

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Computación

**Diseño de un instrumento para evaluar
software especializado en manejo
de datos de energía eólica.**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Marvin Alfonzo. C.I:14.130.141

Vanessa González. CI: 14.935.122

Para optar al título de

Licenciado en Computación

Tutor:

Profa. Joali Moreno

Profa. Claudia León

Caracas, 2011

RESUMEN

Para el año 2009 en el seno del Comité de Energías Renovables (CER) observó la necesidad de usar una aplicación para procesar los datos provenientes de la campaña de medición del recurso eólico, la cual empezó el 1ero de enero del referido año.

La elaboración de una aplicación especializada para tal fin es compleja de realizar. Por ello el comité decidió utilizar alguna aplicación de las empleadas en otras partes del mundo para procesar datos de medición de recurso eólico y pronosticar el potencial parque eólico. De allí surge la necesidad de contar con un instrumento que permita evaluar la calidad de este tipo de software.

En este Trabajo Especial de Grado se presenta un instrumento para la evaluación de calidad de aplicaciones de predicción eólica basado en el estándar ISO-9126, se provee un modelo de referencia para medir la calidad del software, a partir de seis categorías de calidad: funcionalidad, fiabilidad, eficiencia, usabilidad, portabilidad y mantenibilidad.

El instrumento diseñado en forma de encuesta es aplicado a un caso de estudio, en el cual se propone evaluar la calidad de tres software eólicos: WindPRO, WindFarmer y OpenWind; escogidos WindPRO y WindFarmer por ser los software propietarios más conocidos a nivel mundial y el software OpenWind por presentar una alternativa open source.

Los evaluadores contestan una la encuesta por cada software, a partir de la utilización de cada una ellos, de esta manera se obtiene un reporte estadístico, que permite conocer las bondades ofrecidas por cada uno de los mismos, y la factibilidad de uso en nuestro país.

Dedicatoria

Quiero dedicar con todo mi amor este trabajo a mi Madre, Sonia González, porque pacientemente creyó en mí, y por tener la confianza y la seguridad de saber que este momento llegaría.

A mis familiares más cercanos (Sherólky, Fabian, Feyuwell, Luis Carlos y Nereida), por escucharme, soportarme y por estar a mi lado en los momentos difíciles

Vanessa R. González

Agradecimientos

Mi gratitud, va dirigida en primer lugar a Dios, por darme cada día la fortaleza, para seguir luchando para alcanzar mis anhelos; por haberme permitido llegar al final de esta carrera y darme las esperanzas de encontrar y andar por un sendero nuevo.

Agradezco a mi madre y a mi tía que son pilares fundamentales en mi vida.

Le agradezco a Marvin Alfonso por la ayuda que en muchas ocasiones me brindo durante la carrera y la realización de este TEG.

Agradezco a cada uno de los profesores que de alguna u otra forma participaron en mi enseñanza a lo largo de esta licenciatura.

Agradezco especialmente a las profesoras Joali Moreno y Claudia León, por abrirnos una ventana cuando tantas puertas se cerraron. Por darnos un tema para desarrollar y servirnos de guías en el proceso de esta investigación.

A todas y todos quienes por falta de memoria no nombre, pero que de una u otra forma han colocado un granito de arena para el logro de este Trabajo de Grado, extendiendo mis más sinceros agradecimiento por su valiosa colaboración.

Vanessa R. González

Dedicatoria y Agradecimiento

Quiero agradecer y dedicar esta TEG, a mis padres Malvina López y Henry Alfonzo, por apoyarme de alguna u otra manera, para lograr lo que hoy en día forma parte de una meta alcanzada.

Le agradezco a mis tutoras, profesora Joali Moreno y a la profesora Claudia León, que han sido pilares fundamentales en este desarrollo profesional, al concederme un TEG.

A mi compañera de tesis Vanessa González, con la cual forme un gran equipo en pro de lograr lo mejor para nuestro TEG y alcanzar esta meta profesional.

Marvin J. Alfonzo L.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción.....	1
Capítulo I: Problema de Investigación.....	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Propuesta de la Solución	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1 Objetivos General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcance	4
1.5. Importancia y Justificación.....	4
1.5.1 Importancia	4
1.5.2 Justificación	4
1.6 Metodología	5
Capítulo II: Marco Conceptual.....	6
2.1 Fundamentos teóricos de la energía eólica	7
2.1.1 Energía Eólica	8
2.1.2 Parámetros del viento	8
Dirección del viento	8
Velocidad del viento.....	8
2.1.3 Instrumentos de Medición del viento	8
Registrador de datos ('Data Logger').....	8
Rosa de los vientos.....	8
Histograma.....	10
2.1.4 Consideraciones para la proyección del potencial eólico.....	11
2.2 Fundamentos teóricos de las aplicaciones WindFarmer, WindPRO y OpenWind. 13	
2.2.1 WindFarmer.	13
Descripción de los módulos que conforman el GH WindFarmer	13
2.2.2 WindPRO.....	15
Descripción de los módulos que conforman el WindPRO	15
2.2.3 OpenWind.....	19
Descripción del Funcionamiento de OpenWind	19
2.3 Calidad del software.....	22
2.3.1 Factores que determinan la calidad del software	23
2.3.2 Norma ISO 9126.....	24
Calidad interna y externa	25
Calidad en uso.....	26
Modelo de calidad externa e interna y calidad en uso	27
2.4 Instrumento de evaluación de calidad	32
2.5.1 La Escala de Likert.....	33
2.6 Fiabilidad del instrumento de evaluación.....	33
Capítulo III: Marco Aplicativo.....	36
3.1 Propuesta de indicadores de calidad para software de predicción.	41
3.2 Propuesta de instrumento para la evaluación de software de evaluación del recurso eólico.....	48
Capítulo IV: Análisis a partir de un caso de estudio	51
4.1 Análisis de resultado para el aspecto funcionabilidad.....	52

4.2 Análisis de resultado para el aspecto confiabilidad.....	52
4.3 Análisis de resultado para el aspecto usabilidad.....	53
4.4 Análisis de resultado para el aspecto eficiencia.....	53
4.5 Análisis de resultado para el aspecto mantenibilidad.....	54
4.6 Análisis de resultado para el aspecto portabilidad	55
4.7 Análisis de resultado general para los software WindPro, WindFarmer y OpenWind	55
Conclusión.....	57
Trabajos Futuros	57
Glosario	59
Referencias Bibliográficas	62
Anexos.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Instrumentos de Medición	9
Tabla 2. Característica Funcionalidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126.....	39
Tabla 3. Característica Confiabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126.....	40
Tabla 4. Característica Usabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126	40
Tabla 5. Característica Eficiencia y sus sub-características de ISO/IEC 9126	40
Tabla 6. Característica Mantenibilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126	41
Tabla 7. Característica Portabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126	41
Tabla 8. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Funcionalidad.	42
Tabla 8.1. Indicadores de Funcionalidad para software de predicción de recurso eólico	42
Tabla 9. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Confiabilidad.	43
Tabla 9.1. Indicadores de Confiabilidad para software de predicción de recurso eólico.....	43
Tabla 10. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Usabilidad.	44
Tabla 10.1. Indicadores de Usabilidad para software de predicción de recurso eólico.44	
Tabla 11. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Eficiencia.	45
Tabla 11.1. Indicadores de Eficiencia para software de predicción de recurso eólico. .	46
Tabla 12. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Mantenibilidad.	46
Tabla 12.1. Indicadores de Mantenibilidad para software de predicción de recurso Eólico	47
Tabla 13. Modelo de Calidad propuesto enfocado en la Portabilidad.	47
Tabla 13.1. Indicadores de Portabilidad para software de predicción de recurso eólico	47
Tabla 14. Rango de Calidad de un Software eólico.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Molino multipala tipo americano.....	7
Figura 2. Rosa de los vientos.....	8
Figura 3. Data Logger.....	9
Figura 4. Rosa de los vientos de Brest en la costa Atlántica de Francia.....	8
Figura 5. Ejemplo del histograma de velocidad de viento para un período mensual. ..	10
Figura 6. Tabla de valores de Rugosidad.....	11
Figura 7. Vista lateral de la corriente de viento alrededor de un obstáculo... ..	12
Figura 8. Vista superior de la corriente de aire alrededor de un obstáculo.....	12
Figura 9. Módulos del software WindPRO.....	14
Figura 10. Muestra de la capa Raster con limitaciones.....	20
Figura 11. Muestra de capas (con su propio sitio de límites y limitaciones)	21
Figura 12. Modelo de Calidad Interna y Externa	25
Figura 13. Modelo de aspecto de la calidad en Uso	25
Figura 14. Modelo de calidad ISO/IEC 9126	25
Figura 15. Aspecto de Calidad Funcionalidad	26
Figura 16. Aspecto de Calidad Confiabilidad	27
Figura 17. Aspecto de Calidad Usabilidad.....	28
Figura 18. Aspecto de Calidad Eficiencia	28
Figura 19. Aspecto de Calidad Mantenibilidad	29
Figura 20. Aspecto de Calidad Portabilidad.....	30
Figura 21. Modelo de Calidad en Uso	30
Figura 22. Proceso de evaluación de calidad.....	35
Figura 23. Proceso de elaboración de Modelo de calidad para Software de predicción de Potencial eólico.....	35
Figura 24. Valores de calidad del software eólico en el aspecto funcionabilidad	58
Figura 25. Valores de calidad del software eólico en el aspecto confiabilidad.....	58
Figura 26. Valores de calidad del software eólico en el aspecto usabilidad	59
Figura 27. Valores de calidad del software eólico en el aspecto eficiencia	59
Figura 28. Valores de calidad del software eólico en el aspecto mantenibilidad	60
Figura 29. Valores de calidad del software eólico en el aspecto portabilidad	61
Figura 30. Resultados de la evaluación de los tres software eólicos	61
Figura 31. Pasos para la realización de un instrumento de evaluación.....	61

INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de predicción de potencial eólico son de gran utilidad a la hora de realizar un estudio de factibilidad de un parque eólico, debido a que permiten conocer el rendimiento de una zona de estudio, teniendo en cuenta el rumbo de los vientos, la influencia de la rugosidad, obstáculos y factores topográficos y orográficos, y las características técnicas de los aerogeneradores, por lo que se puede estimar la producción energética del parque.

En el seno del Comité de Energías Renovables (CER) de Venezuela se observó la necesidad de comprar la licencia de uso de una aplicación para procesar los datos provenientes de la campaña de medición del recurso eólico, la cual empezó el 1ero de enero del 2009. Por lo cual el comité decidió utilizar alguna solución de las existentes a nivel mundial, para procesar datos de medición de recurso eólico y pronosticar el potencial de un parque eólico. Sin embargo se desconocen las bondades ofrecidas por este tipo de software debido a que no se tiene experiencia de usos en Venezuela.

En el presente Trabajo Especial de Grado se plantea la necesidad de diseñar un modelo de evaluación que considere los aspectos involucrados en las aplicaciones de predicción y evaluación del recurso eólico; basado en la norma ISO 9126 para evaluar productos de software eólico.

En este documento Especial de Grado, la información se estructuró de la siguiente manera:

- Capítulo 1, en el cual se define el problema de investigación.
- Capítulo 2, corresponde al Marco Conceptual, el cual abarca la documentación realizada previamente para el cumplimiento de los objetivos que se plantean en el capítulo 1. En este capítulo se define las bases teóricas que comprenden la obtención de la energía obtenida del viento (energía eólica) y los parámetros usados en su predicción; además se describen los conceptos fundamentales que servirán de soporte para el cumplimiento del objetivo general de este trabajo. Se incluyen características y descripción del funcionamiento del software. Se especifica la metodología de estudio de software aplicando el estándar ISO/IEC 9126, tomando en cuenta las características deseables en este tipo de programas.
- Capítulo 3, corresponde al Marco Aplicativo, que comprende el proceso de elaboración del instrumento de evaluación de calidad de software de predicción de recurso eólico.

En este capítulo, se describen las características que posee un software de evaluación del recurso eólico; además de los conceptos que servirán de ayuda para conocer los lineamientos que rigen el estudio de una aplicación. Se describe el desarrollo del proceso de evaluación del software basado en el concepto de calidad del estándar internacional para la evaluación del software **ISO 9126**⁴³.

- Capítulo 4, corresponde a la aplicación del instrumento de evaluación de calidad diseñado a un caso de estudio de tres software ampliamente utilizados en el mercado.

1.1 Planteamiento del Problema

La energía limpia está llegando a América Latina, países como Argentina y México entre otros, tienen proyectos de energía eólica, y ahora vemos cómo se suma Venezuela a la lucha contra el uso de combustibles fósiles y el calentamiento global.

Se hace necesario utilizar las energías alternativas que nos permitan avanzar en el camino de la sustentabilidad energética. Nuestras grandes reservas de hidrocarburos no nos hacen inmunes al cambio de paradigma, que la humanidad ha de asumir en vista a un futuro limpio, sustentable y vivible. Venezuela tiene un gran potencial eólico, con casi cuatro mil kilómetros de costa que son el límite norte del país. Allí tienen vientos fuertes y constantes que pueden albergar varios parques eólicos.

En el plan de desarrollo económico y social de la nación está en convertir a Venezuela en una potencia energética mundial. Para el año 2009 en el seno del Comité de Energías Renovables (CER) de Venezuela, observaron la necesidad de comprar la licencia de algún software de los tantos existente a nivel mundial para procesar los datos provenientes de la campaña de medición del recurso eólico. El problema radica en que no existen estudios que den información sobre las bondades que ofrecen en estas aplicaciones

1.2 Propuesta de la solución

Se propone diseñar un instrumento para evaluar la calidad del software de predicción de recurso eólico basado en indicadores de calidad, considerando las características relevantes en este tipo de software, con la finalidad de elegir el mejor de los existentes en el mercado.

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un instrumento para la evaluación de calidad de software de predicción de energía eólica y aplicarla a un grupo de aplicaciones de estudio en el área eólica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar y establecer las características necesarias y relevantes del software de predicción de potencial eólico.
- Determinar los criterios de evaluación (estándar de calidad)
- Establecer indicadores de valoración.
- Elaborar un instrumento de evaluación de calidad para software especializado en el manejo de datos eólicos.
- Validar el instrumento diseñado.
- Aplicación del instrumento a un caso de estudio.

1.4 Alcance

En este trabajo especial de grado se pretende determinar la aplicación eólica más apropiada para el procesamiento de datos eólicos de nuestro país (Venezuela) según criterios de calidad elegidos; para tal fin en este TEG desarrollaremos un instrumento de evaluación que nos permita cumplir con los objetivos específicos planteados.

1.5 Importancia y Justificación

1.5.1 Importancia

La energía eólica es una de las tantas fuentes de energía renovable o alternativa que existe; se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, contiene una inmensa cantidad de energía y es capaz de regenerarse por medios naturales.

Este tipo de energía ya es aprovechada en países europeos. Venezuela es un país idóneo para replicar la experiencia gracias a la fuerza de sus vientos. Estudios realizados en las costas venezolanas dan cuenta de la posibilidad de producir hasta 1.000 megavatios (MW) de energía eólica.¹²

La energía eólica en Venezuela forma parte de la búsqueda de la transformación de la matriz energética del país mediante la disminución de la dependencia de la generación hidroeléctrica y el uso de fuentes alternativas. De acuerdo con Alí Rodríguez Araque Ministro del Poder Popular para la Energía Eléctrica.

Actualmente Venezuela apuesta por la adopción de alta tecnología para generación de energías limpias, que sin dejar de ser eficientes favorecen el cuidado del medioambiente y se constituyen en una forma de inversión en el desarrollo del capital social.

1.5.2 Justificación

La energía eólica ha dado muy buenos resultados en países desarrollados; es posible que en Venezuela podamos aprovecharla como un medio alternativo de abastecimiento interno de energía eléctrica.

Este trabajo representa un recurso de valoración para la evaluación de aplicaciones destinadas a la predicción de potencial eólico, dirigido a proporcionar información de la calidad y bondades ofrecidas por estas aplicaciones para procesar datos de medición de recurso eólico y pronosticar el potencial de parques eólicos.

