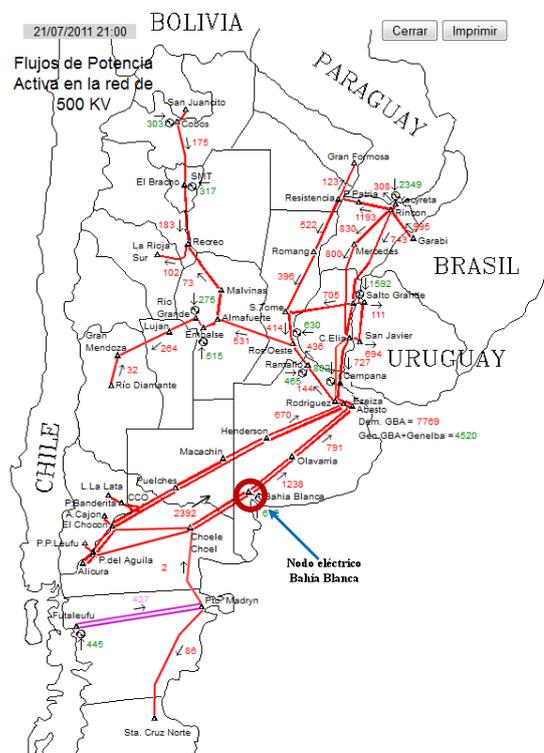


Fig. 6 Nodo Eléctrico Bahía Blanca (500 KV) conectado a Red Eléctrica Nacional

También es importante considerar la infraestructura y las empresas de construcciones industriales y civiles instaladas en Bahía Blanca capaces de ofrecer soporte y servicios para emprendimientos industriales y que se han desarrollado alrededor de un polo industrial petroquímico de envergadura y actuando bajo estándares de calidad, desempeño tecnológico y seguridad de niveles internacionales, muchos de los cuales son compatibles con las necesidades de un parque eólico ya sea en la construcción como en los servicios de operación. Estas situaciones de capacidad logística, infraestructura y recursos humanos dan soporte a una fortaleza que son costos relativos inferiores a los costos que normalmente pueden encontrarse en el sur del país. Por otro lado existe una creciente preocupación por grupos de interés de temas ambientales el impacto ambiental de los proyectos. La zona tiene una vegetación autóctona de baja altura similar a la que se encuentra en el sur del país y una amplia superficie de tierras que han sido desmontadas para la explotación agropecuaria lo cual hace que un proyecto eólico tenga muchas posibilidades de superar los estudios de impacto ambiental que tienen carácter legal (entre ellos el impacto

visual de un parque eólico) y más aún es en sí mismo un impacto ambiental positivo por reducción de CO₂ (Figs. 7 y 8) y el ahorro de petróleo y gas natural. Este aspecto de reducción de CO₂ es muy importante pues puede hacer que un proyecto pueda conseguir financiación a través del mercado de bonos verde (ETS por ejemplo) y, aún más, constituye una poderosa fortaleza pues el mundo empresario más desarrollado está considerando en sus contrataciones la huella del carbono (total de gases efecto invernadero emitidos en forma directa o indirecta por un individuo, organización, evento o producto).

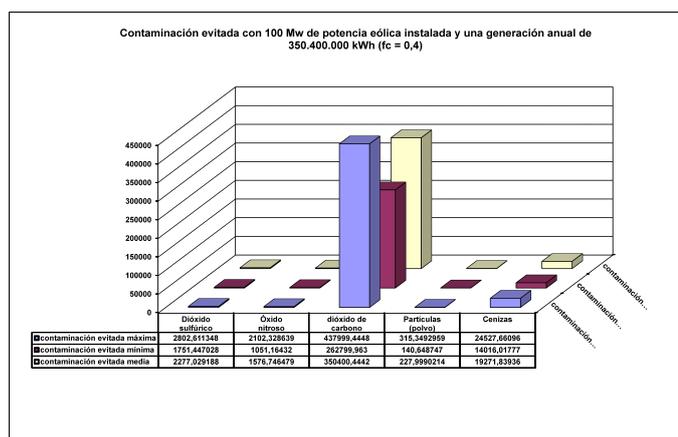


Fig. 7 Contaminación evitada (kg) por un parque eólico de 100 MW (factor de capacidad 0.4)

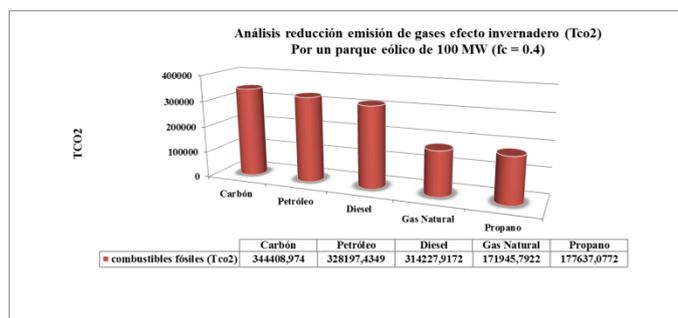


Fig. 8 Reducción de emisión de GEI (TCO₂)

El petróleo ahorrado por un parque eólico de 100 MW de potencia (50 turbinas de 2 MW c/u) con un factor de capacidad de 0.4 sería de 30116.32 Tn/año y de gas natural 33.991.386,17 m³/año.

Bahía Blanca, como ciudad más importante de la región, cuenta también con infraestructura de educación técnica, terciaria y universitaria. En este último caso son dos Universidades con equipamiento y profesionales en condiciones de ofrecer soporte técnico a los emprendimientos de carácter energético basado en el viento (Universidad Nacional del Sur y Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional con especialidades técnicas).

B. Debilidades

1. Certidumbre de recursos eólicos (escasos estudios de varios años continuos)
2. Marco legal y contractual a nivel Nacional y Provincial

3. Conocimiento y compromiso dirigenal respecto de planes estratégicos de desarrollo a largo plazo
4. Adecuada preparación técnica-gerencial acompañada de una infraestructura y conocimientos tecnológicos-comerciales y financieros.
5. Menor factor de capacidad para los proyectos eólicos que la zona patagónica.
6. Dependencia económica de la explotación agropecuaria y fuertes variaciones de la actividad económica.
7. Desacople temporal entre la demanda máxima y la generación de energía de parques eólicos. No se puede administrar la generación.