1.6 Metodología

En el transcurso del presente TEG proponemos los siguientes pasos para alcanzar los objetivos planteados:

- Recolección de información relacionada con las aplicaciones de predicción de potencia eólico.
- Selección de las características a utilizar del estándar ISO 9126-1.
- Adecuación del dominio del software de predicción eólica, a lo establecido por las normas de calidad del estándar ISO.
- Definición del modelo de calidad orientada al dominio según el resultado obtenido de la adecuación al estándar.
- Establecimiento de criterios e indicadores de evaluación.
- Elaboración de un instrumento de valoración de calidad, para aplicaciones de predicción de potencial eólico.
- Validación del instrumento.
- Aplicación del instrumento de valoración en las aplicaciones de predicción eólica.(Caso de estudio : WindPRO, WindFarmer y OpenWind)

Marco Conceptual

Capítulo 2: Marco Conceptual

En este capítulo, se presenta una revisión teórica en la cual se describen las nociones básicas y aspectos más importantes asociados a la energía eólica, tales como: definición, instrumentos de medición entre otras.

2.1 Fundamentos teóricos de la energía eólica.

El aprovechamiento de la energía eólica data de las épocas más remotas de la humanidad (los egipcios ya navegaban a vela en el año 4.500 a.c.).

Sin embargo en la segunda mitad del siglo XIX es cuando tiene lugar, uno de los más importantes avances en la tecnología del aprovechamiento del viento, con la aparición del popular “molino multipala tipo americano” (figura1). Utilizado para bombeos de agua prácticamente en todo el mundo, y cuyas características habrían de sentar las bases para el diseño de los modernos generadores eólicos.



Figura 1.- Molino multipala tipo americano¹³

Los países desarrollados tienen una larga experiencia en la formulación de programas y en la implementación de acciones destinadas a mejorar la eficiencia energética.

En Latinoamérica algunos países (Argentina, Brasil, México, entre otros.) invierten fuertemente en la producción de esta fuente energética para satisfacer las necesidades de consumo de sus poblaciones y proteger al mismo tiempo el medio ambiente.

¹³ Tomada de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia40/HTML/articulo06.htm>

2.1.1 Energía Eólica

La energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire, es decir del viento.

El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento.

El viento produce energía porque está siempre en movimiento; el contenido energético del viento depende de su velocidad.

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad.

2.1.2 Parámetros del Viento

Dirección del viento

Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos (Figura 2).

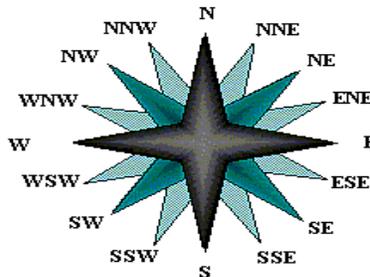


Figura 2.- Rosa de los viento¹⁴

Velocidad del viento

Se define velocidad del viento como la relación de la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo empleado en recorrerla.

La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas.

Usualmente la velocidad del viento se mide en metros por segundo (m/s). Cuando el promedio de vientos es superior a 4 m/s, es posible proyectar el uso del recurso eólico.

¹⁴ Tomada de <https://sites.google.com/site/tecnologiaeimpactoambiental/Informes/Rosa-de-los-Vientos>

2.1.3 Instrumentos de Medición del viento

En las mediciones del viento se especifica su intensidad o fuerza (unidad/s) y su dirección. En la tabla 1 se muestra los instrumentos de medición del viento.

Instrumento	Figura	Descripción
Veleta		Es un instrumento utilizado para medir la dirección del viento, indica de dónde procede el viento según los puntos cardinales, está conectada a un dial o a una serie de conmutadores electrónicos que encienden pequeñas bombillas (focos) en la estación de observación para indicarlo.
Anemómetro		Es un instrumento que sirve para medir la velocidad del viento. El anemómetro gira a mayor velocidad cuanto sea la velocidad del viento, y se emplea algún tipo de dispositivo para contar el número de revoluciones y calcular así su velocidad. Las mediciones se registran en anemógrafos.

Tabla 1.- Instrumentos de Medición

Registrador de datos ('Data Logger')

Un Data Logger es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores. Luego cada medición es almacenada en una memoria, junto con su respectiva fecha y hora. La Figura 3 muestra un ejemplo de un registrador de datos.

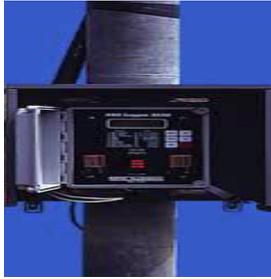


Figura 3.- Data Logger¹⁵

Rosa de los vientos

Los fuertes vientos suelen venir de una dirección determinada, para mostrar la información sobre las distribuciones de velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento, puede dibujarse la llamada rosa de los vientos basándose en observaciones meteorológicas de las velocidades y direcciones del viento. En la figura 4 se muestra un ejemplo.

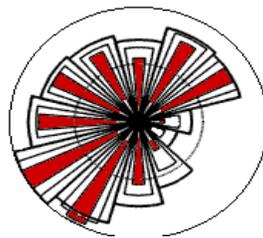


Figura 4.- Rosa de los vientos de Brest, en la costa Atlántica de Francia¹⁶

Una rosa de los vientos proporciona información sobre las velocidades relativas del viento en diferentes direcciones.

Histograma

Es un resumen gráfico de los valores producidos por las variaciones de una determinada característica, representando la frecuencia con que se presentan distintas categorías dentro de dicho conjunto. En la figura 5 podemos apreciar un ejemplo.

¹⁵ Tomada de http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wres/wndsprac.htm

¹⁶ Tomada de <http://www.vindselskab.dk/es/tour/wres/rose.htm>

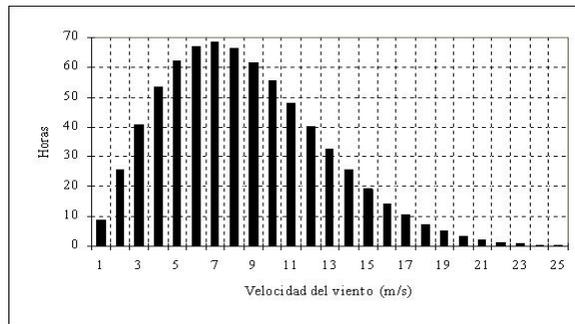


Figura 5.- Ejemplo del histograma de velocidad de viento para un período mensual¹⁷

2.1.4 Consideraciones para la proyección del potencial eólico

La velocidad, constancia y nivel de turbulencias del viento están muy determinados por condiciones locales como la orografía y la rugosidad del suelo, por lo que es necesario realizar mediciones y estudios detallados de la existencia de recursos aprovechables en cada sitio.

En altitudes hasta los 100 metros, los vientos están mucho más influenciados por la superficie terrestre, donde el viento es frenado por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los obstáculos.

En la industria eólica se distinguen: rugosidad del terreno, influencia de los obstáculos e influencia de orografía (el contorno) del terreno.

- **Rugosidad del terreno**

En la industria eólica se refieren a clase de rugosidad o longitud de rugosidad cuando se trata de evaluar las condiciones eólicas de un paisaje. Una alta rugosidad de clase 3 ó 4 se refiere a un paisaje con muchos árboles y edificios, mientras que a la superficie del mar le corresponde una rugosidad de clase 0.

La rugosidad de una superficie se determina por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene.

En la figura 6 se puede observar una tabla, en la cual aparecen los valores de rugosidad asociados a cada una de las distintas superficies.

¹⁷ Tomada de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000300006&script=sci_arttext

Zo (m)	
1.00	Ciudad Bosque
0.50	Suburbios
0.30	Cinturones verdes
0.20	Arbolado abundante
0.10	Campo
0.05	Campo abierto
0.03	campo sin construcciones sin arbolado
0.01	Pistas de aeropuertos hierba cortada
5.10-3	Terreno descubierto
10-3	Superficies nevadas
3.10-4	Superficies de arena
10-4	Agua (lagos, mar)

Figura 6.- Tabla de valores de Rugosidad¹⁸

- **Obstáculos**

Los obstáculos del viento tales como edificios, árboles, formaciones rocosas, entre otros; pueden disminuir la velocidad del viento de forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos. La zona de turbulencias puede extenderse hasta una altura alrededor de 3 veces superior a la altura del obstáculo. Los obstáculos disminuirán la velocidad del viento corriente abajo del obstáculo. Esta disminución depende de la porosidad del obstáculo, es decir, de cómo de “abierto” sea el obstáculo. Observar ejemplos en las figuras 7 y 8.

El efecto de frenado del viento que un obstáculo produce aumenta con la altura y la longitud del mismo. El efecto será más pronunciado cerca del obstáculo y cerca del suelo. En el cálculo de potencia de un aerogenerador siempre hay que tener en cuenta los obstáculos próximos a la turbina (a menos de un kilómetro en cualquiera de las direcciones más importantes del viento).

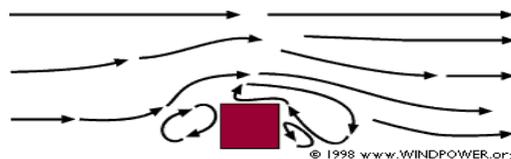


Figura 7.- Vista lateral de la corriente de viento alrededor de un obstáculo¹⁹

¹⁸ Tomada de <http://www.meteodyn.com/es/software/urbawind.html>

¹⁹ Tomada de <http://www.windpower.org>

Se puede observar la turbulencia de la circulación de aire corriente abajo.

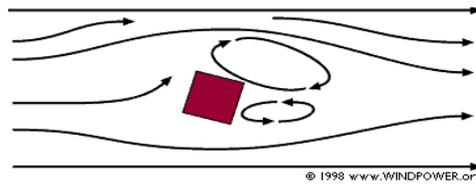


Figura 8.- Vista superior de la corriente de aire alrededor de un obstáculo²⁰

- **Orografía** influencia del contorno del terreno sobre el viento.

2.2 Fundamentos teóricos de las aplicaciones para medir la energía eólica.

2.2.1 WindFarmer¹¹

WindFarmer es propiedad de la organización Garrad Hassan (Bristol, Reino Unido). Es un software propietario, utilizado por desarrolladores, consultores, propietarios, operadores y fabricantes de proyectos eólicos de todos los tamaños y ubicaciones, tanto en tierra firme y mar adentro. Combina todos los aspectos de evaluación de parques eólicos y procesamiento de datos, en un programa de diseño integrado.

Este software está compuesto por 7 módulos, los cuales son: Módulo Base, Módulo de Visualización, Módulo MCP, Módulo de intensidad de la turbulencia, Módulo Financiero, Módulo eléctrico, Módulo de Efecto Sombra.

Descripción de los módulos que conforman el GH WindFarmer

Módulo base: Este módulo es el núcleo de GH WindFarmer. Tiene las capacidades fundamentales, necesarias para el diseño de un parque eólico profesional. Sus características principales es la de ofrecer un completo y detallado cálculo del rendimiento energético, análisis de incertidumbre, modelado del ruido, funciones de mapeo y un potente optimizador automático de distribución.

Los otros módulos WindFarmer GH exigen el Módulo Base. Los resultados de su análisis se exportan a Microsoft Word TM, Microsoft Excel TM y formatos de texto plano para máxima comodidad.

Módulo de visualización: Este módulo permite modelar y demostrar el impacto visual de un parque eólico antes de que sea construido. Incluye el análisis visual de las zonas de influencia, una representación virtual a través de fotorrortajes y la consideración de estaciones de radar.

²⁰ Tomada de <http://www.windpower.org>

Módulo MCP+: Proporciona herramientas para la evaluación de los datos de vientos medidos. Series cronológicas de datos medidos, pueden ser importados, trazados, documentados y luego hacer la correspondencia con los datos de los vientos medidos a largo plazo.

Módulo de intensidad de la turbulencia: este módulo proporciona un nivel avanzado de modelización del flujo del viento, la turbina y el rendimiento de la turbina dentro de un parque eólico.

Los datos de predicción detallados en este módulo permiten al usuario comparar la salida para cada velocidad y dirección del viento de un parque eólico previsto, lo cual serviría para garantizar el rendimiento de un parque eólico bajo ciertas circunstancias.

Módulo financiero: Se ha diseñado para permitir al usuario integrar la evaluación financiera de proyectos de energía eólica con la fase de diseño del proyecto.

Los usuarios pueden importar su propio modelo financiero o utilizar el modelo financiero incluido en el paquete. Cualquiera que contenga una hoja de cálculo con un modelo de costo de un parque eólico, pueden cargar dinámicamente los elementos de su modelo en el Módulo Base de GH WindFarmer.

Módulo eléctrico: Este módulo permite al usuario diseñar el esquema eléctrico de un parque eólico, por ejemplo:

- Comprobar la sobrecarga de los transformadores, los cables y líneas.
- Calcular las pérdidas de los cables eléctricos, líneas y transformadores.
- Calcular la producción anual de energía reactiva y el consumo de las turbinas, cables, transformadores, líneas y su valor anual.

Las propiedades de los distintos componentes se almacenan en un archivo de la biblioteca del módulo, que puede ser actualizado y consultado cuando sea necesario.

Módulo de efecto sombra: En este módulo se calcula la incidencia de la sombra en un receptor o en forma de mapa para un determinado diseño y topografía. Las turbinas que causan el efecto sombra y los intervalos de tiempo de ocurrencia pueden ser identificadas. Algunas de las actividades que permite el módulo son:

- Determinar y precisar el efecto sombra para un año.
- Considerar la posibilidad de la compensación y la orientación del rotor de la turbina y la torre.
- Crear los mapas de la aparición del efecto sombra una vez al año o por días.
- Analizar el efecto sombra en puntos específicos de los receptores, tomando en cuenta la elevación y la orientación.
- Identificar la sombra de cada uno de los períodos de la turbina en cada uno de los receptores.

2.2.2 WindPRO²¹

Es un paquete de software que contiene varios módulos cada uno de los cuales permite analizar los diferentes aspectos que implica la planeación de un parque eólico.

WindPRO es un software modular basado en Windows 2000/XP/Vista para el diseño y la planificación de los parques eólicos. Debido a su estructura modular, se puede elegir sólo los módulos de acuerdo a los requerimientos que se tenga.

Los diferentes módulos en WindPRO están plenamente integrados, lo que significa que si existen cambios en los datos de entrada en alguno de los módulos serán automáticamente registrados en el resto de módulos y los cálculos para el proyecto serán modificados en consecuencia. En la figura 9 se muestra los diferentes módulos que contiene el programa.



Figura 9.- Módulos del software WindPRO²²

Este software ayuda a proyectar un parque eólico en función de las mediciones de viento, topografía del lugar y máquinas elegidas.

La estructura de este software se divide en conjuntos de módulos especializados en distintas tareas.

Descripción de los módulos que conforman el WindPRO

CONJUNTO BASIS

Módulo “Basis”: El módulo BASIS en WindPRO es necesario para la utilización de cualquier otro módulo de cálculo. Contiene los siguientes elementos:

Administrador de proyectos: es una herramienta para la administración de proyectos. La presentación de los proyectos es en forma de una lista o un mapa que posibilita usar criterios de filtros diferentes.

²² Tomada de <http://normawind.com/>

Catálogo de AGs: el catálogo de AGs contiene datos de más de 700 tipos de AGs diferentes. Los datos se actualizan constantemente y se pueden completar con definiciones de aerogeneradores hecha por el cliente.

El sistema de manejo de mapas: es la herramienta para vincular mapas escaneados o mapas de internet u otras fuentes digitales en WindPRO, permitiendo que estén disponibles para el trabajo del proyecto y en los datos de entrada, que se hace directamente encima de estos mapas digitales de fondo.

Herramientas especiales: proporciona herramientas de recorte y ajuste de datos digitales; presentación del perfil de terreno incluyendo AGs y torres de medición; compositor de mapas para crear mapas en los informes con resolución especificada y leyendas personalizadas, entre otras.

Servicios de datos en línea: con acceso gratuito a datos Shuttle Radar Topography Mission de la NASA - datos de curvas de nivel cubriendo la mayor parte del mundo; datos de rugosidad de diferentes fuentes, imágenes de satélite (todo el mundo); otros mapas para utilizar como mapas de fondo; datos de viento de cobertura global NCEP/NCAR (solo con el módulo MCP).

Herramientas de exportación para presentar proyectos de parque eólico como turbinas fotorealistas, fotomontajes, mapas de recurso eólico, entre otros, en Google Earth.

CONJUNTO ENERGY

Este conjunto está compuesto por los siguientes módulos:

Módulo Atlas: El módulo ATLAS calcula la producción de energía a partir del método Wind Atlas, para el que son necesarios una descripción del terreno (rugosidad, orografía y obstáculos), estadísticas de viento (datos eólicos limpios de la influencia del terreno local) y curvas de potencia.