En el caso de los emprendimientos eólicos un factor crítico es la velocidad del viento y su distribución. La certidumbre sobre este factor constituye un poderoso factor de atracción. Es así que los países más desarrollados en la materia son también los que más desarrollados están en los equipos de medición y en la confección de mapas de velocidades dentro de su geografía. Si bien el SIG ha significado un avance interesante en el análisis de los recursos marcando macro-localizaciones posibles aún requiere ajustes en sus valores. Siempre será necesario la determinación de micro-localizaciones, o, la especificidad de lugar más apropiado. Los estudios detallados de las localizaciones representan una parte muy baja de la inversión de un proyecto y puede constituirse en un poderoso atractivo de los inversores.

La variable más importante no es el costo sino el tiempo de mediciones que en términos prácticos son de un año como mínimo y de cuatro años como óptimo. En este sentido si bien se disponen de varias mediciones llevadas a cabo por empresas en algunos casos o por la Universidades en otros casos (Grupo GESE de la UTN) están limitadas a algunos lugares, que además no necesariamente pueden corresponderse con la micro-localización [2] que pueda darse a un proyecto.

En este sentido se plantea otra debilidad que es el aspecto legal y contractual que debe resolver el inversor para lograr un acuerdo con el poseedor de las tierras (se procede por arrendamiento) ya sea para medir el viento como para instalar el parque y después operarlo. Un marco legal apropiado en este aspecto como en todos los aspectos relacionados con este tipo de inversiones (normativas técnicas, ambientales, organismos de aplicación, etc.) potenciaría el atractivo de la zona como lugar de inversión.

Podemos también encontrar una debilidad en los antecedentes de los sectores dirigentes en temas referidos a la industrialización y desarrollo a través de planes estratégicos lo que dificulta o paraliza la implementación o estabilidad de los planes. Una inversión de un parque eólico o un plan de desarrollo industrial vinculado a la energía eólico es un plan de muchos años que debe competir con otros emprendimientos y economías que llevan la delantera en términos tecnológicos, comerciales y financieros. Estos últimos aspectos (tecnológicos, comerciales y financieros) son fundamentales y la región

ni puede competir y depende solo de atraer empresas que traigan su know-how ya sea para instalar parques o para instalar industrias de aerogeneradores.

Otras de las debilidades, y muy importantes, en términos de la generación de energía por medio de parques eólicos es el desacople temporal entre los horarios picos de demanda y la disponibilidad de energía eólica, es decir no puede regularse, administrarse a voluntad la energía generada y se depende del viento y su comportamiento. Esto sucede por el magro desarrollo eólico en el País que permitiría una confiabilidad mayor dada la posibilidad de determinar una media de generación eólica (se transformaría en una generación base).

Una industria eólica integrada, además, generaría una diversificación productiva que reduciría la inestabilidad económica de la región causada por la dependencia de la producción agropecuaria que es fuertemente dependiente de los precios internacionales y la variación de productividades causadas por los ciclos climáticos.

C. Oportunidades

1. Precio del barril de petróleo y/o sus derivados y bajo TRE (tasa de retorno energético) del mismo
2. La incertidumbre respecto a la energía nuclear (TRE en disminución) debido a los riesgos y la poca aceptación de la sociedad y la presión ambientalista.
3. El avance tecnológico (TRE > 18) que mejora el aprovechamiento de los vientos menores a 12 m/s.
4. Mayor conciencia medioambiental y de finitud de los recursos no renovables.
5. Mayor importación de energía de otros Países.
6. Existencia de un mercado de bonos verdes (compra y venta de derechos de emisión)

Una de las oportunidades más importantes y fundamental que han impulsado los desarrollos para producir energía eólica es sin duda el creciente precio del petróleo y, además, su inestabilidad en términos del precio y seguridad de abastecimiento por razones de distinto índole como los cambios sociopolíticos en algunos países (El agotamiento se deduce de la variación del TRE – Tabla I).

TABLA I
TASA DE RETORNO ENERGÉTICA [5]

TIPOS DE FUENTES DE ENERGÍA	AÑO	TRE
Combustibles Fósiles	1930	> 100
	1970	30
	2005	11 a 18
Nuclear	n/a	10
Hidroeléctrica	n/a	> 100
Energía Eólica	n/a	19,2
Geotérmica	n/a	
Energía del mar	n/a	
Colectores solares por concentración	n/a	1,6
Fotovoltaica	n/a	6,8
Ethanol	n/a	0,8 a 10
Biodiesel	n/a	1,3
Hidrogeno	n/a	4,67

Estas dos circunstancias actúan sinérgicamente y los países que importan petróleo están buscando soluciones
Volume 7 – n. 79 – Julho/2012

para estabilizar sus economías mediante la disminución de su dependencia energética. Si bien se han potenciado internacionalmente otras formas energéticas como la atómica los sucesos del tsunami en Japón en este año y la crisis de la Central de Fukushima han originado una nueva revisión de los estándares de seguridad y entre, otros sucesos, Alemania se está planteando fuertemente dar de baja definitiva sus planes de energía con aporte atómica en su matriz de producción energética. Los grupos de presión y ambientalistas no han mostrado resistencias importantes a la generación eólica en Europa, región de las más avanzadas en este tipo de emprendimientos y en capacidad tecnológica para la producción de aerogeneradores de gran porte. La figura 9 muestra la cantidad de capacidad eólica instalada en el mundo.

GLOBAL CUMULATIVE INSTALLED WIND CAPACITY 1996-2010

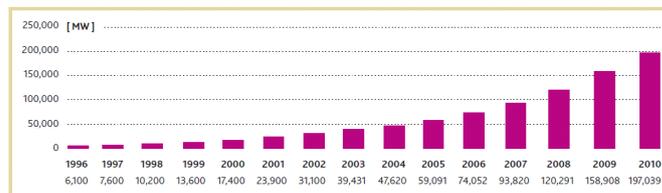


Fig. 9 Capacidad eólica instalada global acumulada (Global wind report 2010) [6]

Esto nos está indicando que estamos ante un crecimiento de la industria eólica (fig. 10), es decir, una industria que está mostrando un desarrollo vigoroso y que tiene un enorme potencial para continuar prosperando durante muchos años dada las necesidades crecientes de energía por habitante y que es capaz de dar respuesta en la medida que se esperaba como por ejemplo en Holanda que ha basado su matriz energética en un fuerte componente de energía eólica.