Módulo Meteo: El módulo METEO tiene dos funciones:

- Importar, analizar y presentar los datos eólicos medidos (monitorización de datos eólicos).
- Calcular el rendimiento energético de un AG a partir de datos eólicos medidos en el terreno (sin aplicar un modelo de flujo como se hace en WAsP).

El módulo METEO también incluye la herramienta ANALIZADOR METEO para la comparación gráfica de datos de distintas torres de medición, sustitución de datos entre diferentes alturas de medida y torres, comparación gráfica de datos eólicos de diferentes torres y predicción cruzada de datos eólicos a partir de datos de diferentes torre de medición y/o alturas.

Módulo WAsP: este módulo se utiliza para relacionar WindPRO con WAsP de Risø. A diferencia del módulo ATLAS, que se limita a condiciones del terreno simples, el interfaz WAsP tiene en cuenta los datos de obstáculos definidos libremente. Toda la introducción de datos se lleva a cabo en WindPRO y el módulo de interfaz utiliza el software WAsP de Risø como “motor de cálculo” para la estimación de la distribución de la velocidad del viento a partir de la estadística del viento y la descripción del terreno.

Módulo Windsim: el módulo sirve para generar en una zona definida un mapa de recursos eólicos, el cual puede ser usado para calcular el esperado rendimiento energético de un aerogenerador o parque eólico. El cálculo puede ser realizado para emplazamientos con terrenos complejos o normales. Los datos de las mediciones del viento dentro del área de cálculo tienen que estar a disposición.

Módulo Resource: este módulo calcula un mapa del recurso eólico, para un área seleccionada gráficamente con una resolución configurable. El cálculo precisa el software WAsP y escribe el resultado a un archivo, que contiene los parámetros Weibull A y K para cada dirección del viento y altura. Incluso calcula automáticamente áreas grandes mediante varios archivos con datos de rugosidad y curvas de nivel, de modo que se puede evitar la mayor parte de las tareas manuales realizadas directamente desde WAsP. Los resultados se pueden presentar en m/s, W/m² o MWh/año para un tamaño de AG específico.

Módulo Park: es una herramienta para el cálculo de la producción en uno o varios parques eólicos. Se pueden utilizar AGs ya existentes o nuevos y tratarse separadamente en las impresiones, aunque todos sean incluidos en los cálculos. Incluso se calcula en un solo proceso, si es necesario, la pérdida de energía en AGs existentes causada por los nuevos AGs. No existen límites en la utilización de distintos tipos de AG o alturas de buje en el mismo cálculo. Con la estructura por capas de WindPRO, se pueden comparar varios diseños diferentes entre ellos.

Módulo Optimize: opera mediante dos métodos diferentes que se pueden utilizar para la optimización, tanto de forma independiente como combinada:

Método A: el software puede generar automáticamente una disposición a partir de un amplio rango de parámetros (por ejemplo ángulos, distancias, distancia entre filas, etc.). Se pueden digitalizar fronteras para mantener la disposición dentro de un área limitada. Cada cálculo se puede exportar a una hoja de cálculo y procesarse para determinar la mejor disposición costo-eficiencia.

Método B: optimización automática de una disposición de AGs respecto la producción total de energía dentro de áreas determinadas. El proceso de optimización puede ajustar automáticamente la disposición para asegurar las distancias requeridas respecto los vecinos.

CONJUNTO ENVIRONMENT

Este conjunto está compuesto por los siguientes módulos:

Módulo Decibel: facilita los cálculos de ruido. Se pueden utilizar aerogeneradores nuevos y ya existentes, y es posible definir áreas sensibles al ruido (ubicaciones puntuales) así como áreas indicadas mediante polígonos. También es posible introducir el nivel de ruido de fondo inicial sin AGs si es conocido, y después calcular el ruido adicional generado por las turbinas.

Módulo Shadow: este módulo permite calcular las horas anuales del impacto por estelas de sombra generados por uno o más AGs, tanto para receptores específicos como en un área determinada. Como parte de los cálculos, el módulo verifica que no haya contacto visual entre los receptores y los AGs mediante un pre-cálculo de zonas de influencia visual dentro del área. Se puede llevar a cabo un cálculo del peor caso posible a partir del impacto máximo posible o un valor más realista que tenga en cuenta las previsiones meteorológicas.

Módulo ZVI: permite al usuario analizar el efecto visual a larga distancia de los AGs y evaluar como varios grupos de AGs afectan al impacto visual en una región. En un cálculo ZVI, el usuario puede incluir en los cálculos bosques, pueblos u otros elementos de manera opcional.

Módulo Impact: se puede utilizar para informar a los vecinos adyacentes al parque eólico planeado, acerca de los impactos medioambientales derivados del proyecto que pueden sufrir de manera individual. Esta información precisa suele evitar la oposición y protestas innecesarias al proyecto por parte de los vecinos.

CONJUNTO GRID & PLANNING

Este conjunto está compuesto por los módulos:

Módulo eGRID: este módulo se utiliza para el diseño y cálculo de la conexión a la red del parque eólico. Alguno de los cálculos que puede realizar son los siguientes:

- Verificación del diseño de los cables y los transformadores (carga como porcentaje de la capacidad).
- Variaciones de tensión de estado estacionario a partir de dos situaciones de carga libremente configurables o autodefinidas.
- Potencia y corriente de cortocircuito.
- Fluctuaciones de tensión (flicker a largo plazo).
- Verificación de los valores calculados con restricciones dadas por la utilidad.
- Listado de cables y componentes utilizados para el cálculo del presupuesto, incluyendo tanto la longitud de cable y de la excavación, teniendo en cuenta la topografía y las pendientes.

Módulo WindPLAN: este módulo se utiliza para la planificación espacial de turbinas a nivel regional; ofreciendo varias herramientas que sirve de guía a través del proceso de planificación del parque, desde cálculos de verificación de conflictos basados en distancia requeridas, a la ponderación avanzada de recursos eólicos por el grado de sensibilidad en el paisaje.

2.2.3 OpenWind²³

OpenWind es un software de código abierto desarrollado por AWS Truewind, LLC, orientado a profesionales, ingenieros y científicos que trabajan en el campo técnico de la consultoría eólica, en especial en el diseño de parques y la estimación de producción energética de los proyectos.

OpenWind pertenece a la familia de programas como GH WindFarmer y es un medio mediante el cual las mejores prácticas del sector pueden desarrollarse en paralelo con los avances sobre la teoría del diseño de parques eólicos, el análisis de carga de aerogeneradores y la simulación de recursos eólicos.

En su interfaz de usuario, el software es similar al modelo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), al igual que los tipos de datos, y la arquitectura. Esto permite que el programa pueda ser aplicado a una amplia gama de parques eólicos de diferentes retos de diseño complejidad y tamaño. Sin embargo, sus cálculos básicos de energía están diseñados para ser funcionalmente idéntica a los de otros importantes programas de diseño de parque eólico.

El programa es en la medida de lo posible, enlazable en torno a los tipos estándar de datos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y además emplea un estilo SIG de interfaz para permitir la perfecta integración de datos geográficos y modelado.

OpenWind está diseñado para ser utilizado por los científicos, los analistas de viento, y los ingenieros de diseño de parques eólicos. El software es gratis para el público para la descarga y uso. OpenWind fue lanzado en octubre de 2008 en la conferencia anual de la asociación canadiense de energía eólica.

Descripción del Funcionamiento de OpenWind

OpenWind permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas cuando se requiera, dando la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva capa.

La superposición de la información es muy importante para obtener visualización correcta del mapa final; el programa permite reordenar las capas según se requiera.

²³ Tomado de: <http://awsopenwind.org/>

En OpenWind las interacciones entre capas son bilaterales, es decir sólo puede existir interacción entre dos capas, la jerarquía en la creación de capas es tomada en cuenta y es importante al momento de realizar cambios; debido a que los datos introducidos en la primera capa puede tener efectos en las capas creadas después de esta.

La interfaz de OpenWind está compuesta por los siguientes componentes:

Capa Vectorial: esta capa sirve como capa base, en la cual se cargan los archivos que contiene la información que se desea utilizar en el modelado.

Las capas se pueden ocultar, eliminando sus marcas de verificación en el panel y de esta manera quedarse solo con las capas que se quieran utilizar.

Carga de un recurso eólico (archivo WRG): en el software OpenWind se puede cargar archivos tipo WRG en la *cuadrícula de Recursos Eólicos*. Por medio de este archivo WRG, se cargan 3 capas Raster (velocidad media del viento, la media de densidad de potencia y los datos derivados de la elevación del terreno.)

Carga de distribución de frecuencias del viento (archivo TAB): el software nos permite realizar la carga de frecuencia de distribución de viento; en esta capa se colocan las propiedades del mástil, para luego realizar las simulaciones.

Carga de recurso eólico en una zona: el software permite realizar la carga de recurso eólico por medio del archivo WRG, para poder utilizar la distribución de frecuencia de viento. Con la capa mástil abierta se procede a cargar el contenido del archivo WRG, una vez se carga este contenido no pueden ser modificadas las coordenadas X y Y del mástil.

Capas Raster: ésta capa permite añadir parámetros al área en la cual se desea trabajar; los parámetros pueden ser los siguientes:

- Precisión de los datos de elevación del terreno.
- Longitud de rugosidad.
- La vegetación del terreno.
- Altura del obstáculo.

El software OpenWind admite la creación de nuevas capas, al realizar esta función se crea una **capa site**, la cual es un tipo de capa vectorial que tiene las mismas propiedades que las capas descritas con anterioridad.

Esta **capa site** se utiliza para definir el tipo de turbina, la densidad del aire del sitio, distancia de separación entre las turbinas, en la zona a modelar; en fin sirve para la creación y la especificación de propiedades de la turbina que se colocará en un sitio o lugar.

Además permite añadir restricciones, para poder aplicar limitaciones al sitio de trabajo (terreno) y conocer donde será la posición definitiva de las turbinas.

En OpenWind, hay varias maneras de aplicar las restricciones de sitio usando una variedad de formatos de entradas de datos. Sin embargo, todos afectan "**la capa validity**" del sitio.

Con el fin de limitar aún más la capa site, la forma más sencilla es añadir algunas capas que contengan las limitaciones. Para añadir las limitaciones, se deben arrastra las siguientes capas a la capa site.

- Wetland_polygons1.shp
- Wetland_polygons2.shp
- Roads.shp
- Buildings.shp
- E_transln_polyline.shp

Es conveniente trabajar con una sola capa cuando se tiene capas que tienen los mismos campos e iguales tipos de datos, tal es el caso de las capas Wetland_polygons1.shp y Wetland_polygons2.shp, para lograr la fusión se arrastra una capa a la otra, luego se debe añadir limitación a cada capa.

Limitaciones usando Rasters: OpenWind tiene una capa llamada “FirstSite-derived”. Esta capa es una capa raster que contiene células con un valor de 0,0 o 100,0 (asumiendo que se aceptan los valores por defecto).

Para poder visualizar esta capa es necesario arrastrarla fuera de la jerarquía del sitio y se coloca encima de la capa donde se cargó el archivo WRG como una capa de nivel superior, para de esta forma lograr ver las turbinas de su sitio más claramente. El área de trabajo tiene el aspecto que se muestra en la figura 10.

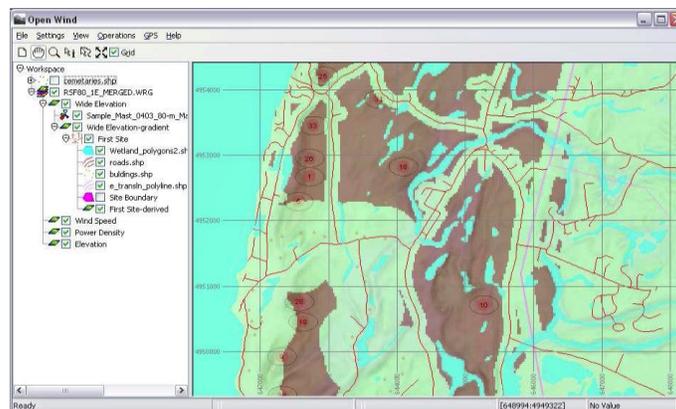


Figura 10.- Muestra de la capa Raster con limitaciones²⁴

Las manchas oscuras son las zonas donde la capa site es válida y las zonas verdes indica las zonas donde la capa site no es válida debido a las limitaciones que se han definido.

Las zonas de color marrón impiden el flujo de agua e indica la separación requerida para carreteras, líneas eléctricas y casas. También contiene todos los lugares donde se ha posicionado turbinas.

²⁴ Tomada de <http://www.awstruepower.com>

Terreno degradado como restricción: Una limitación común es el degradado del terreno. El software permite añadir un degradado de terreno, reordenando la jerarquía de capas de tal manera que la pendiente del terreno este un nivel superior de la capa site.

La interfaz de OpenWind permite dividir el sitio en dos capas, utilizando dos capas de polígonos por separado. Cada sitio proporciona su propia WRG y su capa mástil, un ejemplo de este caso se muestra en la figura 11.

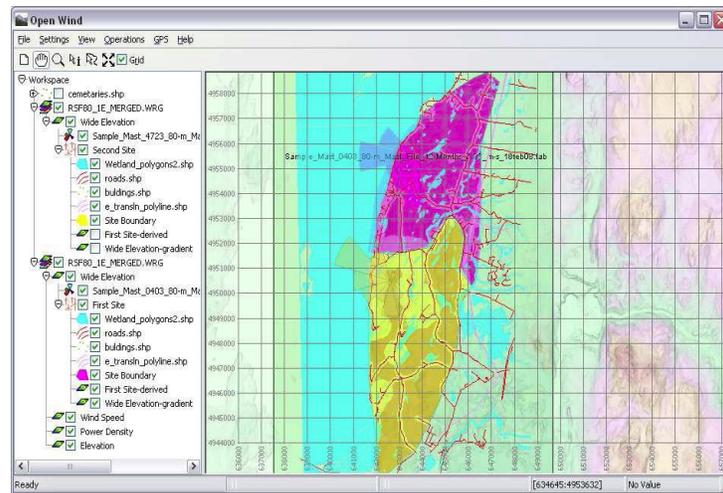


Figura 11.- Muestra de capas (con su propio sitio de límites y limitaciones)²⁵

Se puede añadir turbinas en cada capa site e iniciar el optimizador; si se detiene el optimizador y se ejecuta una captación de energía, se recibirá un breve informe y cerca de la parte superior del informe se podrá ver un resumen con la información sobre la captación de energía de cada turbina.

2.3 Calidad de software⁵

Hablar de calidad del software implica la necesidad de contar con parámetros que permitan establecer los niveles mínimos que un producto de este tipo debe alcanzar para que se considere de calidad.

A través del tiempo se han considerado diferentes perspectivas de la definición de calidad de software.

[Pressman, 1993] define la calidad de software como “Concordancia con los requisitos funcionales y de rendimiento establecidos con los estándares de desarrollo explícitamente documentados y con las características implícitas que se espera de todo software desarrollado profesionalmente”.

²⁵ Tomada de <http://www.awstruepower.com>

[Pressman, 1998] define la calidad de software como “Concordancia del software producido con los requerimientos establecidos, con los estándares de desarrollo prefijados y con los requerimientos implícitos no establecidos formalmente, que desea el usuario”.

[ISO][AENOR] define la calidad de software como “El conjunto de características de una entidad que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades expresadas y las implícitas” ISO 8402 (UNE 66-001-92).

Se puede decir que la calidad es sinónimo de eficiencia, flexibilidad, corrección, confiabilidad, mantenibilidad, portabilidad, usabilidad, seguridad e integridad. El inconveniente es que la mayoría de las características que definen al software no se pueden cuantificar fácilmente. Generalmente, se establecen de forma cualitativa, lo que dificulta su medición, ya que se requiere establecer métricas que permitan evaluar cuantitativamente cada característica dependiendo del tipo de software que se pretende calificar.

2.3.1 Factores que determinan la calidad del software

Se clasifican en tres grupos:

Operación del producto: Características operativas

- Corrección (¿Hace lo que se le pide?)

El grado en que una aplicación satisface sus especificaciones y consigue los objetivos encomendados por el cliente.

- Fiabilidad (¿Lo hace de forma fiable todo el tiempo?)

El grado en que se puede esperar de una aplicación lleve a cabo las operaciones especificadas y con la precisión requerida.

- Eficiencia (¿Qué recursos hardware y software necesita?)

La cantidad de recursos hardware y software que necesita una aplicación para realizar las operaciones con los tiempos de respuesta adecuados.

- Integridad (¿Puedo controlar su uso?)

El grado con que puede controlarse el acceso al software o a los datos a personal no autorizado.

- Facilidad de uso (¿Es fácil y cómodo de manejar?)

El esfuerzo requerido para aprender el manejo de una aplicación, trabajar con ella, introducir datos y conseguir resultados.

Revisión del producto: Capacidad para soportar cambios

- Facilidad de mantenimiento (¿Puedo localizar los fallos?)

El esfuerzo requerido para localizar y reparar errores.

- Flexibilidad (¿Puedo añadir nuevas opciones?)

El esfuerzo requerido para modificar una aplicación en funcionamiento.

- Facilidad de prueba (¿Puedo probar todas las opciones?)

El esfuerzo requerido para probar una aplicación de forma que cumpla con lo especificado en los requisitos.

Transición del producto: Adaptabilidad a nuevos entornos

- Portabilidad (¿Podré usarlo en otro ambiente?)

El esfuerzo requerido para transferir la aplicación a otro hardware o sistema operativo.

- Reusabilidad (¿Podré utilizar alguna parte del software en otra aplicación?)

Grado en que partes de una aplicación pueden utilizarse en otras aplicaciones.

- Interoperabilidad (¿Podrá comunicarse con otras aplicaciones o sistemas informáticos?)

El esfuerzo necesario para comunicar la aplicación con otras aplicaciones o sistemas informáticos.

Se conocen muchos estudios que establecen propuestas para el establecimiento de los factores cualitativos que afectan la calidad del software; sin embargo, es responsabilidad de la organización o persona que realiza la evaluación, el especificar precisamente su propio modelo.

2.3.2 Norma ISO/IEC 9126

Durante muchos años se buscó en la Ingeniería de Software un modelo único para expresar calidad, para poder comparar productos entre sí. En 1992 una variante del modelo de McCall fue propuesta como estándar internacional para medición de calidad de software: **ISO 9126 Software Product Evaluation: Quality Characteristics and Guide lines for their Use**, es el nombre formal.²⁶

ISO 9126 está supervisado por el proyecto SQUARE, ISO 25000:2005, el cual sigue los mismos conceptos. ISO 9126 define un modelo de calidad del software en el que la calidad se define como la totalidad de características relacionadas con su habilidad para satisfacer necesidades establecidas o implicadas.

El estándar describe un modelo de calidad para los productos de software dividido en dos partes:

- Primera Parte

Calidad interna: medible a partir de las características intrínsecas, como el código fuente. Se mide por las propiedades estáticas del código, utilizando técnicas de inspección.

Calidad externa: medible en el comportamiento del producto, como en una prueba. Se mide por las propiedades dinámicas del código cuando éste se ejecuta.

- Segunda Parte

Calidad en uso: describe las métricas aplicables para el sistema final en condiciones reales, durante la utilización efectiva por parte del usuario.

Calidad interna y externa

Esta primera parte del modelo especifica seis características, las cuales, a su vez, están subdivididas en sub-características. Estas sub-características se manifiestan externamente cuando el software es usado como parte de un sistema de computadora, y son el resultado de atributos internos de software. En la figura 12, se puede observar el modelo asociado a la calidad Interna y externa del software.



Figura 12.- Modelo de calidad Interna y Externa ²⁷

²⁷ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo

Calidad en uso

La segunda parte del modelo, especifica cuatro características: eficacia, productividad, satisfacción y seguridad, para la calidad en uso, tal y como se muestra en la figura 13.



Figura 13.- Modelo de aspecto de la calidad en Uso²⁸

Al unir la calidad interna y externa con la calidad en uso se define un modelo de evaluación más completo. Si se unen los dos modelos podríamos definir que los seis indicadores del primer modelo tienen sus atributos y el modelo de calidad en uso con sus 4 indicadores pasarían a ser sus atributos, mirándolo gráficamente quedaría como lo indica la figura 14.



Figura 14.- Modelo de calidad ISO/IEC 9126²⁹

Modelo de calidad externa e interna y calidad en uso

En la primera parte del estándar, ISO 9126-1, se establecen categorías para las cualidades de la calidad externa e interna y calidad en uso del software. Dicho estándar ha sido desarrollado en un intento de identificar los atributos clave de calidad para el software. El estándar propone un modelo de calidad categorizando la calidad de los atributos software en seis características (funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad), las cuales son sub-divididas en sub-característica.

²⁸ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo

²⁹ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo

A continuación se describe cada una de las características y sub-características:

Funcionalidad: se define como un conjunto de atributos que atañen a la existencia de un conjunto de funciones y sus propiedades específicas. Las funciones son aquellas que satisfacen lo indicado o implica necesidades. Esta característica del software puede ser desglosada en varias sub-características. Ver figura 15.



Figura 15.- Aspectos de calidad funcionalidad³⁰

- Adecuación: capacidad del software de proporcionar un conjunto apropiado de funciones para tareas específicas y objetivos del usuario.
- Exactitud: capacidad del software para proporcionar resultados correctos o que necesitan un determinado grado de precisión.
- Interoperabilidad: capacidad del software de interactuar con uno o más sistemas especificados.
- Seguridad: capacidad del software de proteger la información y los datos.
- Conformidad de la funcionalidad: capacidad del software de cumplir los estándares referentes a la funcionalidad.

Confiabilidad: conjunto de atributos que atañen a la capacidad del software para mantener su nivel de prestación bajo condiciones establecidas durante un tiempo establecido. En la figura 23 se observa la descomposición de esta característica.

³⁰ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo



Figura 16.- Aspectos de calidad confiabilidad³¹

- Madurez: capacidad del software para evitar fallos como resultados de defectos del software.
- Tolerancia a fallos: capacidad del software para mantener un nivel especificado de rendimiento en casos de fallos del software
- Recuperabilidad: capacidad para restablecer el nivel de rendimiento y de recuperación de datos afectados directamente en el caso de un fallo.
- Conformidad de la fiabilidad: capacidad del software de cumplir a los estándares o normas relacionadas a la fiabilidad.

Usabilidad: Capacidad del producto software de ser entendido, aprendido, usado y atraer al usuario, cuando es utilizado bajo ciertas condiciones específicas.

La usabilidad está determinada por los usuarios finales y los usuarios indirectos del software, dirigidos a todos los ambientes, a la preparación del uso y el resultado obtenido. Se descompone como se muestra en la figura 17.



Figura 17.- Aspectos de calidad usabilidad³².

³¹ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo

³² Tomada de <http://bitacoradesebastien.pbworks.com/w/page/6305492/Parametros%20de%20usabilidad>

- **Comprensión:** la capacidad del software que permite al usuario entender si el producto es aceptable, y cómo puede ser usado para tareas particulares y las condiciones de uso de la aplicación. En este criterio se debe tener en cuenta la documentación y de las ayudas que el software entrega.
- **Aprendizaje:** capacidad del producto software que permite al usuario aprender la aplicación software
- **Operatividad:** capacidad del producto software que permite al usuario controlar y usar la aplicación software
- **Atracción:** capacidad del producto software de ser atractivo al usuario.
- **Conformidad de uso:** la capacidad del software de cumplir los estándares o normas relacionadas a su usabilidad.

Eficiencia: capacidad del producto software para proporcionar un rendimiento apropiado relacionado con el total de recursos utilizados bajo condiciones establecidas. Se debe tener en cuenta otros aspectos como la configuración de hardware, el sistema operativo, entre otros. La eficiencia se subdivide en las características que se muestra en la figura 18.



Figura 18.- Aspectos de calidad eficiencia³³.

- **Comportamiento frente al tiempo:** capacidad del producto software para proporcionar una respuesta y un tiempo de procesamiento apropiados al desarrollar sus funciones bajo condiciones establecidas. Ejemplo, ejecutar el procedimiento más complejo del software y esperar su tiempo de respuesta, realizar la misma función pero con más cantidad de registros.
- **Uso de recursos:** capacidad del producto software para utilizar un apropiado número de recursos y tiempo de ejecución cuando el software desarrolla sus funciones bajo condiciones establecidas.
- **Conformidad de eficiencia:** la capacidad que tiene el software para cumplir con los estándares o convenciones relacionados a la eficiencia.

Mantenibilidad: Capacidad del producto software para ser modificado. Incluyendo correcciones o mejoras del software, a cambios en el entorno, y especificaciones de requerimientos funcionales. Se descompone como se muestra en la figura 19.

³³ Tomada de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1690-75152009000300002&script=sci_arttext



Figura 19.- Aspectos de calidad mantenibilidad³⁴

- Capacidad de ser analizado: capacidad del producto software para diagnosticar deficiencias o causas de fallos en el software
- Capacidad de ser modificado: capacidad del producto software que permite la ejecución de una modificación específica en ella misma., incluye también codificación, diseño y documentación de cambios.
- Estabilidad: capacidad del producto de software para evitar defectos no esperados debidos a modificaciones en el mismo.
- Facilidades para pruebas: capacidad del producto software que permite al software que ha sido modificado ser evaluado.
- Conformidad de facilidad de mantenimiento: la capacidad que tiene el software para cumplir con los estándares de facilidad de mantenimiento.

Portabilidad: Capacidad del producto software para ser transferido de un entorno a otro. El entorno se interpreta tanto a nivel software y hardware, como aquel entorno relacionado con la organización. Se divide como se muestra en la figura 20.



Figura 20.- Aspectos de calidad portabilidad³⁵

³⁴ Tomado de: Guía técnica para evaluación de software. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo

³⁵ Tomada de <http://portal.educ.ar/debates/educacionytic/formacion-docente/los-tiempos-de-la-portabilidad.php>

- Adaptabilidad: capacidad del producto software para ser adaptado a diferentes entornos especificados sin aplicar acciones alejadas de aquellas que el propio software proporcione.
- Facilidad de instalación: capacidad del producto software para ser instalado en un entorno específico.
- Coexistencia: capacidad del producto software de coexistir con otros programas independientes en un entorno común y compartiendo recursos también comunes.
- Reemplazabilidad: capacidad del producto software de ser utilizado en lugar de otro producto software específico para el mismo propósito que éste y en un entorno similar.
- Conformidad de portabilidad: capacidad que tiene el software para cumplir con los estándares relacionados a la portabilidad.

Calidad en uso: es la calidad del software que el usuario final refleja, la forma como el usuario final logra realizar los procesos con satisfacción, eficiencia y exactitud, como se muestra en la figura 21. La calidad en uso debe asegurar la prueba o revisión de todas las opciones que el usuario trabaja diariamente y los procesos que realiza esporádicamente relacionados con el mismo software.



Figura 21.- Modelo de calidad en uso³⁶

- Eficacia: capacidad del software para permitir a los usuarios finales realizar los procesos con exactitud e integridad.
Productividad: es la forma como el software permite a los usuarios emplear cantidades apropiadas de recursos, en relación a la eficacia lograda en un contexto específico de uso.
- Seguridad: se refiere al que el Software no tenga niveles de riesgo para causar daño a las personas, instituciones, software, propiedad intelectual o entorno. Los riesgos son normalmente el resultado de deficiencias en la funcionalidad (Incluyendo seguridad), fiabilidad, usabilidad o facilidad de mantenimiento.
- Satisfacción: es la respuesta del usuario a la interacción con el software, e incluye las actitudes hacia el uso del mismo.

³⁶ Tomada de <http://jugabilidad.wikispaces.com/Est%C3%A1ndares+de+Calidad+en+S.I.>

2.5 Instrumento de evaluación de calidad.

Un instrumento de evaluación es una herramienta que se elige o se construye para medir o valorar aspectos o características identificados en un proceso de evaluación. Un cuestionario es un instrumento de recolección de datos, integrado por preguntas que solicitan información referida a un tema de investigación. Se conocen varios tipos de cuestionario.

- **Estructurados:** Las preguntas y posibles respuestas están formalizadas y estandarizadas ofrecen una opción al entrevistado entre varias alternativas.
- **No estructurados:** suelen ser preguntas generales, que están centradas en el tema de la investigación y que permiten al entrevistador mayor libertad en la formulación de preguntas específicas. Las preguntas se hacen en cualquier orden y utilizando un vocabulario adecuado al nivel de cada entrevistado.
- **Semi-estructurados:** se presenta un guión con las principales preguntas y un orden que no es riguroso ni tampoco la expresión con la que se formulan las preguntas.

Luego de escogido el tipo de cuestionario que se adapte a la investigación que se desea hacer, se debe escoger el tipo de preguntas que este contendrá, las cuales pueden ser:

- **Abiertas:** se le da libertad al entrevistado para contestar con sus propias palabras y expresar las ideas que considera adecuadas a la pregunta.
- **Cerradas:** fuerza al entrevistado a escoger entre un conjunto de alternativas.

Dentro de los cuestionarios se debe diseñar “escalas de medición”, para cuantificar la opinión de cada uno de los encuestados. “Uno de los métodos más conocidos y bastante popularizado es la escala de Likert, la cual fue diseñada por Rensis Likert a principios de los treinta; sin embargo, se trata de un enfoque vigente.” [SAMPIERI, 1994].

2.5.1 La Escala de Likert⁹

Es un tipo de instrumento de medición, o de recolección de datos, cuya finalidad es la de medir actitudes. Consiste en un conjunto de ítems bajo la forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se solicita la reacción (favorable o desfavorable, positiva o negativa) de los individuos. Las alternativas o puntos, que maneja esta escala son las siguientes:

Alternativa A:

- (5) Muy de acuerdo
- (4) De acuerdo
- (3) Ni de acuerdo, ni en desacuerdo (Afirmación)
- (1) Muy en desacuerdo

Alternativa C:

- (5) Totalmente de acuerdo
- (4) De acuerdo
- (3) Neutral (Afirmación)
- (2) En desacuerdo
- (1) Totalmente en desacuerdo

Alternativa B:

- (5) Definitivamente sí
- (4) Probablemente sí
- (3) Indeciso (Afirmación)
- (2) Probablemente no
- (1) Definitivamente no

Alternativa D:

- (5) Completamente verdadero
- (4) Verdadero
- (3) Ni falso, ni verdadero (Afirmación)
- (2) Falso
- (1) Completamente falso

2.6 Fiabilidad del instrumento de evaluación

El criterio de validez del instrumento tiene que ver con la validez del contenido y la validez de construcción. La validez establece relación del instrumento con las variables que pretende medir y, la validez de construcción relaciona los ítems del cuestionario aplicado; con los basamentos teóricos y los objetivos de la investigación para que exista consistencia y coherencia técnica. Ese proceso de validación se vincula a las variables entre sí y la hipótesis de la investigación.³⁷

El criterio de confiabilidad del instrumento, se determina en la presente investigación, por el coeficiente de Alfa Cronbach.

Coeficiente alfa de Cronbach³⁸

El coeficiente alfa fue descrito en 1951 por Lee J. Cronbach. Es un índice usado para medir la confiabilidad del tipo consistencia interna de una escala, es decir, para evaluar la magnitud en que los ítems de un instrumento están correlacionados. En otras palabras, el alfa de Cronbach es el promedio de las correlaciones entre los ítems que hacen parte de un instrumento. Se utiliza a menudo en el caso de instrumentos que utilizan la escala de medición tipo Likert. Generalmente un grupo de ítems que exploran un factor común muestra un elevado valor de alfa de Cronbach.

La forma más sencilla de calcular el valor del alfa de Cronbach es multiplicar el promedio de todas las correlaciones observadas en los ítems por el número de ítems que componen una escala, y luego dividir el producto entre el resultado de la suma de 1 mas el producto de la multiplicación del promedio de todas las correlaciones observadas por el resultado de la resta de 1 al número de ítems: $\{\alpha = n.p / 1+p (n-1)\}$, donde n es el numero de ítems y p es el promedio de todas las correlaciones.

Fórmulas más sofisticadas para averiguar la consistencia interna de una escala, se calcula a partir de la varianza de cada ítem y la varianza total de la escala: $\{\alpha = n / n-1 (1-Sst^2/sT^2)\}$ donde n es el número de ítems, st^2 es la varianza de cada ítem y sT^2 es la varianza total de la escala.