ANNUAL INSTALLED CAPACITY BY REGION 2003-2010

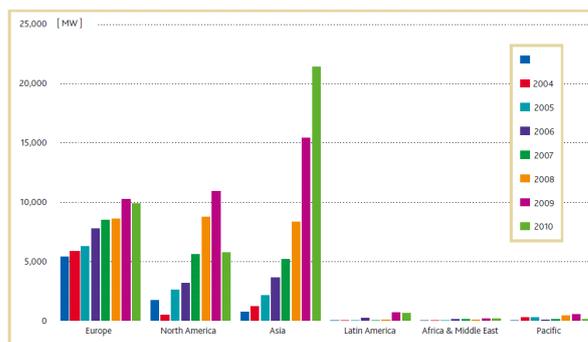


Fig. 10 Capacidad anual instalada por región (2003-2010) (GWEC report 2010) [6]

El caso de dependencia energética también ha comenzado en Argentina que ha pasado de ser exportadora neta a ser importadora de combustibles fósiles. Este proceso impacta en la balanza comercial y de pagos de nuestro país.

Es evidente la aceleración en el crecimiento de la energía eólica en Europa, Norte América y Asia, siendo los países latinoamericanos, África y del Pacífico los de menor crecimiento.

Esta tendencia centrada en Europa, Asia y Norte América queda demostrada tecnológicamente por el crecimiento de la potencia y tamaño de los aerogeneradores (ver Fig. 11).

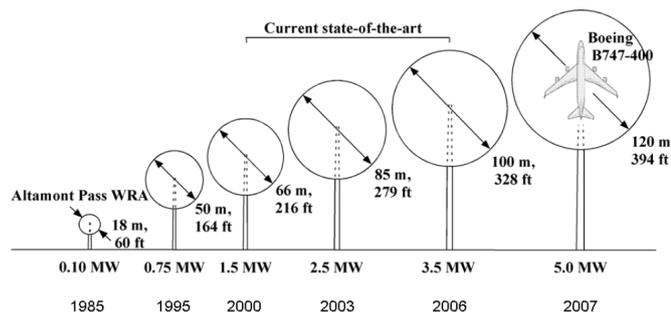


Fig. 11 Tendencia creciente en el tamaño y potencia de las turbinas eólicas

Este fenómeno hace que con muchos menos generadores se puedan instalar parques de 50 MW ocupando menores superficies (repowering en Europa – Fig. 12).



Fig. 12 Repotenciación de los parques eólicos

Además ha mejorado notablemente la tecnología de control y la eficiencia de los generadores elevando el aprovechamiento de los recursos y mejorando la conexión con la red eléctrica, estas condiciones tecnológicas mejoran el factor de capacidad de la región. Pero quizá el aspecto más importante es la consolidación del concepto en la sociedad de la finitud de las fuentes no renovables de energía y de la conciencia del cuidado del medio ambiente y la contaminación que provoca el uso de derivados del petróleo que genera un campo fértil a propuestas de generación de energía de carácter sustentable.

Además las inversiones en tales parques eólicos han encontrado en los mecanismos de los llamados “bonos verdes” (compra de derechos de emisión de CO₂) una importante fuente de financiamiento donde empresas de los países más desarrollados “compran” derechos de emisión en toneladas de CO₂ pero con una erogación inferior que si las inversiones hicieran en sus lugares de origen por las diferencias de costos.

D. Amenazas

1. Condiciones de estructura del mercado nacional (debilitan el atractivo)
2. Posible disminución del precio del petróleo a nivel internacional
3. Marco legal y contratos en términos de concesión.
4. Marco estratégico de los gobiernos nacional y provinciales
5. El inversor consolide un crecimiento de la industria eólica en la zona patagónica

Actualmente el Estado, a través de Enarsa SA, licita la compra de energía a quienes instalen parques eólicos. En términos de inversiones y dadas las condiciones una de las amenazas es la característica que existe un único comprador. Inestabilidades de tipo socio-económico o eventuales incumplimientos del contrato en los pagos de la energía o inestabilidades del valor del dólar (moneda en la cual se licita) son amenazas importantes por el riesgo y la poca capacidad de maniobra en términos empresarios que significa este monopsonio.

También constituye una amenaza la caída internacional del precio del petróleo que, junto con la energía hidroeléctrica y la nuclear, constituye la base de la producción y oferta nacional.

El marco legal y su estabilidad en términos de los contratos de concesión y el tratamiento de estratégico que desde la administración pública y desde el gobierno municipal, provincial y nacional se haga de estas inversiones constituyen también una amenaza, entre ellas: la forma legal de los contratos para alquiler de las tierras donde se instalan los parques, legislación sobre temas ambientales como impacto visual y sobre la flora y fauna de la región, cambios impositivos y distribución de la renta generada por la producción energética de origen eólica, etc. constituyen algunos de los puntos que pueden generar preocupación en las empresas que evalúen la inversión.

Otro factor muy importante también lo constituyen los intereses de empresas ya instaladas que puedan verse afectadas y empleen su poder de lobby para conseguir defender sus intereses en oposición al crecimiento e instalación de una industria eólica.

E. Estrategia FO (Fortalezas y Oportunidades)[3]

1. Dada la disponibilidad del recurso eólico y las condiciones derivadas de la crisis del petróleo y la generación nuclear unido a la existencia de un polo de desarrollo industrial ya en plena actividad y con infraestructura adecuada es posible desarrollar esta industria integralmente desde la construcción, comercialización y financiación hasta el diseño de proyectos y la erección de parques eólicos zonales.
2. Esta industria podría aprovechar la infraestructura portuaria para exportar turbinas eólicas y partes estructurales.
3. La existencia de las Universidades con carreras de orientación tecnológica que permite preparar profesionales orientados al desarrollo de esta industria en todas las etapas.

4. Desarrollar un polo de atracción industrial que disminuya la migración a grandes ciudades y mejore las condiciones sociales zonales.
5. Producir un cambio socio-económico modificando la relación del valor agregado de la economía pasando de la economía agropecuaria hacia una diversificada.

F. Estrategia DO [3] (superar las debilidades aprovechando las Oportunidades)

1. Disminuir la dependencia económica de las explotaciones agropecuarias fomentando la radicación industrial orientada a la energía eólica y otras energías renovables.
2. Fomento de grupos de investigación asociados al recurso favorecería la certidumbre en la medición correcta de recursos eólicos.
3. Discutir seriamente las políticas nacionales y provinciales en relación a los aspectos legales en relación al medioambiente y fomento de las energías renovables.
4. Favorecer zonalmente la radicación y crecimiento de una industria eólica integral con medidas de atracción y la difusión de las condiciones y recursos zonales para la construcción de parques eólicos y la ingeniería, fabricación de partes de las turbinas y/o instrumentos de medición y servicios a través de grupos de investigación y equipos de trabajo técnico.
5. El cambio socio-económico producido al diversificar y agrandar la economía genera un ambiente que favorece a la renovación y cambio dirigenal.