Interpretación del coeficiente alfa de Cronbach

El valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es de 0.70; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Por su parte, el valor, el valor máximo esperado es 0.90; por encima de este valor se considera que hay redundancia o duplicación. Varios ítems están midiendo exactamente el mismo elemento de un constructor; por lo tanto, los ítems redundantes deben eliminarse. Usualmente, se prefieren valores de alfa entre 0.80 y 0.90.

A continuación se presenta alguna de las ventajas de la aplicación de este coeficiente³⁹:

- Requiere solo una aplicación del instrumento de medición.
- Produce valores que oscilan entre cero (0) y uno (1).
- No es necesario dividir en mitades los ítems del instrumento.
- Se aplica la medición y se calcula el coeficiente.

Marco Aplicativo

Capítulo 3: Marco Aplicativo

El proceso de evaluación de calidad de software de predicción permite probar que las características del software cumplan con los requisitos del cliente, o lo que es lo mismo satisfaga sus necesidades y expectativas. Es por ello que este Trabajo Especial de Grado está enfocado en la propuesta de un proceso de evaluación para las aplicaciones de predicción de potencial eólico; lo que conlleva a la elaboración de un modelo de calidad para este tipo de software y la construcción de un instrumento de valoración de calidad basado en el modelo propuesto. Observar figura 29.⁴⁰



Figura 29.- Proceso de evaluación de calidad

El modelo de calidad propuesto para la evaluación de software de predicción de potencial eólico, se basa en el estándar ISO/IEC 9126. Este estándar no necesariamente se presta a la medición directa. Sin embargo, proporcionan una base valiosa para las medidas indirectas y una lista de verificación para evaluar la calidad de un sistema [PRESSMAN].

Para la elaboración del modelo de calidad fue necesaria la realización de una serie de actividades, que se indican en la figura 3

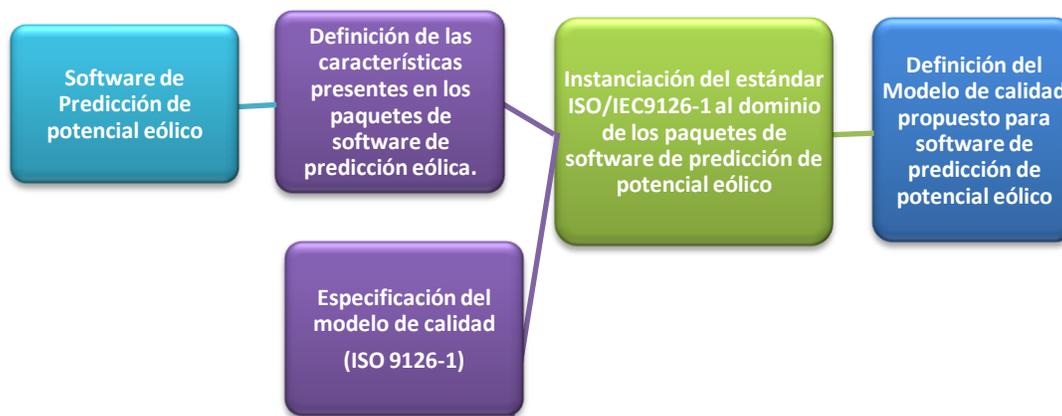


Figura 30.- Proceso de elaboración de modelo de calidad para software de predicción de potencial eólico.

Para la correcta utilización de la energía del viento es imprescindible una adecuada caracterización del recurso eólico a fin de conocer datos importantes que permitan estimar correctamente las potencialidades del lugar. Una mala selección del sitio de emplazamiento puede provocar que la generación de electricidad sea menor que el esperado.

Es por ello que siguiendo la metodología planteada en el marco conceptual de este TEG, a continuación se definen las características que proponemos debería tener un software para caracterizar el recurso eólico de un sitio. Cabe destacar que dichas características son sugeridas tomando en cuenta la información encontrada en las páginas oficiales sobre software eólico.

1.- Definición de las características presentes en los paquetes de software de predicción eólica.

- **Ajustarse a los propósitos:** El software debe contar con funciones que permita realizar las tareas de predicción y simulación requeridas.
- **Proporcionar Estadísticas:** Suministrar informes de los resultados obtenidos, acordes a los datos suministrados y las simulaciones realizadas.
- **Proveer integridad en los cálculos:** Se refiere a la capacidad del producto software para proporcionar los resultados correctos o acordados con el grado necesario de precisión acorde a los datos de entrada suministrados.
- **Facilitar la interoperabilidad:** Es decir el software debe tener la capacidad de interactuar con él o más sistemas específicos.
- **Permitir la exportación e importación de datos:** El software debe ofrecer mecanismo para incorporar información de archivos que fueron creados en otra aplicación, o que pertenecen a versiones antiguas de la misma aplicación; así como transferir datos desde un programa hacia otro.
- **Proporcionar copia de seguridad o backup:** El software debe realizar copia de seguridad con el fin de que éstas, puedan utilizarse para restaurar el original después de una eventual pérdida de datos y de esta manera garantizar el envío de predicciones realizadas.
- **Ser capaz de recuperarse ante fallas:** El software debe ser capaz de mantener un determinado nivel de rendimiento en caso de fallos de software o en caso de presentarse incumplimientos de las especificaciones de interfaces. Asimismo proveer la recuperación de los datos directamente afectados en caso de fallo.
- **Ofrecer una presentación entendible:** Se refiere a que el software debe proporcionar interfaces de usuario sencillas, claras y fáciles de utilizar para hacer más entendibles, ameno y atractivo el software para el usuario.

- **Proveer Documentación:** El software debe contar con manuales y la documentación necesaria para implantar y utilizar el software; estos deben ser descriptivos, concisos y claros, de tal forma que permita la rápida comprensión.
- **Facilitar mecanismos de soporte:** Se refiere a que los usuarios de la aplicación pueda contar con recursos de ayuda al momento de manipular o presentar problemas con la aplicación.
- **Indicar opciones de licenciamiento del software:** El usuario debe poder conocer los esquemas de licenciamiento ofrecidos para el producto y los costos asociados.
- **Ofrecer un rendimiento eficaz:** Se refiere a la capacidad del software para dar tiempos de respuesta apropiados, tiempos de procesamiento y tasas de rendimientos cuando el desempeño de sus funciones está bajo ciertas condiciones.
- **Especificar requerimientos de hardware:** Describir los requerimientos mínimos de hardware exigidos por el software para su funcionamiento.
- **Permitir la adaptabilidad:** El software debe poder ser adaptado a diferentes entornos utilizando únicamente su propia funcionalidad.
- **Admitir la flexibilidad:** Se refiere a que el software pueda adaptarse a nuevas necesidades con ligeros cambios.
- **Aceptar la reusabilidad:** Se refiere a la posibilidad de poder volver a usar parte del software en otro proyecto.
- **Ser portable:** hace referencia, a si el software se puede usar en otra máquina que utilice un procesador distinto, aunque sea realizando pequeños cambios en el software.

2.- Especificación de un modelo de calidad.

Se decidió utilizar la primera parte del estándar ISO 9126-1, debido a que proporciona un entorno que permite definir un modelo de calidad adaptado a las especificaciones y requisitos esperados en un software eólico de alto nivel. Cabe destacar que se seleccionaron del estándar sólo aquellas sub-características que servirán de base para la elaboración del instrumento de evaluación; con la finalidad de obtener información valiosa.

3.- Instanciación del estándar ISO/IEC9126-1 al dominio de los paquetes de software destinados a la predicción de potencial eólico de una zona.

Mediante un proceso de interpretación se pudo encontrar la analogía entre las características presentes en las aplicaciones de predicción eólica y los aspectos abordados en estándar ISO 9126, lo cual nos permitió llevar a cabo la adaptación del estándar ISO/IEC9126 al dominio de este tipo de software, tomando como premisa que las características y sub-características definidas por el estándar ISO 9126-1 son aplicables a

todo programa. Se establecieron relaciones entre las características presente en este tipo de software y el estándar. Esta correspondencia de características (Estándar ISO/9126-1 – software de predicción eólica) puede ser observada en las tablas 2, 3, 4, 5,6, y 7.

4.- Definición de modelo de calidad propuesto para software de predicción de potencial eólico.

Para realizar este modelo, como se ha mencionado anteriormente se tomó como base la norma ISO-9126; estableciendo relación entre el Estándar ISO y el software de predicción, considerando únicamente las características y sub-características que abarcan los aspectos de calidad deseables en los paquetes de predicción de potencial eólico. Ver tablas 8, 9,10, 11,12 y 13.

Cabe señalar que se descartaron las siguientes sub-característica del estándar ISO en la elaboración de este modelo, en el aspecto **funcionabilidad**: conformidad de la funcionabilidad, en la **confiabilidad**: recuperabilidad, madurez, conformidad de la confiabilidad, en la **usabilidad**: conformidad con la usabilidad, atracción, en la **eficiencia**: conformidad con la eficiencia, en la **mantenibilidad**: estabilidad, capacidad de ser entendido, facilidad de prueba y por ultimo en la **portabilidad**: reemplazabilidad y coexistencia; no fueron considerados en el modelo propuesto debido a que no se adaptaban al contexto de los software de predicción eólica.

A continuación se presenta una serie de tablas que contienen las relaciones establecidas entre el estándar ISO-9126 y el software de predicción de potencial eólico a evaluar. Se considera únicamente las características y sub-características que abarcan los aspectos de calidad de la aplicación de software de potencial eólico, que son importantes para al usuario final según las características deseables en estos tipos de software.

Tabla 2. Característica funcionalidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126.

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Funcionalidad	Adecuación	Verifica si el software de predicción de energía eólica tiene definido claramente los objetivos para lo que fue diseñado: procesamiento de datos eólicos, predicción de potencial eólico y diseño de parques eólicos.
	Exactitud	Identifica si el software de predicción presenta resultados acordes a las necesidades para la cual fue creado: Captura de datos Filtrado y Depuración Técnicas MCP (Medir-Correlacionar-Predecir).
		Identifica la accesibilidad e integración

	Interoperabilidad	con otras herramientas.
	Seguridad	Se refiere a la habilidad de proveer respaldo de seguridad en los datos, de haber alguna falla o error en el sistema.

Tabla 3. Característica confiabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126.

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Confiabilidad	Tolerancia a fallos	Se refiere a que el software de predicción eólico mantenga un nivel específico de funcionamiento. Además, que pueda recuperarse de las fallas.

Tabla 4. Característica Usabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Usabilidad	Comprensión	El software de predicción de potencial eólico debe proporcionar ayuda, documentación entre otras, para facilitar que la estructura lógica del sistema y los conceptos relativos a la aplicación del software, sean entendidos por los usuarios.
	Aprendizaje	El software debe presentar una interfaz intuitiva, para lograr que la aplicación sea sencilla de usar por los usuarios.
	Operatividad	Agrupar los conceptos que evalúan la operación y el control del sistema. Se refiere a la facilidad de obtener la licencia del software de predicción.

Tabla 5. Característica Eficiencia y sus sub-características de ISO/IEC 9126

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Eficiencia	Comportamiento frente al tiempo.	Se relaciona con el tiempo de respuesta para realizar los cálculos necesarios, en la predicción del recurso eólico.

	Uso de recursos.	Está relacionado con los aspectos de las arquitecturas y sistemas subyacentes requeridos para la instalación del software de predicción.
--	------------------	--

Tabla 6. Característica mantenibilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Mantenibilidad	Capacidad de ser modificado.	Define si el software de predicción eólica, puede ser adaptado a requerimientos específicos, en un momento dado.
	Conformidad de facilidad de mantenimiento	Se refiere a la capacidad de contar con soporte técnico.

Tabla 7. Característica Portabilidad y sus sub-características de ISO/IEC 9126

Característica del software de Predicción	Sub-característica del software de Predicción	Definición de la sub-característica
Portabilidad	Adaptabilidad	Evalúa la oportunidad para adaptar el software a diferentes ambientes sin necesidad de aplicarle modificaciones. Evaluar si el software requiere ser ejecutado en un servidor o stand-alone.
	Facilidad de instalación.	Se refiere a la posibilidad de contar con documentación que proporcione orientación sobre la instalación del software.
	Conformidad de portabilidad	Está relacionado a la característica de portabilidad propiamente del software de energía eólica.

3.1 Propuesta de indicadores de calidad para software de predicción.

En esta sección se define el Modelo de Calidad para software de predicción de energía eólica. Se propone la asignación de los indicadores de evaluación por medio de tablas, tomando en cuenta característica o atributo del software eólico.

A continuación se presenta un conjunto de tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13, que especifica el modelo de calidad planteado. Al mismo tiempo, con la finalidad de conocer en profundidad el manejo de los indicadores de evaluación antes mencionados, se presenta en la tablas 8.1,

9.1, 10.1, 11.1, 12.1 y 13.1, la descripción de cada uno de ellos fundamentados en los aspectos del estándar ISO/IEC 9126.

Tabla 8. Modelo de calidad propuesto enfocado en la funcionalidad.

Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Funcionalidad	Adecuación	Ajuste a los propósitos.	Estimaciones y predicciones.
			Sistemas de proyección.
			Modelado detallado.
			Simulación de efectos bajo condiciones.
			Cálculo de la eficiencia energética de un parque eólico.
			Modelos en 3D.
	Estadísticas	Estadísticas	Presencia de resultados de modo legible.
			Proporcionar informes y estadísticas.
	Exactitud	Integridad en los cálculos	Resultados acordes a las necesidades MCP (Medir-Correlacionar-Predecir).
			Consistencia en los resultados.
	Interoperabilidad	Interoperabilidad Importar y exportar datos	Integración con otras herramientas de predicción.
			Importar diferentes tipos de datos.
Seguridad	Copia de seguridad	Proveer respaldo.	

Tabla 8.1. Indicadores de funcionalidad para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Estimaciones y predicciones.	Permite verificar la presencia de estimaciones y predicciones del potencial eólico del software
Sistemas de proyección.	Permite verificar si el software es capaz de realizar proyecciones en tiempo real de los datos suministrados de los parques eólicos.
Modelado detallado.	Verifica la capacidad del software para generar graficas basado en los datos suministrados.
Simulación de efectos bajo condiciones.	Permite verificar si el software es capaz de generar vistas virtuales de los parques eólicos según datos proporcionados.
Calculo de la eficiencia energética de un parque eólico.	Permite conocer con antelación la producción de energía que puede producir un parque eólico antes de su construcción física.
Modelos en 3D.	Capacidad de generar mapas geográficos de las zonas o parques

	eólicos en 3D.
Presencia de resultados de modo legible.	Capacidad del software de presentar los datos de una manera entendible al usuario.
Proporcionar informes y estadísticas.	Ofrece informes y estadísticas precisas según la necesidad.
Resultados acordes a las necesidades MCP (Medir-Correlacionar-Predecir).	Presencia de técnicas para la aplicación de ajustes climatológicos
Consistencia en los resultados.	Verifica si el software es capaz de realizar un análisis adecuado de los datos suministrados (resultados no ambiguos)
Integración con otras herramientas de predicción.	Permite la integración con herramientas para la predicción de recurso eólico como WASP, Forecaster, entre otras.
Importar diferentes tipos de datos	Capacidad del software de manejar diferentes formatos tales como datos digitales ráster, datos digitales vector, entre otros.
Proveer respaldo.	Se refiere a la posibilidad de que el software proporcione copias de seguridad y de recuperación fiables de datos, estadísticas, mapeo.

Tabla 9. Modelo de calidad propuesto enfocado en la confiabilidad.

.Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Confiabilidad	Tolerancia a fallos	Recuperación ante fallas	Restablece al usuario al nivel de operación en el que se encontraba antes de ocurrir un error.
			Posibilidad del usuario para corregir una acción una vez cometido un error.
			Uso de alertas al realizar acciones que pueden generar errores en la ejecución del software.

Tabla 9.1 Indicadores de confiabilidad para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Restablece al usuario al nivel de operación en el que se encontraba antes de ocurrir un error.	En caso de ocurrir una falla, el software tenga la capacidad de recuperarse y restablecerse al mismo punto donde se encontraba el usuario.
Posibilidad del usuario para corregir una acción una vez cometido un error.	Proporcionar las herramientas de edición necesarias para la realizar correcciones.

Uso de alertas al realizar acciones que pueden generar errores en la ejecución del software.	Presencia de alertas al realizar acciones que pueden generar errores en la ejecución del software.
--	--

Tabla 10. Modelo de calidad propuesto enfocado en la usabilidad.

Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Usabilidad	Comprensión	Interfaz gráfica	Manejar terminología sencilla.
			Proveer opciones de Multilinguaje.
			Presencia de ayudas en la aplicación.
			Consistencia en la presentación del contenido.
			Visualización de simulación de condiciones.
			Presencia de herramientas de edición.
	Aprendizaje	Documentación	Facilidad de obtener documentación del software.
			Incluye ayuda o manual de usuario.
			Consistencia en los manuales.
		Mecanismos de soporte	Posibilidad de contar con adiestramiento.
			Posibilidad de consultar la ayuda en cualquier momento, sin tener que salir de la aplicación.
			Presencia de ejemplos ilustrativos en la aplicación.
	Operatividad	Licenciamiento del software.	Facilidad de obtener la licencia del software.
Operatividad		Multitarea	

Tabla 10.1 Indicadores de usabilidad para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Manejar terminología	Evaluar si los términos usados por el software son de fácil

sencilla.	comprensión para el usuario.
Provee opciones de multilinguaje.	Proveer al usuario mecanismo de selección del idioma, en el momento de realizar la instalación del software.
Consistencia en la presentación del contenido.	El empleo de metáforas adecuadas dentro del software.
Presencia de ayudas en la aplicación	Se refiere a la posibilidad de contar con mecanismo de asistencia dentro de la aplicación.
Visualización de simulación de condiciones.	Capacidad de mostrar al usuario de forma grafica, el parque eólico generado bajo ciertas condiciones especificadas.
Presencia de herramientas de edición.	Debe proveer al usuario opciones que permitan realizar cambios en parámetros, gráficas, datos, entre otras
Facilidad de obtener documentación del software.	Obtención de manuales actualizados vía electrónica o por otros medios.
Incluye ayuda o manual de usuario	Ofrecer mecanismos que sirvan para asistir al usuario en el aprendizaje y uso del software.
Consistencia de los manuales.	La descripción del contenido del manual debe facilitar su correcta comprensión y estar acorde al producto (vigente).
Posibilidad de contar con adiestramiento.	Verifica si se cuenta con entrenamiento por la empresa licenciante.
Posibilidad de consultar la ayuda en cualquier momento, sin tener que salir de la aplicación.	Disponibilidad de dispositivos de ayuda (en línea y/o integrada).
Presencia de ejemplos ilustrativos en la aplicación.	Disponibilidad de ejemplos que faciliten al usuario el aprendizaje y uso del software.
Facilidad de obtener la licencia del software.	Se puede obtener el licenciamiento del software con facilidad y precio accesible.
Multitarea	Se relaciona con la versatilidad del software para la realizar operaciones simultáneas.

Tabla 11. Modelo de calidad propuesto enfocado en la eficiencia.

Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Eficiencia	Comportamiento frente al tiempo.	Rendimiento eficaz.	Realizar análisis meteorológicos en tiempo real.
			Realizar cálculos de producción energética.
			Realizar presentaciones del diseño de parque en tiempo real.
			Realizar cálculos de

			impacto ambiental en tiempo real.
	Uso de recursos.	Especificación técnica	Requerimientos de software Requerimientos de hardware.

Tabla 11.1 Indicadores de Eficiencia para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Realizar análisis meteorológicos en tiempo real.	Utilización de herramientas MCP (modelar-predicir-correlacionar)
Realizar cálculos de producción energética.	Ofrecer resultados de producción energética acorde a los datos introducidos en el menor tiempo posible.
Realizar presentaciones del diseño de parque en tiempo real.	Capacidad de presentar gráficamente todos los elementos (turbinas, obstáculos, incidencia de sombra, entre otros) de un parque eólico.
Realizar cálculos de impacto ambiental en tiempo real.	Mostrar la incidencia que tendría el parque eólico en el lugar donde se quiere instalar.
Requerimientos de software	Evaluar la necesidad de instalar un software adicional para que el software eólico pueda operar.
Requerimientos de hardware.	Se relacionado con la posibilidad de instalación y ejecución del software (instalación requerida, requerimientos de sistema, espacio libre en disco).

Tabla 12. Modelo de calidad propuesto enfocado en la mantenibilidad

Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Mantenibilidad	Capacidad de ser modificado.	Extensibilidad	Incorporación de nuevos módulos.
	Conformidad de facilidad de mantenimiento	Sostenimiento	Facilidad de contar con soporte técnico.

Tabla 12.1. Indicadores de mantenibilidad para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Incorporación de nuevos módulos.	Capacidad de agregar módulos a medida que sean requeridos en el proceso de modelado o predicción del parque eólico.
Facilidad de contar con soporte técnico.	Se refiere a la posibilidad de contar con asistencia técnica de ser requerida.

Tabla 13. Modelo de calidad propuesto enfocado en la portabilidad.

Características del estándar ISO/IEC 9126	Sub-características del estándar ISO/IEC 9126	Características del software de predicción de energía eólica.	Indicador
Portabilidad	Adaptabilidad	Reusabilidad	Adaptación del código fuente.
	Facilidad de instalación.	Presentación entendible	El software incorpora un dispositivo de instalación.
			Los mensajes son en lenguaje comprensible.
	Conformidad de portabilidad.	Portabilidad	El software es independiente del hardware donde opera.
			El software es dependiente del sistema operativo donde opera.
			Instalaciones en diferentes lugares.
			La aplicación corre en una máquina estándar sin restricciones de operación.
		El software soportar múltiples instalaciones en diferentes lugares.	
		Los formatos de los datos pueden ser migrados.	

Tabla 13.1 Indicadores de portabilidad para software de predicción de recurso eólico.

Indicador	Descripción
Adaptación del código fuente.	Permitir modificar parte del código fuente original de la aplicación, para adaptarlo a requerimiento especiales de la

	localidad.
El software incorpora un dispositivo de instalación.	Permite conocer si el software provee al usuario mecanismos de instalación y configuración que no necesiten habilidades computacionales.
Los mensajes son en lenguaje comprensibles	Las alertas, mensajes de ayuda, entre otros son presentadas en el idioma de instalación y lenguaje comprensibles (no técnicos) al usuario.
El software es independiente del hardware donde opera.	Permite verificar las restricciones técnicas requeridas por el software de predicción para que pueda ser ejecutado en cualquier arquitectura.
El software es dependiente del sistema operativo donde opera.	Verifica que las restricciones del sistema operativo sean mínimas para poder ejecutar el software de predicción.
La aplicación corre en una máquina estándar sin restricciones de operación.	Permite verificar las condiciones mínimas técnicas de ejecución del software.
Instalaciones en diferentes lugares.	Permite verificar si el software requiere instalación stand alone o distribuida.
Los formatos de los datos pueden ser migrados.	El software debe permitir que los resultados obtenidos puedan ser guardados en diferentes formatos para facilitar su migración a otras aplicaciones de predicción de ser necesario.

3.2 Propuesta de instrumento para la evaluación de software de evaluación del recurso eólico.

En la realización del instrumento de evaluación propuesto para software de predicción del recurso eólico, se siguieron los siguientes pasos:

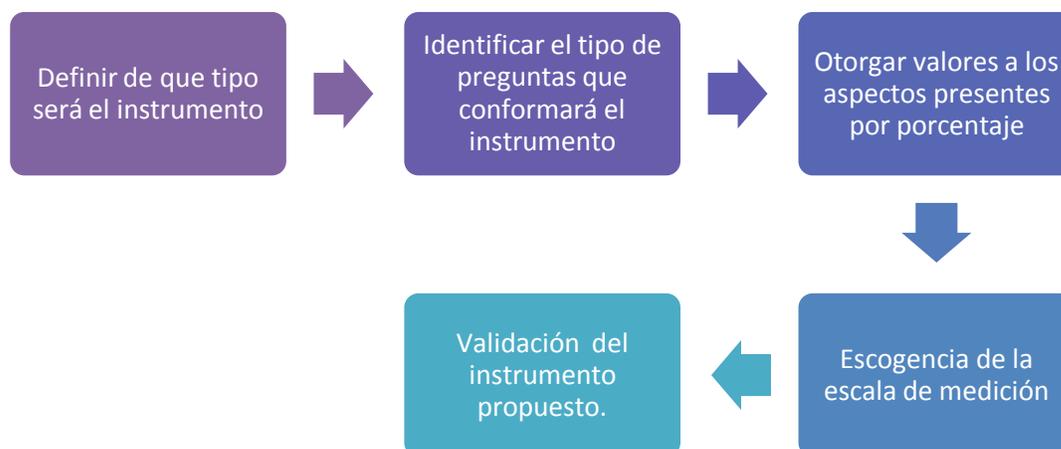


Figura 31. Pasos para la realización de un instrumento de evaluación

Tomando en cuenta los pasos definidos en la figura 31, se elaboró un instrumento de medición en forma de cuestionario estructurado, por las siguientes razones:

- Por ser un medio útil y eficaz para recoger información en un tiempo relativamente breve.
- Por tener la ventaja de incluir preguntas y respuestas cerradas permitiendo un rápido procesamiento.
- Por requerir de menor esfuerzo por parte de los encuestados.
- Estos cuestionarios, limitan las respuestas de la muestra.
- Son fáciles de llenar, clasificar y analizar.

Una vez determinado el tipo de instrumento, se identificó el tipo de preguntas como de respuesta cerrada, debido a que solo requiere que el evaluador seleccione la respuesta a partir de varias alternativas.

Basado en lo antes expuesto, el instrumento está compuesto por 73 ítems, considerando las seis (6) características del estándar ISO/IEC 9126-1 (funcionabilidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad, portabilidad) enfocado en los aspectos de calidad de las aplicaciones eólicas que son perceptibles al usuario final.

Debido a que estamos en presencia de la evaluación de calidad de software especializados en el manejo de datos eólicos, sugerimos según sus características y las funciones que se espera que cumplan, que la valoración de los seis aspectos quede distribuida de la siguiente manera:

Se le otorga (35%) al aspecto Funcionalidad, por su relación con la capacidad de que el software haga lo que se requiere, para cumplir con los objetivos de predicciones, es decir contar con un software que funcionen para lo que está diseñado.

Se confiere (20%) para la Confiabilidad, debido a que es el aspecto que nos permite tener una medida sobre lo confiable que es el sistema; debido a que indica la estabilidad, consistencia y exactitud de los resultados

Un (10%) para el aspecto de Usabilidad, debido a que nos indica la habilidad con la que un usuario puede operar el software de predicción eólica; si la aplicación cumple con los requerimientos de los usuarios (intuitiva, proveer accesos correctos, fácil de localizar los elementos dentro de la aplicación, etc.), así como una experiencia general buena para él.

Se otorga (15%) para la Eficiencia, permite verificar si se están usando de la mejor manera posible los recursos para realizar las tareas de modelación y predicción.

Se concede (10%) para la Mantenibilidad, ya que este aspecto involucra cuán fácil es analizar y modificar el software para adaptarlo a requerimientos específicos; lo cual es interesante, ya que en este TEG hacemos referencia a software utilizados en países que poseen distintas características en cuanto a clima, topología etc. al nuestro (Venezuela)

(10%) para la Portabilidad, por ser la capacidad que permite verificar el funcionamiento en diferentes plataformas ya sean hardware o de software.

Para cada una de las características se estableció un conjunto de indicadores, para los cuales se formularon una serie de preguntas, cada una con una puntuación, basado en el escalamiento de Likert.

El escalamiento de Likert, que se adapta a nuestro instrumento de medición; es la **alternativa B**, la cual posee los siguientes 5 valores:

- (5) Definitivamente sí
- (4) Probablemente sí
- (3) Indeciso (Afirmación)
- (2) Probablemente no
- (1) Definitivamente no

La interpretación que se le da a la codificación de las alternativas, es la siguiente: Si la afirmación es positiva significa que el usuario califica favorablemente al software, por lo tanto implica una puntuación mayor.

La versión final del instrumento de medición propuesto para la evaluación de calidad de aplicaciones eólicas, puede ser encontrar en la sección (A) de los anexos de este documento.

Una vez diseñado el instrumento se hace necesario conocer la confiabilidad del mismo con la finalidad de conocer si el instrumento que se está evaluando recopila información defectuosa y por lo tanto nos llevaría a conclusiones equivocadas. El criterio de confiabilidad del instrumento diseñado en este TEG, se determina por el coeficiente de Alfa Cronbach, desarrollado por J. L. Cronbach.

Para determinar la validez del instrumento de evaluación de software de predicción eólica propuesto, se encuestó un grupo de ocho personas con distintos perfiles de conocimiento. La encuesta se realizó tomando en cuenta el caso de estudio de tres software de predicción eólica disponible en el mercado, donde cada encuestado debió llenar un cuestionario por cada software.

La confiabilidad del instrumento queda reforzada por el resultado obtenido de la aplicación de la fórmula alfa de Cronbach mencionada en el marco conceptual de este TEG, utilizando como muestra 5 cuestionarios lo cual arrojó un valor de $\alpha = 0.811$.

Considerando la escala de valores que determina el rango de 0.9 a 1 un rango de Alta Confiabilidad y el valor de 0.811 obtenido en el cálculo de la confiabilidad para el Instrumento, se puede decir que el instrumento aplicado en la presente investigación posee un buen grado de confiabilidad. El resultado obtenido indica alta confiabilidad en este instrumento.

Capítulo 4: ANÁLISIS A PARTIR DE UN CASO DE ESTUDIO

El instrumento de evaluación de calidad de software de generación y predicción eólica diseñado en este trabajo especial de grado basado en el estándar ISO/IEC 9126-1, está dirigido a proporcionar información de la calidad o bondades ofrecidas por este tipo de aplicaciones. Es por ello que a continuación se presenta el análisis de la evaluación en base a tres estudios de software seleccionado (WindFarmer, WindPRO y OpenWind).

El proceso de evaluación de calidad, se realiza desde la perspectiva del producto final. Se tomará en cuenta el resultado arrojado de la opinión de encuestados para de esta manera conocer si alguna de estas aplicaciones pudiera ser apropiada de utilizar en nuestro país Venezuela para la planificación e instalación de parques eólicos.

La determinación de calidad de un software eólico en esta proceso de evaluación está determinado por lo valores que se muestran en la siguiente tabla.

Valoración general de la calidad del software de predicción de potencial eólico		
Rangos para evaluar la calidad del software	81% - 100%	Excelente
	61% - 80%	Muy Buena
	41% - 60%	Buena
	21% - 40%	Regular
	Menor al 20%	Mala

Tabla 14.- Rango de Calidad de un Software eólico

Estos valores están subdividido en 5 subconjuntos de rangos de 20% cada uno. El nivel de calidad excelente de software, está representado por los valores entre 81% y 100%; seguido por el rango 61% - 80%. El cual representa que el nivel de calidad es muy bueno. El nivel de calidad bueno cae en el rango 41% al 60%, mientras que si la calidad del software es regular sus valores oscilaran entre 21% al 40%. Finalmente, un valor de calidad malo es si la evaluación arroja resultados por debajo del 20%.

A continuación, realizaremos un análisis y comparación de resultados parciales teniendo en cuenta los valores obtenido por aspecto. Basándonos en la utilización del instrumento de valoración de calidad de software eólico, en las aplicaciones seleccionadas: WindPRO, WindFarmer y OpenWind. Se presentan los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a 8 evaluadores con perfiles distintos. Definiendo con ello, las siguientes estadísticas y gráficas que reflejan los valores encontrados como resultado de ésta investigación.

4.1 Análisis de resultado para el aspecto funcionabilidad

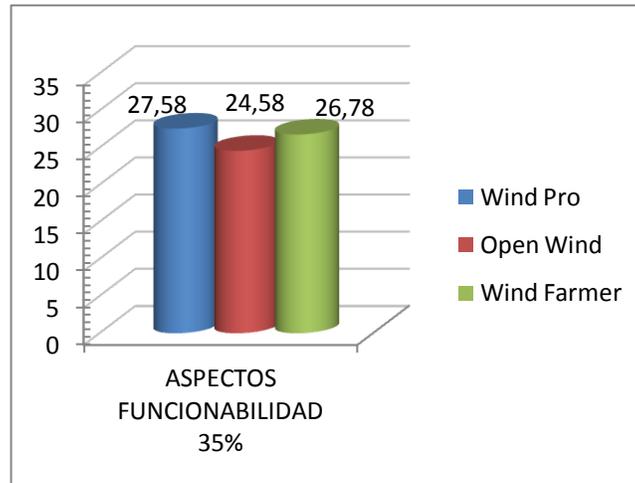


Figura 24.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto Funcionabilidad

En la figura 24, se evidencia que el software WindPro obtiene un buen nivel de clasificación de calidad en el aspecto funcionabilidad, según los evaluadores, al catalogarlo como un software que cumple con los objetivos para lo cual está diseñado, obtenido un valor de 27.58 % de los 35% otorgados a este aspecto, posicionando en el primer lugar en comparación con los otros dos software evaluados.