G. Estrategias FA [3]

1. El desarrollo de las medidas de atracción, la difusión de las condiciones y el uso de la infraestructura portuaria mejora las posibilidades de atracción frente a otros destinos posibles de desarrollo de la industria eólica.
2. Dar oportunidad de establecer contratos de provisión de energía a empresas nacionales o extranjeras.
3. Establecer condiciones favorables para reconocer el valor agregado de la energía generada.
4. Aprovechar las condiciones de la huella del carbono para fomentar la industria integral en relación a las energías limpias.
5. Fortalecer un parque industrial de desarrollo zonal incrementaría el atractivo al facilitar la instalación de Empresas de la industria eólica.

H. Estrategias DA [3]

1. Establecer condiciones de instalación a través de mediciones y áreas disponibles con factibilidad técnico-económica.
2. Desarrollar el marco legal, impositivo y tarifario de acuerdo a las experiencias internacionales.
3. Desarrollar industrias anexas a la energía eólica como por ejemplo producción del hidrógeno que permita superar el desacople temporal entre

demanda y producción de energía mediante el viento.

IV. CONCLUSIONES

El planteo estratégico aquí propuesto consiste en aprovechar la potencialidad eólica de la región como un disparador no solo con el único objetivo de instalar parques eólicos, sino, generar condiciones previas para atraer la inversión en los parques y paralelamente propiciar la instalación de una industria eólica que consiste en un “clúster industrial” [3] [4] donde diferentes empresas industriales y de servicios de la cadena de valor encuentren una receptividad para la creación de una industria de carácter integrado [2] [3] [4]. La cadena de valor comprende entre otras: los equipos de medición de viento, los profesionales y sus servicios (investigación, medición de recursos eólicos, evaluación de micro y macro localizaciones, evaluación económico-financiera de proyectos eólicos, etc.), construcción de equipos y/o partes de equipos generadores y sus sistemas de control, empresas de servicios durante la construcción y la operación y mantenimiento de los parques y su infraestructura, tendido de redes de potencia eléctrica, empresas certificadoras de equipos de generación, entre otras.

Muchos integrantes de esta cadena de valor pueden comercializar y extender sus equipos, servicios y prestaciones a nivel global en un mercado de fuerte crecimiento, generando exportaciones de alto valor agregado, diversificando [1] [2] [3] la producción y generando muchos puestos de trabajos estables y de altos ingresos.

Este análisis estratégico se vale de usar recursos disponibles, aprovechar los cambios paradigmáticos que están imponiéndose en el mundo de la energía y generar, a través de un plan racional, un desarrollo que produzca una verdadera evolución moderna y comprometida con los valores ambientales para un cambio económico-social a nivel zonal.

V. REFERENCIAS

Publicaciones:

- [1] Michael Porter – Estrategia Competitiva - ISBN 9788436823387 - Editorial PIRAMIDE
- [2] Hill Charles W. L. Jones Gareth R. Administración Estratégica ISBN 9789701072691 Editorial MCGRAW-HILL
- [3] Tarzijan Jorge - Fundamentos De Estrategia Empresarial ISBN 9789701514184 Editorial ALFAOMEGA GRUPO EDITOR
- [4] Hitt Michael A. Hoskisson Robert E., Ireland R. Daune – Administración Estratégica - ISBN 9789706865960 - Editorial CENGAGE LEARNING / THOMSON INTERNACIONAL
- [5] David J. Murphy, Charles A. S. Hall, “Annals of the New York Academy of Sciences” Volume 1185 Ecological Economics Reviews pages 10-118
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x/full> consultada 28/07/2011
- [6] Global Wind Energy Council Report Annual market update 2010
http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/GWEC_annual_market_update_2010_-_2nd_edition_April_2011.pdf consultada 28/07/2011



O ENEM, O SAERJ, A REORIENTAÇÃO CURRICULAR E O ENSINO DE ESTATÍSTICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

ISSN 1809-3957

PAULO APOLINÁRIO NOGUEIRA¹; ELINE DAS FLORES VICTER¹; CRISTINA NOVIKOFF¹

1 – UNIGRANRIO – Universidade do Grande Rio – “Prof. José de Souza Herdy”

Resumo - Este artigo traz um levantamento histórico do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), desde a sua criação até as mudanças mais recentes. Faremos um estudo sobre o Sistema de Avaliação da Educação Básica do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ), mediante o qual a Secretaria de Estado de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEEDUC/RJ) estabelece suas metas e mudanças nas propostas curriculares. Nosso estudo deu ênfase às questões referentes ao Tratamento da Informação e da Estatística presentes nessas avaliações de larga escala e nas reorientações curriculares.

Palavras-chave: ENEM. SAERJ. Avaliações de Larga Escala. Reorientação Curricular.

I. INTRODUÇÃO

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) foi criado pela Portaria Ministerial nº 438, de 28 de maio de 1998, pelo Ministro da Educação e do Desporto Paulo Renato Souza, na gestão do Presidente da República, Fernando Henrique Cardoso, atendendo a necessidade da legislação, visto que a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, (LDBEN), Lei nº 9.394/96, estabelece que todos os níveis de ensino devem ser objeto de avaliação, visando à definição de prioridades e à melhoria da qualidade de ensino. Niskier (2007) destaca uma série de inovações pedagógicas incorporadas pela Lei nº 9.394/96, entre as quais citamos:

[...] não há mais a exclusividade do exame vestibular para ingresso no nível superior. Serve outro processo seletivo, como as notas tiradas durante o 2º grau [Ensino Médio]. O MEC realizará o Exame Nacional de Segundo Grau, aberto a todos os concluintes, valendo para ingresso no 3º grau.

[...] criou o processo nacional de avaliação das instituições de educação superior – e também do rendimento escolar dos alunos do ensino fundamental, médio e superior. (NISKIER, 2007, pp. 27 e 28)

As duas mudanças propostas criaram as condições necessárias e suficientes para a implementação e consolidação do ENEM.

O ENEM é um exame com adesão voluntária e foi idealizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), do Ministério da Educação (MEC), para avaliar competências e habilidades dos alunos, segundo uma nova perspectiva do

papel da escola, em consonância com os PCN. A prova afere a capacidade do aluno para aplicar o seu potencial de raciocínio crítico, resolver problemas e avaliar o seu papel na sociedade. “O principal objetivo do ENEM é avaliar o desempenho do aluno ao término da escolaridade básica, para aferir o desenvolvimento de competências fundamentais ao exercício pleno da cidadania”. (INEP, 2002, p. 5).

Como complemento desse objetivo fundamental, há ainda uma série de objetivos específicos, descritos na Portaria Nº 109, de 27/05/2009, (2009a) do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), que dispõe sobre o Enem/2009.

[...] oferecer uma referência para que cada cidadão possa proceder à sua auto avaliação com vistas às suas escolhas futuras, tanto em relação ao mundo do trabalho quanto em relação à continuidade de estudos; estruturar uma avaliação ao final da educação básica que sirva como modalidade alternativa ou complementar aos exames de acesso aos cursos profissionalizantes, pós-médio e à Educação Superior; promover a certificação de jovens e adultos no nível de conclusão do ensino médio; promover avaliação do desempenho acadêmico das escolas de ensino médio, de forma que cada unidade escolar receba o resultado global; promover avaliação do desempenho acadêmico dos estudantes ingressantes nas Instituições de Educação Superior. (2009a, p.1)

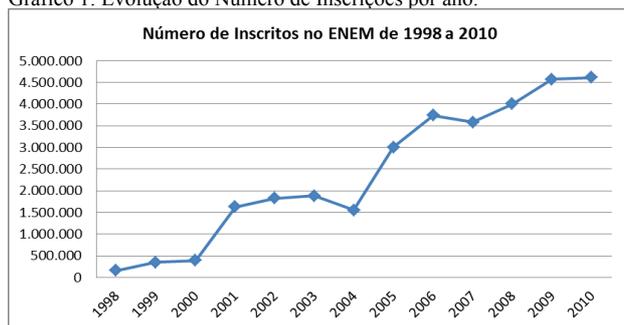
Entre as principais mudanças implantadas, destacamos a certificação de jovens e adultos no nível de conclusão do Ensino Médio para maiores de dezoito anos (BRASIL, 2009b), possibilitando não só a participação dos concluintes e dos que já concluíram o Ensino Médio em anos anteriores, mas também das pessoas que estejam pleiteando certificação nesta etapa de ensino.

A série histórica do ENEM começou em 1998, ano em que contou com 157.221 inscritos. As inscrições vêm crescendo e alcançando números expressivos a cada ano, consolidando o ENEM como a avaliação em larga escala⁶

⁶ Programas de avaliação em larga escala são políticas públicas de avaliação dos sistemas de educação. Para tanto, utiliza-se de testes cognitivos aplicados de forma amostral, ou censitária, aos estudantes da rede de ensino a ser avaliada para aferir a proficiência em conteúdos como Matemática e Língua Portuguesa. O resultado dessas avaliações produz escores indicativos do desempenho dos estudantes e, por conseguinte, do trabalho escolar. (SAERJ, Matrizes de Referência para Avaliação, 2009, p. 14)

de maior abrangência do país. O Gráfico 1 mostra a evolução do número de inscrições ao longo das edições do ENEM.

Gráfico 1: Evolução do Número de Inscrições por ano.



FONTE: Dados do INEP.

Em 2001, ocorre a democratização do ENEM, com a gratuidade para alunos oriundos da escola pública. Nesse ano, o número de participantes atingiu a marca de 1,6 milhão. Na sua 7ª edição, 2004, o Ministério da Educação instituiu o Programa Universidade para Todos (ProUni), vinculando a concessão de bolsas em Universidades privadas à nota obtida. Essa trajetória de pouco mais de uma década já merece destaque na história da educação brasileira sendo discutida para além do ambiente escolar. Por exemplo, em bancas de jornais e revistas pode-se encontrar diversas publicações sobre esse exame.

Nas duas últimas edições, 2009 e 2010, além de avaliar e servir como parte do processo de seleção de ingresso no Ensino Superior, houve a vinculação a outras políticas de educação: como o acesso ao Fundo de financiamento ao Estudante do Ensino Superior (FIES) e sua utilização nos processos seletivos das universidades públicas federais, por meio do Sistema de Seleção Unificada (SiSU). Com isso o MEC intenciona democratizar o acesso e a permanência dos estudantes nas Instituições Ensino Superior, possibilitar a mobilidade acadêmica e induzir a reestruturação dos currículos do ensino médio.

Inicialmente as provas do ENEM contavam com 63 questões interdisciplinares e uma redação, segundo as características da Teoria Geral dos Testes. Com as mudanças ocorridas a partir de 2009, o exame passou a contar com 180 questões divididas em quatro grupos de 45 itens, separados por áreas do conhecimento: linguagens, códigos e suas tecnologias (incluindo redação); ciências humanas e suas tecnologias; ciências da natureza e suas tecnologias e matemáticas e suas tecnologias. Essas modificações colocaram o ENEM em acordo com a Teoria da Resposta ao Item, permitindo assim, que os resultados do exame pudessem ser comparáveis no tempo.

De acordo com o Relatório Pedagógico 2007 do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), INEP, (2007)

O modelo de avaliação do Enem foi desenvolvido com ênfase na aferição das estruturas mentais com as quais se constrói continuamente o conhecimento e não apenas a memória que, importantíssima na constituição dessas estruturas, sozinha não consegue ser

capaz de compreender o mundo em que se vive, tal é a velocidade das mudanças sociais, econômicas, tecnológicas e do próprio acervo de novos conhecimentos, com os quais se convive diariamente e que invadem todas as estruturas da escola. (p. 37).

A prova do ENEM é interdisciplinar e contextualizada, colocando o estudante diante de situações-problema que muito mais do que apenas saber conceitos, requer que se saiba aplicá-los. Nesse aspecto, o ENEM apresenta uma estrutura diferente das provas dos vestibulares tradicionais, que promovem a valorização da memória e dos conteúdos em si, sem preocupação de inseri-los no mundo real. O ENEM não foca na capacidade do estudante de assimilar e acumular informações, ele prioriza as competências mentais importantes para o exercício da cidadania.

Sobre a matriz referência do ENEM, Silva (2007) afirma: “é construída em estreita articulação com as áreas de conhecimento, define um conjunto de cinco competências básicas e 21 habilidades que correspondem ao perfil idealizado ao término da escolaridade básica”.