El valor más bajo lo obtuvo el software Openwind con un 26.78 %, aun así obtiene la puntuación superior a la mínima requerida para considerarlo de calidad, la cual es 21 para este aspecto.

4.2 Análisis de resultado para el aspecto confiabilidad

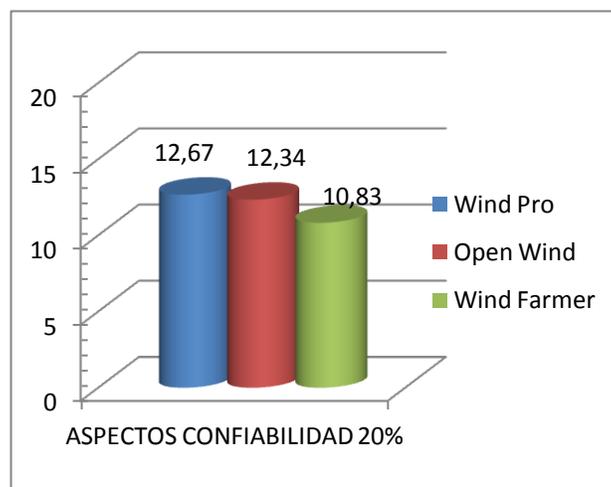


Figura 25.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto confiabilidad

En es el aspecto de confiabilidad , en el que se considera la certeza de los resultados obtenidos en análisis y predicciones eólica , las encuesta arrojaron en primer lugar el software WindPro tal y como se muestra en la figura 25, con un nivel de clasificación de calidad de 12.67 %, seguido por el software OpenWind con un nivel de clasificación de calidad de 12.34%, lo que sugiere que ambos cumplen con los objetivos de confiabilidad requeridos en análisis de potencial eólico, mientras que el software WindFarmer se posiciona en el tercer lugar con un 10.83%, no superando el valor mínimo de requerido de 12% para considerarlo de calidad en este aspecto.

4.3 Análisis de resultado para el aspecto usabilidad

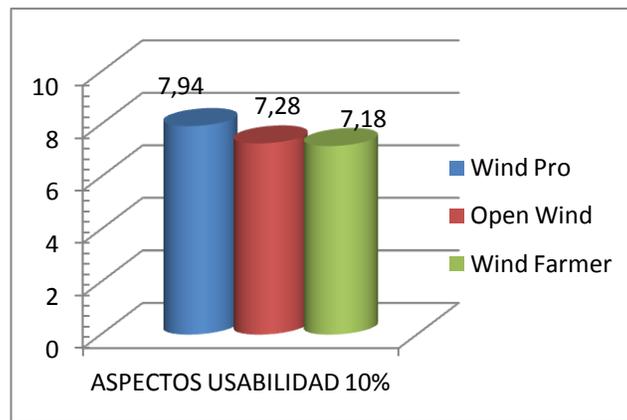


Figura 26.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto usabilidad

En cuanto al aspecto de usabilidad el puntaje más alto fue para el software WindPRO con un 7.94% como se observa en la figura 26, posicionándose en el primer lugar. El software OpenWind con un 7.28% de nivel de clasificación de calidad queda en segundo lugar mientras que el WindFarmer queda rezagado en un tercer lugar con 7.18%, esto debido a que los evaluadores consideran que el nivel de complejidad del software no es adecuado a todo tipo de usuario.

4.4 Análisis de resultado para el aspecto eficiencia

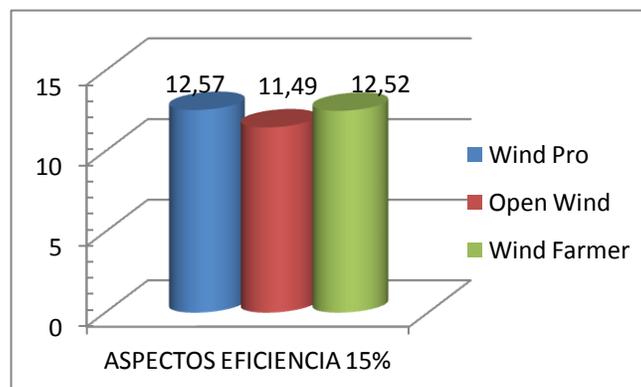


Figura 27.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto eficiencia

Por otra parte, tenemos que para el aspecto eficiencia los evaluadores consideran que el software WindPRO es quien hace un mejor uso de los recursos en el momento de realizar predicciones, modelaciones, entre otras.

El nivel de clasificación de calidad obtenido por este software es de 12, 57 % del 15% total concedido a este aspecto. Es seguido en un segundo lugar por el software WindFarmer con un 12.52 % y finalmente tenemos al software OpenWind con un 11,49 %. Dando como resultado, que para este aspecto las tres aplicaciones tienen más de la puntuación mínima requerida para considerarlo de calidad la cual es 9%.

4.5 Análisis de resultado para el aspecto mantenibilidad

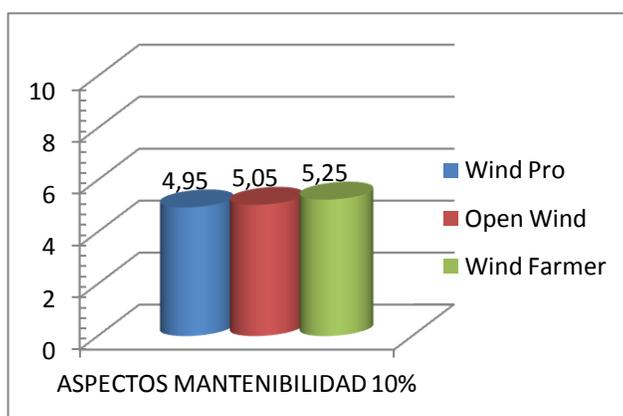


Figura 28.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto mantenibilidad

Con respecto al aspecto mantenibilidad el software WindFarmer se posiciona en el primer lugar, como se observa en la figura 28. Según las evaluaciones pudiera ser un software adaptado a requerimientos específicos. Sin embargo, la puntuación obtenida es de un 5.25 % del 10% otorgado a este aspecto, no difiere por mucho del software OpenWind que se posiciona en un segundo lugar con un 5.05 % y por último tenemos con un 4.95 % el software WindPRO. Los puntajes obtenidos por las aplicaciones no alcanzan el valor mínimo que se requería para considerarlo de un nivel de calidad satisfactorio el cual es 6%. Lo que nos lleva a concluir, que de requerir cambios drásticos en estas aplicaciones se pudiera presentar algunos inconvenientes como lo es, no contar con documentación completa que sirva de guía para realizar modificaciones.

4.6 Análisis de resultado para el aspecto portabilidad

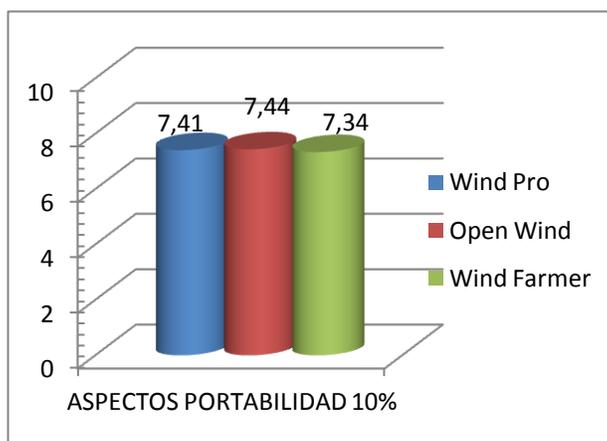


Figura 29.- Valores de calidad del software eólico en el aspecto portabilidad

El software OpenWind es considerado por los evaluadores como el mejor en este aspecto, al cumplir con los objetivo de portabilidad requeridos en los software de predicción, según los indicadores, otorgándole el primer lugar con un nivel de calidad de 7.44%, seguido por WindPRO con 7.41% y finalmente WindFarmer con un nivel de calidad de 7.34%. Sin embargo, las tres aplicaciones se pueden considerar de buena calidad al superar la puntuación mínima requerida de 6%.

4.7 Análisis de resultado general para los software WindPro, WindFarmer y OpenWind

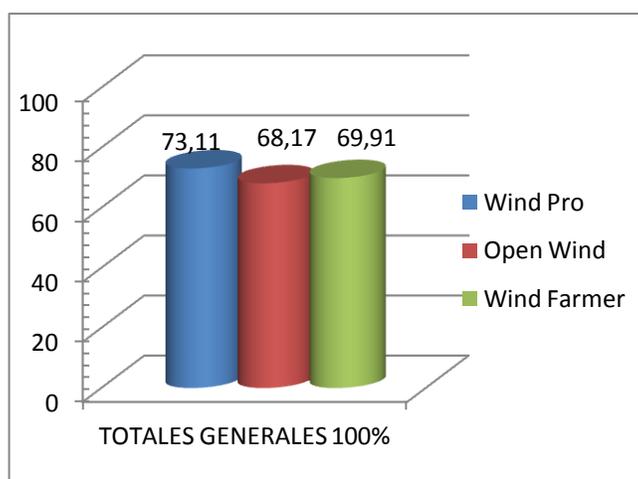


Figura 30. Resultados de la evaluación de los tres software eólicos

Se pudo evidenciar en los resultados parciales, que el software WindPRO obtiene un buen nivel de clasificación de calidad para los aspectos funcionabilidad, confiabilidad, usabilidad y eficiencia, logrando superar a los otros dos software estudiados, al obtener el primer lugar en cuatro (4) de los seis (6) aspectos del estándar ISO 9126 valorados. Alcanzando un resultado parcial de la suma de estos aspectos (funcionabilidad, confiabilidad, usabilidad y eficiencia) de un 60.76% y un resultado total de 73,11% del 100%. Posicionándolo en el primer lugar en esta evaluación.

Por otra parte, tenemos que el software WindFarmer se posiciona en un segundo lugar al tener un buen nivel de clasificación de calidad en uno (1) de los 6 aspectos considerados en esta evaluación, el cual fue: mantenibilidad con un resultado parcial de 5.25% porcentaje otorgado a los aspectos según la importancia de cumplimiento dentro de las aplicaciones eólicas, y en el resultado total un 69,91% del 100% estimado.

Dejando desplazado en los resultados parciales al software OpenWind, el cual obtuvo un 7.44% en el aspecto de portabilidad. Alcanzando solo un 10% del 100% otorgado a los aspectos y en el resultado total un 68,17% del 100% considerado, quedando en un tercer puesto en esta evaluación.

Al observar el gráfico de la figura 30, en el Total general obtenido, se puede decir que el puntaje logrado entre las aplicaciones WindPRO, WindFarmer y OpenWind no dista mucho el uno del otro, muestra de manera genérica que todos tienen un nivel de clasificación de calidad bueno, al superar valores del 50% en la evaluación.

Cabe destacar que la puntuación obtenida por Openwind fue muy buena, basándonos en el rango de valores de la figura 21 y tomando en cuenta que compitió con aplicaciones con más años en el mercado y una alta trayectoria a nivel mundial; consiguiendo colocarse a la par de cualquier otra aplicación de software para el diseño y la optimización de parques eólicos comercial.

Si nos enfocamos en determinar que aplicaciones son mejores de utilizar, entre propietaria y libre, pudiéramos señalar que va a depender de las necesidades del país y lugar donde vaya a ser empleados éstos software.

Conclusiones

En este trabajo especial de grado se logró llevar a cabo el diseño de un instrumento de calidad basado en la calidad según el estándar ISO 9126 enfocado en software eólico. Para tal fin fue necesaria la recopilación de información de este tipo de software.

Se determinaron lo que consideramos que eran las características propias y relevantes de estas aplicaciones, que nos sirviera como partida para establecer los criterios de evaluación. De esta manera formar un plan estratégico de evaluación, que culminaría con la elaboración del instrumento de evaluación para software eólico que presentamos.

El instrumento propuesto se logro mediante la utilización del estándar ISO/IEC 9126 como modelo de referencia y comparación, logrando establecer analogías de aspectos presentes en el estándar y en los software de predicción. A cada uno de estos aspectos se les asoció indicadores de evaluación en correspondencia a las características definidas . Se otorgó un valor en porcentaje a cada aspecto según consideramos que deberían ser la prioridad en su cumplimiento en estas aplicaciones.

Una vez definido plenamente los indicadores asociado a cada uno de los seis aspecto del estándar ISO/IEC 9126: funcionabilidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad, se procedió a formular las preguntas acorde a cada uno de ellos. Para lograr realizar la evaluación se asignó puntajes a las preguntas utilizando la escala de likert; con la finalidad de clasificar las aplicaciones según reflejen actitudes positivas o negativas de los evaluadores. Al final de este proceso, el instrumento de evaluación de la calidad para software eólico en su fase final fue validado mediante la utilización del coeficiente alfa de Cronbach donde los resultados obtenidos fueron favorables, obteniendo un valor de confiabilidad y validez de 0.811.

Si bien la necesidad surge por la falta de una aplicación para el procesamiento de los datos provenientes de la campaña de medición del recurso eólico en nuestro país; la propuesta pretende ser generalizada a la evaluación del software eólico en general, buscando así estandarizar los aspectos mínimos necesarios que deben estar presentes en estas aplicaciones.

La calidad por ser un concepto multidimensional, posee diferentes definiciones dependiendo del contexto desde donde se examine. Es por esto que al principio no estuvo muy claro la aplicación de los factores o características de calidad para examinar el nivel de correspondencia a las aplicaciones eólicas.

Sin embargo logramos emplear el estándar ISO/IEC 9126, el cual es reconocido a nivel internacional y aplicable a cualquier producto de software, haciendo adaptación al contexto por medio del análisis y evaluación de los atributos de calidad: funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad deseables en paquetes de predicción de potencial eólico. Lográndose obtener un instrumento de valoración de calidad de aplicaciones eólicas, que pudo ser aplicado al caso de estudio de tres software eólicos altamente utilizados a nivel mundial.

Como resultado se obtuvo que el mejor nivel de clasificación de calidad es para el software WindPRO con un 73.11% seguido en segundo lugar por el software propietario WindFarmer con una puntuación del 69.91% y finalmente en un tercer lugar el software open source OpenWind con un puntaje de 68.17%.

Cabe destacar que las puntuaciones obtenidas por cada uno de los tres software son muy cercanas y con una puntuación mayor al 50% que los ubica en un nivel de MUY BUENA calidad según la categoría expresada en la tabla “Rango de Calidad de un software eólico” suministrado en este TEG.

El instrumento aquí propuesto sirve como base para la toma de decisiones, queda en consideración por la parte interesada en el uso de estos software, la definición de nuevos criterios que permita tomar la dedición más acertada en cuanto a la escogencia del software eólico según sus necesidades. Es claro que un buen análisis de calidad es una de las bases más importantes para la toma de decisiones en cualquier problema al que se aplique. Por tal razón, se espera que este instrumento de valoración de calidad sea de gran utilidad para organizaciones, empresas y usuarios finales que necesiten seleccionar de manera eficaz y fácilmente el software más adecuado para realizar sus estimaciones eólicas.

Trabajos a futuro

Al concluir este trabajo de investigación surgen algunas recomendaciones para trabajos futuros que se nombran a continuación:

- Buscar estandarizar el concepto de la calidad en las aplicaciones de predicción eólica, tomando como guía el modelo planteado en este TEG.
- Ampliar el Instrumento de evaluación de calidad propuesto, incorporando requerimientos acordes y pertinentes a necesidades futuras.
- Establecer nuevos criterios e indicadores de evaluación que ayuden a determinar, que software se adapta a las necesidades de las organizaciones estadales.

|

GLOSARIO

Aplicación: Es un tipo de programa informático diseñado como herramienta para permitir a un usuario realizar uno o diversos tipos de trabajo.

AGs: Forma abreviada para aerogeneradores

Calidad: Son todas las características de una entidad que forman parte de su habilidad para satisfacer las necesidades propias e implícitas.

Calidad externa: La extensión para la cual un producto satisface necesidades explícitas e implícitas cuando es usado bajo condiciones específicas.

Calidad interna: Es la totalidad de atributos del producto que determinan su habilidad para satisfacer las necesidades propias e implícitas bajo condiciones específicas.

Consistencia Interna: Expresa hasta qué punto las respuestas de un cuestionario, son suficientemente coherentes y relacionadas para concluir que todos los ítems miden lo mismo y son sumables en una puntuación única que representa o mide un rasgo.

Energías renovables: son aquellas que llegan en forma continua a la Tierra y que a escalas de tiempo real parecen ser inagotables.

Escala: Un conjunto de valores con propiedades definidas.

Falla: La terminación de la capacidad de un producto de realizar una función requerida o su incapacidad para realizarla dentro de límites previamente especificados.

Fiabilidad: Trata de averiguar la consistencia del instrumento.

Indicador: Una medida que se puede utilizar para estimar o para predecir otra medida.

ISO 9126: Es un estándar internacional para la evaluación de la calidad del software. Está remplazado por el proyecto SQuARE, ISO 25000:2005, el cual sigue los mismos conceptos.

Métrica: Es un método definido de valoración y su escala de valoración

Software: Todo o parte de los programas, procedimientos, reglas y documentación asociada a un sistema de procesamiento de información.

Software libre: Según la Free Software Foundation, el software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar el software y distribuirlo modificado.

Software Propietario: también llamado **privativo, de código cerrado o software no libre**) es cualquier programa informático en el que el usuario tiene limitaciones para usarlo, modificarlo o redistribuirlo (esto último con o sin modificaciones).

Usuario: Un individuo que utiliza el producto de software para realizar una función específica.

Valoración: Emplear una métrica para asignar uno de los valores de una escala (el mismo que puede ser un número o categoría) al atributo de una entidad.

Validación: Confirmación por inspección y provisión de evidencia objetiva de que los requerimientos particulares para un uso específico son alcanzados.

WAsP: Es un programa de PC destinado a predecir climas de viento, recursos eólicos y producción de energía de turbinas eólicas y granjas eólicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [5] Pressman Roger, Ingeniería del Software 6th Ed. McGraw-Hill. (Documento en línea disponible en: <http://www.taringa.net/posts/ebooks-tutoriales/4575483/Ingenieria-del-Software-Roger-Pressman-6th-Ed-McGraw-Hill.html>).
- [6] Carlos Alberto Largo García, Erledy Marín Mazo. Guía técnica para evaluación de Software.
- [7] Lic. Yosly C. Hernández Bieliukas. Trabajo de Grado de Maestría: Proceso de evaluación de la calidad para los objetos de aprendizaje tipo combinado abierto.
- [8] María Antonieta Abud Figueroa. “Calidad en la Industria del Software. La Norma ISO-9126”, Revista Soluciones Avanzadas. Disponible en: <http://www.revistaupiicsa.20m.com/Emilia/RevEneAbr04/Antonieta1.pdf>
- [9] Sampieri, Hernández Roberto, Collado Fernández Carlos (1994). Metodología de la investigación. Naucalpan de Juárez, edo. De México.
- [10] Reglas heurística de usabilidad (2007). Disponible en: <http://www.mqaccesibilidad.com/2007/02/10-reglas-heuristics-de-usabilidad.html>.
- [11] Wind Farmer design software. Disponible en: <http://www.glgarradhassan.com/en/GHWindFarmer.php>
- [12] Venezuela explora proyectos de energía eólica. Disponible en: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/venezuela-explora-proyectos-de-energia-eolica>. Consultado (octubre, 2011).
- [19] Fiabilidad (psicometría). Disponible http://es.wikipedia.org/wiki/Fiabilidad_%28psicometr%C3%ADa%29
- [21] NORMAWIND la consultoría del viento. Disponible en: <http://www.normawind.com/WindPRO.php>
- [22] Nelson Rodríguez Trujillo Ph.D. (junio, 1999). GLOSARIO DE TÉRMINOS PSICOMÉTRICOS Y AREAS AFINES. (Documento en línea Disponible en: http://www.psycoconsult.com/download/cdt_40.pdf). Consultado en (octubre, 2011)
- [23] Open Wind. Disponible en: <http://awsopenwind.org/>
- [24] Grupo de investigación eumednet (SEJ-309) de la Universidad de Málaga, Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. (Documento disponible en: <http://www.eumed.net/libros/2007b/303/validez%20y%20confiabilidad%20del%20instrumento.htm>)

[25] Muñiz, José (1998). Fiabilidad. Teoría clásica de los tests (5ª edición). Madrid: Pirámide. (Documento disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/806/80634409.pdf>)

[26] Calidad en el desarrollo de software. Disponible en <http://www.cs.uns.edu.ar/~prf/teaching/SQ07/clase6.pdf>

[27] Prieto, Gerardo; Delgado, Ana R. (2010). Fiabilidad y validez. Papeles del psicólogo (España: Consejo General de Colegios Oficiales de Psicólogos) **31** (1): pp. 67-74

[37] Tomado de: Grupo de investigación eumednet (SEJ-309) de la Universidad de Málaga, Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.

[38] Heidi Celina Oviedo/ Alberto Campo Arias. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. (Documento en línea disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/806/80634409.pdf>)

[39] Tomada de: Prieto, Gerardo; Delgado, Ana R. (2010). Fiabilidad y validez.).

[40] Trabajo de Grado de Maestría: PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PARA LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE TIPO COMBINADO ABIERTO. Lic. Yosly C. Hernández Bieliukas

[41] Muñiz, J. (1998). Teoría Clásica de los Tests. Madrid: Pirámide

[42] Pressman, Roger S. Ingeniería de Software, Un enfoque práctico, 4ª. Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.1998.

[43] César Jesús Pardo Calvache. Análisis comparativo del estándar ISO 9000-3 con las subcaracterísticas de calidad de la ISO 9126. (Documento en línea disponible en: <http://alarcos.inf-cr.uclm.es/doc/cmsi/trabajos/Cesar%20Pardo.pdf>)

Juan Manuel Cueva Lovelle. (1999). Calidad del Software. (Documento en línea disponible en:http://gidis.ing.unlpam.edu.ar/downloads/pdfs/Calidad_software.PDF). Consultado (2010).

Medina, Gual Luis. Validación y Confiabilidad de Instrumento de Evaluación. (Documento en línea disponible en: <http://www.slideshare.net/gualis91/04-validacin-y-confiabilidad-de-instrumentos-de-evaluacin>). Consultado en (octubre, 2011)

Un enfoque actual sobre la calidad del software .ACIMED 3(3):40-42, septiembre-diciembre, 1995. (Documento en línea disponible en http://www.bvs.sld.cu/revistas/aci/vol3_3_95/aci05395.htm)

ANEXOS

Anexo A

INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SOFTWARE EÓLICO

Este instrumento pretende explorar su opinión sobre las características consideradas importantes en las aplicaciones eólicas. Su opinión es muy relevante para fundamentar decisiones en el campo de la predicción del potencial eólico. Se agradece seguir las siguientes instrucciones:

- Leer cuidadosamente cada uno de los ítems antes de responder el cuestionario.
- Señalar con una X de acuerdo con su criterio y conocimiento, la respuesta que considere válida de las alternativas presentadas; luego de haber interactuado con el software.
- Realizar la evaluación por cada software (WindFarmer, WindPRO, OpenWind).

Consideraciones:

- A efectos del presente instrumento se entiende por tipo de usuario la siguiente clasificación:
 - Inexperto: Se refiere a aquel usuario que cuenta con poca o escasa experiencia en el área eólica.
 - Medio: Se refiere a aquel usuario que sin ser un experto en el área eólica tiene conocimiento general en el manejo de software.
 - Experto: Se refiere a aquel usuario que posee conocimientos avanzados en el área de predicción eólica y el manejo de aplicaciones diseñadas para tal fin.

Datos del Software	Datos del Evaluador
Nombre:	Nombre:
Versión	Grado de Instrucción:
Fabricante:	Tipo Usuario:
Área del conocimiento recomendada para su uso:	

	ESCALA DE EVALUACIÓN	PUNTUACIÓN				
CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS FUNCIONABILIDAD 35%	(1) Definitivamente no	(2) Probablemente no	(3) Indeciso	(4) Probablemente sí	(5) Definitivamente sí
	ADECUACIÓN					
Ajuste a los Propósitos	Las funciones de predicción aparecen definidos de forma clara y precisa.					
	El programa satisface necesidades de predicción que no puede ser lograda con otros software existente					

	El programa le permite ver cómo quedaría un parque eólico a futuro						
	Se puede realizar estimaciones del recurso eólico para un sitio específico.						
	Provee simulaciones que corresponden con los datos introducidos						
	Proporciona simulaciones de parque eólicos en tiempo real						
	Permite realizar estudios de impacto ambiental						
	El software tiene la capacidad de modelar un número ilimitado de generadores eólicos de manera individual o en grupos.						
	Recrea el comportamiento dinámico de un aerogenerador bajo diferentes condiciones						
	Se incorpora simulaciones que permiten conocer el comportamiento que tendrá el viento en un emplazamiento en concreto						
	El software proporciona herramientas para el cálculo energético en un emplazamiento						
	Proporciona análisis de factibilidad técnico-económico de un parque eólico antes de ser instalado						
	Es posible hacer una reconstrucción virtual del parque en 3 dimensiones para permitir una mejor visualización del proyecto						
Estadísticas	El resultado se presenta de forma organizada y entendible						
	El software ofrece informes y estadísticas precisas, según la necesidad.						
EXACTITUD							
Integridad de Cálculos	Se puede conocer las características del viento a la altura a la que vaya a situarse el buje						
	Los cálculos realizados son precisos						
	El programa es capaz de funcionar igual con datos de diferentes formatos						
INTEROPERABILIDAD							
Importar y Exportar Datos	El software sigue con los estándares y/o lineamientos internacionales definidos						
	El software puede ser integrado con otras herramienta de evaluación de recurso eólico						
	Está en la capacidad de generar resultados en formato que puedan ser integrados con otras bases de datos						
SEGURIDAD							

Copia de Seguridad	Se provee respaldo de seguridad de la información cargada					
	Permite generar archivos de datos históricos.					
TOTALES		0	0	0	0	0
Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad: 21%		Puntuación Total (0)				

	ASPECTOS CONFIABILIDAD 20%	(1) Definitivamente no (2) Probablemente no (3) Indeciso (4) Probablemente sí (5) Definitivamente sí				
TOLERACIAS A FALLOS						
Recuperación ante Fallas	En caso de presentarse un error o una falla el software restablece al usuario para que pueda continuar desde el punto en el que se encontraba antes de ocurrir el mismo					
	El software provee mecanismo para recuperar los datos luego de una falla de sistema					
	El software proporciona mensajes al usuario, para advertirle sobre acciones que pueden generar errores durante la ejecución del programa					
TOTALES		0	0	0	0	0
Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad: 12%		Puntuación Total (0)				

	ASPECTOS USABILIDAD 10%	(1) Definitivamente no (2) Probablemente no (3) Indeciso (4) Probablemente sí (5) Definitivamente sí				
COMPRENSIÓN						
Interfaz Gráfica	La interfaz proporciona un vocabulario o terminología apropiada para el nivel del usuario					
	La interfaz es intuitiva y de fácil manejo.					
	El nivel de complejidad del software es adecuado a todo tipo de usuario					
	El software usa vocabulario de nivel técnico adecuado					

	El programa se puede adaptar a varios idiomas						
	El software proporciona mecanismos de asistencia al usuario						
	La interfaz está relacionada con los objetivos del software						
	Se emplean metáforas intuitivas y adecuadas a los usuarios						
	La resolución de los gráficos (proyecciones) es adecuada						
	El software ofrece herramientas para realizar modificaciones en los parámetros, graficas de un parque eólico						
	APRENDIZAJE						
Documentación	Se presenta menú de navegación que permita acceder fácilmente a la información presente						
	La ayuda en el software es efectiva y oportuna (de estar presente en el software)						
	Los manuales son fáciles de adquirir						
	Existe un manual sobre la instalación y la puesta en marcha del programa						
	El software proporciona manual de usuario						
	El usuario cuenta con ayuda dentro de la aplicación						
	El lenguaje utilizado en el software facilita la comprensión del contenido						
	La redacción presentada es acorde con el nivel de cualquier tipo de usuario						
	Los manuales de usuario proporcionados, son acorde a lo que se muestra y ofrece la aplicación						
Mecanismos de Soporte	La empresa licenciante ofrece adiestramiento para el uso del software						
	Se puede obtener ayudas online sobre el manejo del software						
	El software ofrece ejemplos ilustrativos						
	OPERATIVIDAD						
Licenciamiento del Software	Se puede obtener la licencia con facilidad y a bajo costo						
	Se puede obtener versión de prueba						
	La adquisición del software se puede						

	hacer de forma gratuita					
Operatividad	Se pueden realizar varias simulaciones al mismo tiempo					
	TOTALES	0	0	0	0	0
	Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad:6%	Puntuación Total (0)				

	ASPECTOS EFICIENCIA 15%	(1) Definitivamente no	(2) Probablemente no	(3) Indeciso	(4) Probablemente sí	(5) Definitivamente sí
	COMPORTAMIENTO FRENTE AL TIEMPO					
Rendimiento Eficaz	Se puede realizar simulaciones del recurso eólico en condiciones climáticas especificadas por el usuario					
	El tiempo de respuesta a las acciones de los usuarios es adecuado de acuerdo a los requerimientos de software y hardware					
	Se puede realizar caracterización energética del viento					
	Permite el cálculo de la producción energética de un aerogenerador bajo condiciones eólicas específicas					
	Posibilita la digitalización y edición de mapas del terreno.					
	USO DE RECURSOS					
Especificaciones Técnicas	Se dispone de información sobre la capacidad de memoria y los periféricos requeridos					
	Se especifica las características mínimas necesarias para que el software opere correctamente					
	El software utiliza cantidades apropiadas de los recursos cuando ejecuta sus funciones bajo condiciones específicas					
	TOTALES	0	0	0	0	0
	Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad:9%	Puntuación Total (0)				

ASPECTOS MANTENIBILIDAD 10%		(1) Definitivamente no	(2) Probablemente no	(3) Indeciso	(4) Probablemente sí	(5) Definitivamente sí
CAPACIDAD DE SER MODIFICADO						
Extensibilidad	Existen requerimientos especiales para realizar o facilitar cambios.					
	La empresa licenciante ofrece soporte técnico para modificaciones					
	El software provee una documentación completa que pueda servir para realizar modificaciones de ser necesario					
CONFORMIDAD DE FACILIDAD DE MANTENIMIENTO						
Sostenimiento	La empresa licenciante ofrece soporte técnico					
	Se cuenta con personal técnico de orientación al usuario localizable					
TOTALES		0	0	0	0	0
Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad:6 %		Puntuación Total (0)				

ASPECTOS PORTABILIDAD 10%		(1) Definitivamente no	(2) Probablemente no	(3) Indeciso	(4) Probablemente sí	(5) Definitivamente sí
ADAPTABILIDAD						
Reusabilidad	No necesita requerimientos técnicos particulares para poder visualizar gráficos, mapas, proyecciones generadas					
	Se especifican requerimientos técnicos para ser integrado con otras herramientas.					
FACILIDAD DE INSTALACIÓN						
Presentación Entendible	El software ofrece dispositivo de instalación comprensible a cualquier usuario					
	El software utiliza lenguaje técnico de fácil comprensión por parte del usuario					
	El lenguaje manejado durante la ejecución (alertas, simulaciones, entre otras) de la aplicación es la escogida durante la instalación					

		CONFORMIDAD DE PORTABILIDAD				
Portabilidad	El software puede ser ejecutado en cualquier sistema operativo					
	El software se ejecuta en un entorno operativo existente y fuertemente utilizado					
	El software provee de documentación que oriente sobre la instalación					
TOTALES		0	0	0	0	0
Puntuación mínima requerida por el software, para considerarlo de calidad:6 %		Puntuación Total (0)				

Valoración General de la Calidad del Software de Predicción de Potencial Eólico		
Rangos para evaluar la calidad del software	81% - 100%	Excelente
	61% - 80%	Muy Buena
	41% - 60%	Buena
	21% - 40%	Regular
	Menor al 20%	Mala