II. A PRESENÇA DE ITENS DE ESTATÍSTICA NA SÉRIE HISTÓRICA DO ENEM

Como o foco do nosso trabalho é o uso das mídias impressas no ensino da Estatística, procuramos estabelecer o nível de importância que se pode conferir à presença de itens versando sobre o tratamento da informação e estatística, para tanto fizemos uma pesquisa nas provas do ENEM aplicadas no período entre 1998 a 2010, observamos a quantidade de itens com Elementos de Estatística em três categorias: 1ª Análise Combinatória e Probabilidade, 2ª Tabelas, Gráficos e Conceitos de Estatística e 3ª Tabelas e Gráficos Contextualizados, nessa última categoria incluímos os itens que envolvem os conceitos estatísticos num contexto interdisciplinar. Na série histórica, essa categoria predominou sobre as outras em várias edições do ENEM, tal fato pode ser explicado pelas características próprias do Exame. A Tabela 1 apresenta série histórica com os resultados do levantamento feito pelas frequências e porcentagens de cada categoria.

Tabela 1: Número de Itens com Elementos de Estatística no ENEM, entre os anos de 1998 a 2010.

Ano	Tipos de Questões							
	Análise Combinatória e Probabilidade		Tabelas, Gráficos e Conceitos de Estatística		Tabelas Gráficos Contextualizados		Total	
	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%
1998	2	3,2	7	11,1	7	11,1	16	25,4
1999	3	4,8	4	6,3	10	15,9	17	27,0
2000	2	3,2	3	4,8	10	15,9	15	23,8
2001	3	4,8	8	12,7	10	15,9	21	33,3
2002	1	1,6	6	9,5	13	20,6	20	31,7
2003	2	3,2	8	12,7	5	7,9	15	23,8
2004	1	1,6	8	12,7	8	12,7	17	27,0
2005	2	3,2	7	11,1	10	15,9	19	30,2
2006	3	4,8	5	7,9	11	17,5	19	30,2
2007	3	4,8	6	9,5	10	15,9	19	30,2
2008	3	4,8	6	9,5	8	12,7	17	27,0
2009	5	2,8	7	3,9	12	6,7	24	13,3
2010	1	0,6	10	5,6	6	3,3	17	9,4
Total	31	-	85	-	120	-	236	-

Fonte: Provas do ENEM disponíveis em: www.inep.gov.br

Nessa série histórica, a presença de itens relacionados à estatística apresentou média de 25% do total de itens. É também observado que, nos dois últimos anos, após a reformulação desse exame, as porcentagens relativas da presença da estatística diminuiu. Algumas considerações podem ser feitas a respeito dessa redução. A primeira é sobre o número de itens, de 63 passou para 180 itens. O segundo argumento está relacionado à estrutura do exame, seu novo enfoque aproxima-se mais da forma compartimentada (em disciplinas) do vestibular.

Ao estudar a série histórica dos participantes do ENEM, constatamos que ele se popularizou ao longo do tempo. Do quantitativo total dos participantes do ENEM 2010, cerca de 2,7 milhões já tinham concluído o Ensino Médio em anos anteriores. Outros 1,3 milhão cursaram o último ano do Ensino Médio em 2010 com, aproximadamente 85% egressos da escola pública. Cerca de 500 mil participaram do exame 2010 como trainees, ou seja, concluirão o Ensino Médio depois dessa edição do exame.

Em toda a série histórica podemos observar que os itens contendo Elementos de Estatística tem um grau de importância considerável, principalmente em questões contextualizadas, uma característica própria do ENEM, defendemos a ideia de que o trabalho com as mídias impressas tem potencial para facilitar o entendimento de tais questões.

III. O SAERJ E A REORIENTAÇÃO CURRICULAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A Secretaria de Estado da Educação do Rio de Janeiro implementou, em convênio com o Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação da Universidade Federal de Juiz de Fora (CAED/UFJF), o Sistema de Avaliação da Educação Básica do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ). O objetivo principal de tal sistema é “possibilitar um acompanhamento mais preciso do desempenho dos alunos” (Guia das Matrizes de Referência para Avaliação, 2009, p. 5).

A avaliação educacional externa, ou em larga escala, realizada pelo SAERJ é “parte fundamental no processo de ensino e aprendizagem” (Id. 2009, p. 9). Os resultados do SAERJ permitem aos docentes avaliar e reorientar a sua prática, às escolas reestruturar seus projetos pedagógicos buscando o aperfeiçoamento e a qualidade do ensino. O SAERJ é composto por quatro etapas, subdivididas em dez passos, conforme mostra o Quadro 1:

Quadro 1: Etapas e Passos do SAERJ.

Etapas	Passos
Primeira etapa: Cadastros	Passo 1: Cadastro da escola Passo 2 : Cadastro de turmas Passo 3: Cadastro de professores
Segunda etapa: Avaliação Diagnóstica	Passo 4: Programação Passo 5: Seleção da complexidade Passo 6: Aplicação e correção dos testes Passo 7: Lançamento de resultados

Passo 8: Revisão das metas

Terceira etapa: Metas Educacionais

Quarta etapa: Avaliação Externa Passo 9: Avaliação externa
Passo 10 - Utilização dos resultados

Fonte: SAERJ. disponível em: www.caed.ufjf.br

Na primeira etapa: Cadastros - o gestor de cada unidade escolar, após validar as informações da escola, realiza o cadastro das turmas e dos professores.

Na segunda etapa: Avaliação Diagnóstica – inicialmente, o gestor agenda e programa a aplicação da avaliação em cada turma, definindo dia, horário e aplicador (professores cadastrados); a seguir, em consenso com o professor, define o nível de complexidade do teste das turmas em que irá aplicar a avaliação. Após a aplicação, o professor corrige os testes e lança os resultados da avaliação diagnóstica. Os dados por turma e por aluno são então processados para a emissão do relatório das turmas e da escola.

Na terceira etapa: Metas Educacionais - a partir dos resultados, as escolas avaliam suas metas, reforçando-as ou reformulando-as, tendo em vista o aprimoramento do processo de melhoria da qualidade do ensino.

Na quarta etapa: Avaliação Externa - é aplicada uma Avaliação Externa no 5º e 9º anos do Ensino Fundamental e 3º ano do Ensino Médio, com testes de Matemática e Língua Portuguesa. O diretor tem acesso aos resultados da avaliação externa por meio do Portal da Avaliação e poderá associá-los aos das avaliações diagnósticas, verificando a evolução da escola, pois ambos são produzidos na mesma escala de proficiência, a do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB).

Nas orientações propostas nas Matrizes de Referência para Avaliação em Matemática do SAERJ, o Tema Tratamento da Informação apresenta os seguintes descritores para o 9º ano do Ensino Fundamental: “D36 – Resolver problema envolvendo informações apresentadas em tabelas e/ou gráficos; D37 – Associar informações apresentadas em listas e/ou tabelas simples aos gráficos que as representam, e vice-versa” (SAERJ, 2009, p. 61). A apresentação desse Tema é acompanhada do seguinte comentário: “este tema explica a importância de mostrar ao estudante a utilização dos conhecimentos adquiridos em sua vida escolar para interpretar informações que aparecem nos jornais e revistas”. Explicitando de forma direta a inserção de mídias impressas no currículo escolar.

O mesmo documento oficial, referido no parágrafo anterior, apresenta para o 3º ano do Ensino Médio os descritores: “D34 – Resolver problema envolvendo informações apresentadas em tabelas e/ou gráficos; D35 – Associar informações apresentadas em listas e/ou tabelas simples aos gráficos que as representam, e vice-versa” (p. 90). Observamos que esses descritores são idênticos aos do 9º ano, mas os comentários apresentados para o último ano do ensino médio enfatizam a importância da interpretação, isto é, “explicita a importância de ensinar ao estudante usar os conhecimentos adquiridos em sua vida escolar para interpretar informações que aparecem em forma de tabelas e gráficos” (p. 90).

O SAERJ, pelos seus objetivos, tornou-se um instrumento de avaliação de referência na rede pública estadual, pois em última instância o desempenho dos alunos repercutirá na classificação das escolas. O planejamento curricular seguirá em consonância com a proposta dessa avaliação de larga escala.

Recentemente a Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEEDUC/RJ) publicou um documento sobre um novo formato de proposta curricular para os anos finais do Ensino Fundamental e para o Ensino Médio.

Nessa proposta os conteúdos de Matemática para o ensino fundamental e médio são organizados em quatro campos

[...] numérico-aritmético; algébrico-simbólico; geométrico; da informação. Assim, a Matemática não é apresentada como uma coleção pontual de tópicos estanques, mas como um campo orgânico de pensamento. Deste modo, levando em conta a realidade de cada sala de aula, é fundamental que todos os quatro campos sejam abordados, ao menos parcialmente. (p. 6)

O Documento chama a atenção para alguns critérios gerais [que] foram utilizados, tanto para o ensino fundamental como para o ensino médio, dentre os quais:

[...] evitar a concentração de assuntos em grandes blocos, numa série só, optando-se pela apresentação gradativa, que propicia maior articulação entre os diversos temas e promove a revisão mais frequente de vários assuntos; possibilitar a articulação com outras áreas do ensino ou da própria Matemática; acompanhar, sempre que possível, a distribuição habitual nas coleções didáticas mais utilizadas; e, conforme dito acima, promover a presença de assuntos dos quatro campos básicos em cada uma das séries. (idem, p. 6)

As propostas apresentadas nesse documento possibilitam e direcionam a um trabalho nas diversas disciplinas curriculares e, em particular, na matemática, de forma integrada e buscando interfaces com a própria matemática, bem como com outras áreas do conhecimento. Nesse sentido, traz ainda possibilidades de trabalho na Educação Estatística em acordo com nossos pressupostos teóricos, visando uma formação mais ajustada com a realidade.

O campo da informação reaparece diversas vezes a partir do 7º ano. Conforme evidencia o Quadro2:

Quadro 2: Divisão dos conteúdos de Estatística de acordo com a Reorientação Curricular 2010.

Ano/Nível	Proposta
7º ano do Ensino Fundamental	<ul style="list-style-type: none"> • Médias, Tabelas, Gráficos, Probabilidades • Ler, interpretar e construir tabelas e gráficos de barra, de setor e de segmentos. • Construir pares ordenados no primeiro quadrante. • Compreender médias aritméticas e simples e probabilidades discretas simples. • Coletar e organizar dados em tabelas e gráficos;

	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver noção de probabilidade discreta e exemplos simples. • Observar e analisar notícias de jornais e revistas. • Adquirir noção de moda, com exemplos simples. • Se possível, usar planilhas eletrônicas.
8º ano do Ensino Fundamental	<ul style="list-style-type: none"> • Médias, Modas e Medianas. • Analisar medidas de tendência central: média moda e mediana. • Tabelas e Gráficos • Ler, interpretar e construir tabelas e gráficos de barra, de setor e de segmentos. • Probabilidade, Noções de Amostras e Populações • Desenvolver noções de amostra e população. • Aplicações de Porcentagem • Aplicar porcentagem ao tratamento da informação (noção de frequência relativa). • Observar e analisar notícias de jornais e revistas.
9º ano do Ensino Fundamental	<ul style="list-style-type: none"> • Médias, Modas e Medianas, Tabelas, Gráficos • Continuar o trabalho com medidas de dispersão e gráficos e aprofundar noções de matemática financeira. • Reforçar noções de médias, modas e medianas; leitura, interpretação e construção de tabelas e de gráficos de barra, de setor e de segmentos e histogramas. • Levantamento de Dados Estatísticos • Compreender probabilidade. • Analisar levantamento de dados estatísticos. • Observar e analisar notícias de jornais e revistas. • Se possível, praticar o uso de planilhas eletrônicas.
1º ano do Ensino Médio	<ul style="list-style-type: none"> • Estatística: Gráficos e Tabelas de Frequência • Compreender o conceito de Estatística, o que é e a que se propõe, principalmente verificando que sua utilidade vai além dos índices, sendo o conjunto de previsões a partir de dados numéricos e de cálculos com estes dados, utilizando o instrumento de comunicação – os gráficos. • Entender frequências, frequências relativas e frequências percentuais. • Analisar gráficos cartesianos: de barras, colunas, pontos, linhas e setoriais. • Compreender o uso de tabelas em outras circunstâncias, como na resolução de problemas e em tomadas de decisões.
2º ano do Ensino Médio	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilidades • Definir e apontar os objetivos das Probabilidades. • Calcular probabilidades em espaço amostral finito. • Analisar probabilidade condicional e independência de eventos. • Análise Combinatória • Compreender a análise combinatória como a arte de contar. • Entender problemas de contagem, utilizando o princípio fundamental (multiplicativo) e o princípio aditivo, (mais do que o uso de fórmulas prontas). • Utilizar esquemas gráficos de organização, do tipo árvore, ou de tabelas, para a resolução de problemas de contagem. • Analisar a utilização da prática de contagem no cálculo de probabilidades em espaços finitos. • Compreender fatorial, arranjos, permutações e combinações. • Binômio de Newton • Compreender o binômio de Newton como produto notável que terá aplicação no cálculo de

	probabilidades e de Genética. • Resolver exercícios de aplicações.
3º ano do Ensino Médio	• Estatística: medidas de centralidade e dispersão • Entender médias, moda e mediana, desvios absolutos e desvio absoluto médio. • Compreender desvios quadráticos, variância e desvio padrão.

Fonte: SEEDUC/RJ, 2010.

Para o 1º ano do Ensino Médio, que é público alvo de nosso estudo, a primeira proposta é a compreensão do conceito de Estatística, o qual deverá ser ampliado para além da comunicação e realização de medidas. O foco sugerido passa da representação e leitura, para a análise e entendimento de gráficos e tabelas. As mídias impressas poderão contribuir para dinamizar a proposta curricular da SEEDUC, pois oferecem um farto material, resultante da realidade cotidiana. Cavalcanti, Natrielli e Guimarães, (2010) chamam a atenção para a presença cotidiana de elementos estatísticos na mídia impressa e asseveram que

Estando os gráficos presentes em nosso cotidiano e, conseqüentemente, na sala de aula, este se constitui num instrumento cultural e também num conteúdo escolar uma vez que a escola é a instituição responsável pelo ensino de conhecimentos desenvolvidos pela sociedade ao longo da história.

Em razão desta importância social este conteúdo matemático tem sido indicado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais de Matemática (1997) [...]. Esses documentos discutem a importância da introdução do estudo de estatística argumentando que a coleta e representação dos dados são fontes de situações-problema reais e que envolvem outros conteúdos matemáticos como números e medidas. (p. 735).

A inserção dessas mídias como recurso didático, torna o contexto da vida contemporânea presente nas aulas de matemática. Nos dias atuais, o cidadão vive imerso em informações expressas em linguagem matemática, como os índices, taxas, coeficientes, tabelas e gráficos. Dessa forma, o exercício da cidadania demanda habilidades e competências para lidar nesse contexto.

Especificamente sobre o jornal, Machado (1997), chama a atenção às suas características, por ser um veículo de informação. e esta é uma matéria prima fundamental na escola e na sociedade contemporânea. O jornal pela constante sintonia com a realidade imediata, pelas características da linguagem que utiliza, pode constituir-se em um recurso didático com potencial para estabelecer uma maior interação entre a escola e a sociedade. Além do mais, esse meio, enquanto recurso, caracteriza-se pela maneira transdisciplinar como trata seus temas: de forma abrangente e sem preocupar-se em estabelecer fronteiras entre conhecimentos naturezas diversas, como a escola o faz através das disciplinas.

IV. CONCLUSÃO

Partindo de uma visão sócio-histórica da educação, é possível caracterizar o processo de ensino e aprendizagem como um conjunto de ações e estratégias

que devem direcionar o educando, a apropriar-se de conhecimentos que possam ser úteis em sua prática da cidadania.

Nesse estudo procuramos privilegiar as atividades nas quais a essência estivesse na participação do aprendente, e, dessa forma, formar as bases para que cada um se torne autônomo, o que é fundamental também à cidadania e passa pela tomada de decisões que, por sua vez, requer os conhecimentos dos elementos da estatística. Dessa forma fechamos um ciclo que passa a sustentar-se na medida em que um aluno contribui em sua formação e na formação do outro pela interação dos conhecimentos.

Foi feito um levantamento histórico do (ENEM), desde a sua criação até as mudanças mais recentes e também um estudo sobre o (SAERJ), mediante o qual a Secretaria de Estado de Educação do Estado do Rio de Janeiro estabelece suas metas e mudanças nas propostas curriculares. Nosso estudo enfatizou o Tratamento da Informação e os elementos de Estatística presentes nessas avaliações de larga escala, observando considerações presentes nas Reorientações Curriculares. Todo esse estudo serviu de base à inserção das mídias impressas como elementos que possibilitaram trazer o contexto da vida para as aulas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 21.12.1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm
- BRASIL: PCN's, Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática, Secretaria do Ensino Fundamental, MEC/SEF, Brasília, 1997.
- BRASIL. Resolução nº 03, de 26 de junho de 1998. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Homologação da Portaria CNE/CBE nº 15/98). Publicada no D.O.U., de 5/8/98 – seção I – p.21. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/1998/pceb015_98.pdf
- BRASIL: PCNEM, Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, Secretaria da Educação Média e Tecnológica, MEC, Brasília, 2000.
- BRASIL. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 2002.
- BRASIL. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. PCN+: Ensino Médio – orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC, 2002.
- BRASIL. Portaria nº 109, de 27 de maio de 2009. (Fica estabelecida, na forma desta Portaria, a sistemática para a realização do Exame Nacional do Ensino Médio no exercício de 2009 (Enem/2009)[...]). [2009b]. Diário Oficial da União. Brasília, n 100, Seção I, p.56-63, 28 de maio de 2009. Republicada devido a erros na publicação

anterior: Diário Oficial da União. Brasília, n. 100, Seção I, p. 14-20, 8 jun. 2009a.

BRASIL. Enem 2009 também será oportunidade para certificação no Ensino médio. INEP/Sala de Imprensa. Brasília, 14 de julho de 2009b.

CAVALCANTI, M. R. G.; NATRIELLI, K. R. B. e GUIMARÃES, G. L. - Gráficos na Mídia Impressa. In Bolema, v. 23, nº 36, p. 733 a 751, Rio Claro: UNESP, agosto 2010.

INEP. Exame Nacional do Ensino Médio. Documento Básico 2002. Brasília, DF: INEP, Ministério da Educação, 28p, 2000.

INEP. Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM/Provas e Gabaritos. Disponível em http://www.inep.gov.br/basica/enem/provas_gabaritos/provas_gabaritos.htm, acesso em 21/03/2011

INEP. ENEM – Relatório Pedagógico 2007. Brasília, DF: Mec/INEP, 2007.

MACHADO, N. J. Ensaios transversais: cidadania educação. São Paulo: Escrituras Editora, 1997.

NISKIER, A. 10 Anos de LDB Uma Visão Crítica: todas as mudanças da legislação educacional brasileira a partir da Lei nº 9.394/96, Rio de Janeiro, Edições Consultor, 2007.

SAERJ, Matrizes de Referência para Avaliação: Matemática. Juiz de Fora: CAEd/UFJF 2009.

SEEDUC/RJ, PROPOSTA CURRICULAR: Um Novo Formato, 2010.

SILVA, J. C. da – Conhecimentos Estatísticos e os Exames Oficiais: SAEB, ENEM E SARESP – Mestrado, PUC-SP – EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 2007.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo