

**INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE**  
**GESTIÓN DE FORMACIÓN Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS**  
**NÚCLEO ELÉCTRICO**  
**PROCESO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA**

*INFORME PROYECTO:*

***“Investigación sobre el Desarrollo de  
la Tecnología de los Sistemas de  
Generación Eólica en Costa Rica “***



**Instituto  
Nacional de  
Aprendizaje**

*La Uruca, Noviembre 2012*

## FICHA DE CRÉDITOS

Elaborado por:

José Armando Palacios Hernández  
*Nombre*

Asesoría  
metodológica:

Luis Antonio Arias Arias  
*Nombre*

### REVISIÓN

Luis Antonio Arias Arias  
Encargado /a de Proceso

.....

.....  
Firma

.....

Fecha y sello

### APROBACIÓN

Luis Alejandro Arias Ruiz  
Jefatura del Núcleo de Formación

.....

.....  
Firma

.....

Fecha y sello

## Índice de Contenidos

	Página #
I. MEMORIA .....	1
1.1. Resumen del proyecto. ....	1
1.1.1. Estructura general. ....	1
1.1.2. Metodología. ....	1
1.2. Objetivos del proyecto. ....	2
1.2.1. Objetivo general .....	2
1.2.2. Objetivos de investigación .....	2
1.2.3. Objetivos de desarrollo tecnológico. ....	3
1.2.4. Objetivos de innovación. ....	3
1.3. Análisis situacional/Estudio del estado del arte. ....	3
1.4. Avances científicos y/o técnicos que propone el proyecto. ....	4
1.5. Protección de la propiedad intelectual. ....	4
1.6. Legislación y otras regulaciones. ....	4
II PLANIFICACIÓN. ....	5
2.1. Fases y tareas, y sus interacciones. ....	5
2.1.1. Cronograma de planificación del proyecto. ....	5
2.2. Identificación y evaluación de los riesgos y puntos críticos. ....	7
2.3. Estructura organizativa y de personal (organigrama) .....	7
2.4. Control del programa de trabajo. ....	7
III. PRESUPUESTO. ....	8
3.1. Recursos asignados al proyecto. ....	8
3.2. Estimación y control de costos. ....	8
3.2.1. Cuadro Recursos y Costos del proyecto. ....	9
IV. RESULTADOS DEL PROYECTO. ....	11
4.1. Sobre el Recurso Humano y las necesidades de capacitación. ....	11
4.1.1. Requerimientos de capacitación o formación especializada para desempeñarse en energía eólica (para la figura sugerida) .....	19
4.1.2. Resumen de los resultados más importantes en el tema del recurso humano y las necesidades de capacitación. ....	28

## Índice de Contenidos

	Página #
4.2. Tecnología que utilizan los sistemas /subsistemas instalados. . . . .	32
4.2.1. Características de las Torres. . . . .	32
4.2.2. Características de El Rotor. . . . .	33
4.2.3. Características de El Generador. . . . .	34
4.2.4. Características del Sistema de transmisión. . . . .	37
4.2.5. Características del Sistemas de direccionamiento de la unidad. . . . .	39
4.2.6. Características del Sistema de acondicionamiento de potencia . . . . . Eléctrica	41
4.2.7. Características del Sistemas de protección. . . . .	44
4.2.8. Características de Sistema de lubricación en caja transmisora, cubo. . . . . y aspas	45
4.2.9. Sistema de acumulación eléctrica. . . . .	47
4.2.10 Resumen de los tipos de tecnología utilizadas en los sistema y subsistemas de las turbinas instaladas en los distintos parques . . . . . eólicos.	48-50
4.3. Clases de mantenimiento aplicado a una turbina eólica, las cuales . . . . . son, mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico (electromecánico).	51
4.3.1 Mantenimiento Correctivo. . . . .	51
4.3.2 Mantenimiento Preventivo. . . . .	62
4.3.3. Mantenimiento Predictivo. . . . .	73
4.3.4. Resumen de los resultados más importantes en cuanto a los tipos de . . . . . mantenimiento aplicados en los sistemas y subsistemas de las turbinas instaladas en los distintos parques eólicos	82
4.3.4.1. Resumen sobre mantenimiento Correctivo. . . . .	82-83
4.3.4.2. Resumen sobre mmantenimiento Preventivo. . . . .	83-84
4.3.4.3. Resumen sobre mmantenimiento Predictivo. . . . .	84-85
4.3.5. Descripción general de los procesos de mantenimiento en cada uno . . . . . de los sistemas de una turbina eólica	86-100
4.3.5.1.Revisión de las condiciones de seguridad. . . . .	86
4.3.5.2.Descripción actividades del mantenimiento eléctrico, tanto . . . . . preventivo como correctivo	87-91
4.3.5.2.1 Actividades del proceso de mantenimiento eléctrico correctivo	87
4.3.5.2.2. Actividades del proceso de mantenimiento eléctrico preventivo	88
4.3.5.3.Descripción de las actividades del mantenimiento mecánico tanto preventivo, correctivo y predictivo: . . . . .	92-100
4.3.5.3.1 Actividades del proceso de mantenimiento mecánico Correctivo:	92

## Índice de Contenidos

	Página #
4.3.5.3.2 Actividades del proceso de mantenimiento mecánico preventivo	93
4.3.5.3.3. Actividades del proceso de mantenimiento predictivo	100
4.4. Propuesta de capacitación para el personal docente.	101
4.4.1 Módulo: Mantenimiento de Sistemas Eólicos de generación eléctrica. .	101
4.5. Referente de fabricantes de turbinas eólicas. . . . .	105
4.5.1. Turbinas de fabricantes de grandes aerogeneradores	105
4.6. Tablas o cuadros de la información recolectada	109
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .	110
... CONCLUSIONES: . . . . .	110
... RECOMENDACIONES. . . . .	111
VI. FUENTES CONSULTADAS. . . . .	112-113
... VII. ANEXOS. . . . .	114
..	

## Índice de Tablas

	Página #
<b>Cuadro #1.</b> Cronograma de actividades.....	6
<b>Cuadro #2.</b> Recursos y costos del proyecto.....	9-10
<b>Cuadro #3.</b> Cantidad y Perfil del recurso humano participa en la prestación de servicios relacionados con la energía eólica.....	11
.	
<b>Cuadro #4.</b> Áreas en las que se requiere capacitación .....	17
<b>Cuadro #5.</b> Respuesta a la pregunta ¿Considera que el mercado requiere... personas capacitadas en esta área laboral? (Generación eólica).	17

## Índice de Gráficos

	Página #
Gráfica #1. Cantidad y Perfil del recurso humano participa en la prestación de servicios relacionados con la energía eólica	13
Gráfica #2. Distribución de recurso humano por planta	13
Gráfica #3. Número de operarios por planta	14
Gráfica #4. Número de turbinas por operario de mantenimiento	14
Gráfica #5. Proporción del personal técnico por especialidad en cada planta	15
Gráfica #6. Especialidades de los técnicos en cada una de las plantas	15
Gráfica #7. Respuesta sobre la capacitación del personal de la unidad productiva	16
Gráfica #8. Respuesta de los entrevistados sobre la capacitación de sus técnicos	16
Gráfica #9. Nivel de calificación/escalafón del personal en cada empresa según los entrevistados de cada planta	18
Gráfica #10. Niveles de cualificación según los entrevistados de cada planta	18
Gráfica #11. Temas de electrónica que deben incluirse en la capacitación	19
Gráfica #12. Temas sobre electrónica según los entrevistados de cada planta	19
Gráfica #13. Opinión sobre temas de motores eléctricos	20
Gráfica #14. Temas sobre motores eléctricos según los entrevistados de cada planta	20
Gráfica #15. Opinión sobre temas de control eléctrico	21
Gráfica #16. Temas sobre control eléctrico según los entrevistados de cada planta	21
Gráfica #17. Opinión sobre temas de PLC	22
Gráfica #18. Temas de PLC según los entrevistados de cada planta	22
Gráfica #19. Opinión sobre temas de control hidráulico	23
Gráfica #20. Temas de control hidráulico según los entrevistados de cada planta	23
Gráfica #21. Opinión sobre temas de aceros, elementos de fijación y pruebas de tensión	24
Gráfica #22. Temas de aceros, elementos de fijación y pruebas de tensión según entrevistados de cada planta.	24
Gráfica #23. Opinión sobre el tema de generadores eléctricos	25
Gráfica #24. Temas de generadores eléctricos según los entrevistados	25
Gráfica #25. Opinión sobre el tema de transmisiones mecánicas	26
Gráfica #26. Temas de transmisiones mecánicas según los entrevistados de cada planta	26
Gráfica #27. Opinión sobre la modalidad de capacitación.	27
Gráfica #28. Formas de cómo se debe de capacitar según los entrevistados de cada planta	27

## Índice de Gráficos

	Página #
Gráfica #29. Tipos de torres en las plantas de generación eólica ya instaladas	32
Gráfica #30. Correspondencia de los tipos de torres y las plantas instaladas	32
Gráfica #31. Dimensiones de las torres para cada planta instalada	33
Gráfica #32. Características más importantes de los rotores de las turbinas eólicas en el país	33
Gráfica #33. Características del rotor para cada planta instalada	34
Gráfica #34. Porcentajes de turbinas eólicas instaladas con generadores sincrónicos y turbinas con generadores asincrónicos.	34
Gráfica #35. Plantas de generación que tienen generadores sincrónicos y plantas con generadores asincrónicos.	35
Gráfica #36. Métodos de regulación de Potencia utilizados en los generadores de plantas eólicas instaladas	35
Gráfica #37. Control de potencia en los generadores de las plantas eólicas existentes	36
Gráfica #38. Distribución de rangos de potencias eléctricas de las unidades de generación en las plantas instaladas	36
Gráfica #39. Potencia eléctrica en KW de los generadores, por cada planta existente en el país	37
Gráfica #40. Transmisión mecánica	37
Gráfica #41. Tipo de engranajes	38
Gráfica #42 Relación de velocidades en la caja de transmisión	38
Gráfica #43. Características de las transmisiones mecánicas de las máquinas de cada planta eólica	39
Gráfica #44. Posicionamiento de la turbina	39
Gráfica #45. Tipos motoreductores en cada planta	40
Gráfica #46. Posicionamiento del ángulo de ataque de las aspas	40
Gráfica #47. Técnicas de control del ángulo de paso de las aspas en cada planta	41
Gráfica #48. Elementos de potencia de los "Inversores Electrónicos	41
Gráfica #49. Tensiones de entrada y salida máximas en las secciones con electrónica de potencia	42
Gráfica #50. Características de ubicación y tipo de transformadores de acople	42
Gráfica #51. Tensiones de entrada, salida en los transformadores y razón de transformación de las plantas eólicas instaladas	43
Gráfica #52. Tipo de bus de interconexión en el sitio	43
Gráfica #53. Tipos de sistemas de protección aplicados en la turbinas eólicas	44
Gráfica #54. Sistemas de protección de las turbinas en cada planta eólica	44
Gráfica #55. Características de lubricación de la transmisión en las turbinas eólicas	45



## Índice de Gráficos

	Página #
Gráfica #56. Características de lubricación aplicada en la transmisión de las turbinas	45
Gráfica #57. Características de la lubricación de cubos y aspas	46
Gráfica #58. Características de la lubricación aplicadas en cubos y aspas de las turbinas eólicas	46
Gráfica #59. Aplicación de los sistemas de almacenamiento de energía con banco de baterías en las plantas instaladas.	47
Gráfica #60. Elementos a los que se da mantenimiento correctivo en las torres	51
Gráfica #61. Mantenimiento correctivo de los elementos de una torre en cada planta	52
Gráfica #62. Elementos de la góndola que se les da mantenimiento correctivo	52
Gráfica #63. Elementos de la góndola a los cuales se les da mantenimiento correctivo en cada planta	53
Gráfica #64. Mantenimiento correctivo a los elementos asociados a las aspas y al cubo	53
Gráfica #65. Elementos del rotor a los cuales se les da mantenimiento en cada planta	54
Gráfica #66. Elementos del Generador a los cuales se les da mantenimiento correctivo	54
Gráfica #67. Mantenimiento correctivo en el generador, según cada planta.	55
Gráfica #68. Mantenimiento correctivo para elementos de la transmisión mecánica	55
Gráfica #69. Opinión del mantenimiento correctivo de la caja de transmisión por planta	56
Gráfica #70. Mantenimiento correctivo sobre la electrónica de potencia de las turbinas	56
Gráfica #71. Atención correctiva de elementos electrónicos en cada planta	57
Gráfica #72. Mantenimiento correctivo sobre elementos y sistemas de protección	57
Gráfica #73. Intervención correctiva sobre los sistemas de protección de las turbinas según entrevistado	58
Gráfica #74. Mantenimiento correctivo sobre los elementos que constituyen el control centralizado	58
Gráfica #75. Opiniones sobre las intervenciones correctivas en las protecciones según entrevistado	59
Gráfica #76. Mantenimiento correctivo sobre los elementos de los sistemas orientadores	59
Gráfica #77. Opiniones sobre el mantenimiento correctivo de los sistemas orientadores según cada entrevistado	60
Gráfica #78. Mantenimiento correctivo sobre elementos de frenado	60
Gráfica #79. Opinión sobre el mantenimiento correctivo de los elementos del sistema de frenado según entrevistado	61
Gráfica #80. Opinión sobre elementos de la torre a los cuales se les da mantenimiento preventivo	62
Gráfica #81. Elementos de la torre a los que se les da mantenimiento preventivo en cada planta	63

## Índice de Gráficos

	Página #
Gráfica #82. Opinión sobre los elementos de la góndola a los cuales se les da mantenimiento preventivo	63
Gráfica #83. Elementos de la góndola que se les da mantenimiento preventivo en cada planta	64
Gráfica #84. Opinión sobre los elementos del rotor a los cuales se les aplica el mantenimiento preventivo	64
Gráfica #85. Elementos del rotor a los que se les da mantenimiento preventivo según entrevistados de cada planta	65
Gráfica #86. Opinión sobre elementos del Generador a los cuales se les da mantenimiento preventivo	65
Gráfica #87. Mantenimiento preventivo de los elementos del generador según entrevistados de cada planta	66
Gráfica #88. Opinión sobre elementos de la transmisión a los cuales se les da mantenimiento preventivo	66
Gráfica #89. Elementos de la transmisión que se les da mantenimiento preventivo en cada planta	67
Gráfica #90. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados a la electrónica de potencia	67
Gráfica #91. Intervención preventiva de elementos electrónicos por planta	68
Gráfica #92. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con las protecciones de una turbina	68
Gráfica #93. Mantenimiento preventivo de elementos asociados con la protección de la turbina según entrevistados de cada planta	69
Gráfica #94. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con el control centralizado en una turbina	69
Gráfica #95. Mantenimiento preventivo de elementos relacionados con el control de una turbina según entrevistados de cada planta	70
Gráfica #96. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con el sistema orientador	70
Gráfica #97. Mantenimiento preventivo de los elementos orientadores según entrevistados de cada planta	71
Gráfica #98. Opinión del mantenimiento preventivo sobre Elementos asociados al sistema de frenado	71
Gráfica #99. Mantenimiento preventivo de los elementos de frenado según entrevistados de cada planta	72
Gráfica #100. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo que se realiza a las torres	73
Gráfica #101. Mantenimientos predictivo a las torres según entrevistados de cada planta	73

## Índice de Gráficos

	Página #
Gráfica #102. Opinión del tipo de mantenimiento predictivo que se realiza al rotor	74
Gráfica #103. Mantenimiento predictivo aplicado al rotor según entrevistados de cada planta	74
Gráfica #104. Opinión sobre tipos de mantenimiento predictivo que se aplica al generador	75
Gráfica #105. Mantenimiento predictivo que se aplica al generador según entrevistados de cada planta	75
Gráfica #106. Opinión sobre tipos de mantenimiento predictivo que se realiza a la transmisión	76
Gráfica #107. Mantenimiento predictivo aplicados a la transmisión según entrevistados de cada planta	76
Gráfica #108. Opinión sobre el tipo mantenimiento predictivo aplicado a los elementos de potencia electrónico	77
Gráfica #109. Mantenimiento predictivo aplicados a los elementos de potencia según entrevistados de cada planta	77
Gráfica #110. Opinión sobre e tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de frenado	78
Gráfica #111. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de frenado según entrevistados de cada planta	78
Gráfica #112. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de control central	79
Gráfica #113. Mantenimientos predictivo aplicado al sistema de control central según entrevistados de cada planta	79
Gráfica #114. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de orientación	80
Gráfica #115. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de orientación según los entrevistados de cada planta	80
Gráfica #116. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de lubricación	81
Gráfica #117. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de lubricación según entrevistados de cada planta	81

## Índice de figuras

	Página #
Figura #1. Motor del sistema hidráulico de control proporcional de una turbina eólica	88
Figura #2. Motor de inducción utilizado como generador	88
Figura #3. Tarjeta electrónica de control del inversor de potencia	88
Figura #4. Módulo de control de arranque suave del motor. .generador	88
Figura #5. Panel de visualización y configuración del PLC	89
Figura #6. Cableado de potencia conectado al generador	89
Figura #7. PLC de control maestro en una turbina	89
Figura #8. Técnico configurando los parámetros en el PLC	89
Figura #9. Sensor de movimiento angular de la guiñada	90
Figura #10. Relés/Contactores para el control de distintos elementos en la turbina	90
Figura #11 Batería de respaldo del PLC en un turbina	91
Figura #12. Cono frontal de una turbina eólica	93
Figura #13. Aspas o paletas de una turbina de tripala	93
Figura #14. Interior y exterior del cubo que soporta las aspas	93
Figura #15. Brazos de la biela que controla el ángulo de las aspas	94
Figura #16. Sección de la corona de rodamiento en la turbina	94
Figura #17. Sección de la corona de rodamiento en la turbina	95
Figura #18. Eje principal del rotor de una turbina eólica	95
Figura #19. Barra de reacción para la conexión mecánica de la caja de transmisión al eje del generador	95
Figura #20. Caja de transmisión multiplicadora para una turbina eólica	96
Figura #21. Sección exterior del pistón hidráulico de control del ángulo de paso de las aspas	96
Figura #22. Vista de perfil de sistema de frenado de una turbina eólica	96
Figura #23. Sistema hidráulico de control proporcional en una turbina eólica	97
Figura #24. Vista interna de la corredera del pistón hidráulico del control del ángulo de las aspas	98
Figura #25. Motor/Generador de una turbina eólica Vestas	98
Figura #26. Góndola o Nacelle de una turbina eólica Vestas	99
Figura #27. Torre de soporte de una turbina eólica Enercon E44	99
Figura #28. Transformador de acople a la red distribución en el parque eólico de AEROENERGIA	99
Figura #29. Grúa para el alzado de cargas en la góndola de una turbina V47	100

## Índice de figuras

	Página #
Figura #30. Rotor de la turbina eólica Enercon E44	105
Figura #31. Rotor de la turbina eólica Vestas V47	106
Figura #32. Turbina eólica ACSA – A27	107
Figura #33. Turbina eólica G52. .850KW	108

## **I. MEMORIA**

### **1.1. Resumen del proyecto**

#### **1.1.1 Estructura general**

El proyecto se enfoca principalmente a los sistemas de generación eólica en gran escala comerciales, la razón primordial, son los sistemas que en este momento tienen gran importancia para la generación comercial. Para ello se ha estructurado en cuatro fases:

- a. Planificación del proyecto.
- b. Diagnóstico Situacional.
- c. Diagnóstico Tecnológico.
- d. Generación de insumos y productos para la actualización de la oferta curricular.

#### **1.1.2. Metodología.**

La primera etapa se llevó a cabo realizando un taller de planificación grupal con los docentes del Núcleo Eléctrico, para desarrollar tareas con el equipo asignado a este proyecto.

La segunda y tercera etapa se realizaron con una investigación de campo en dos direcciones una haciendo una entrevista para completar un documento de recolección de información sobre estos sistemas tomando en cuenta varios aspectos de interés y por otro lado realizar en un lapso de tres días en la Planta de Generación Eólica Tejona un período de observación para anotar los procedimientos de mantenimiento anual de los subsistemas que constituyen una turbina eólica.

En el primer caso se diseñó un instrumento orientado a dar respuesta a cada uno de los objetivos que se han propuesto resolver el cual tiene la siguiente agrupación de información:

1. Datos de la Organización.
2. Situación del mercado de la Energía Eólica.
3. Sobre el Recurso Humano y las necesidades de capacitación.
4. Sobre los proyectos realizados
5. Sobre la Tecnología de componentes Utilizados.
6. Técnicas de Intervención
7. Seguridad personal
8. Documentos Utilizados
9. Gestión Ambiental

Para llenar este instrumento y recompilar la información necesaria para la investigación, se coordinó una visita para entrevistar en el sitio a los encargados de mantenimiento de cada planta. Posteriormente se tabula y analiza la información.

En el segundo caso se coordinó una visita de tres días al complejo de generación de Tejona, para realizar la observación del proceso de mantenimiento de las turbinas eólicas y por supuesto recopilar toda la información gráfica, audio y video necesario para anotar los procedimientos de mantenimiento de las unidades de generación.

Una vez recopilados los datos se procedió a tabular la información obtenida en cada una de las unidades productivas y a realizar cada uno de los gráficos que se sustraen de las tablas de datos.

Y finalmente, la cuarta etapa se realiza con los datos obtenidos en las dos etapas anteriores.

## **1.2. Objetivos del proyecto**

### **1.2.1. Objetivo general:**

Generar los insumos mediante investigación documental y de campo, las oportunidades de actualización de la oferta curricular del Núcleo Eléctrico en cuanto a la tecnología de generación eólica para la incorporación oportuna estos servicios de formación/capacitación profesional.

### **1.2.2. Objetivos de investigación**

1. Identificar las competencias requeridas para el (los) puesto(s) de trabajo demandados.
2. Determinar los tipos de tecnología (3) que más se utilizan en los sistemas de generación eólica.

### **1.2.3. Objetivos de desarrollo tecnológico**

3. Describir los procedimientos mantenimiento que se ejecutan en los subsistemas de generación eólica según las competencias descritas en el diagnóstico situacional.

### **1.2.4. Objetivos de innovación**

4. Elaborar una propuesta de capacitación para el personal docente, a partir de las necesidades detectadas en los puntos 3 y 4.

5. Generar los insumos para el diseño de SCFP, según la demanda detectada

## **1.3. Análisis situacional/Estudio del estado del arte.**

Para esta etapa se proyectó de investigar con personas físicas, así como empresas públicas y privadas, el grado de avance y penetración de la tecnología eólica a nivel nacional. Además se espera detectar las tendencias que sugieren la labor de la investigación desplegada por dichas organizaciones, los proyectos en ejecución, y las perspectivas de crecimiento a futuro. Otro factor a considerar son los aspectos legales, la normativa y trámites que afectan el desarrollo de esta actividad. Cabe destacar que se contempla instituciones con amplia trayectoria como el ICE, CNFL, y COOPESANTOS, entre otras.

Al investigar el segmento de empresas de diseño e instalación de proyectos eólicos, se espera conocer su percepción del mercado nacional: la constitución de este mercado, su comportamiento, la concentración o desconcentración geográfica de la demanda, la capacidad promedio demandada en este tipo de proyectos, así como la tendencia que se vislumbra en la demanda a futuro de este tipo de proyectos y las particularidades que implica la generación eólica en escala comercial.

Otro aspecto a investigar es la tecnología que incorporan los diferentes componentes y subsistemas que integran los sistemas de generación eólica, así como la experiencia que se ha generado en el país con las diferentes tecnologías y marcas. Adicionalmente, resulta de interés conocer, la percepción del campo laboral en el tema eólico: quién y cómo se realizan actualmente los proyectos, que participación tiene el nivel técnico, cuales son las competencias requeridas a este nivel.



#### **1.4 Avances científicos y/o técnicos que propone el proyecto**

El proyecto se enfoca a la investigación, asimilación y apropiación de la tecnología eólica para su posterior transferencia mediante nuevos servicios de formación/capacitación que complementen la oferta del Subsector Electricidad y Electrónica. El objetivo final es que con los servicios propuestos y los recursos de apoyo generados, el Núcleo pueda desarrollar la experticia para fomentar a futuro otros proyectos, ya sea para desarrollar con docentes o bien con estudiantes, que además de impulsar esta tecnología, apunten a innovar en sus aplicaciones.

#### **1.5 Protección de la propiedad intelectual**

Los trámites que se debe realizar para la protección de los resultados de este proyecto básicamente se enmarcan en la aplicación de los procesos normales en este sentido y que la institución realiza.

#### **1.6 Legislación y otras regulaciones**

La investigación contempla la normativa desde dos perspectivas: la legislación y normativa existente a nivel nacional que integra el marco legal regulatorio de los sistemas de energía eólica: entidades facultadas para la explotación, regulación y comercialización del recurso, tramitología relacionada con impacto ambiental, etc.

Por otra parte se investigará la normativa técnica aplicable en las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos: normas para diseño, fabricación y prueba de componentes, normativa para instalación y operación de los sistemas. En este caso, se contemplará la normativa técnica tanto en el ámbito nacional como internacional.

## **II PLANIFICACIÓN**

### **2.1. Fases y tareas, y sus interacciones**

#### **2.1.1. Cronograma de planificación del proyecto**

Ver tabla en la siguiente página.

**Cuadro #1. Cronograma de actividades**

Fases del proyecto	#	Actividades	Plazo (meses)												Responsable	Resultados esperados
			Semana													
			Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Ugarte/Palacios		
Planificación del Proyecto	1	Redacción Sistema Problemático	■												Plantilla Completa	
	2	Elaboración de idea de proyecto	■												FR. .48 completo	
	3	Revisión de idea de proyecto	■												FR. .48 revisado	
	4	Validación de idea de proyecto	■												FR. .48 validado	
	5	Elaboración del Plan de Trabajo	■												FR. .35 completo	
	6	Revisión del plan de trabajo	■												FR. .35 revisado	
Diagnóstico Situacional	7	Investigación preliminar mercado		■											Variables estudio	
	8	Investigación del Marco legal		■											referente marco regulatorio	
	9	Análisis de información		■											Información analizada	
	10	Diseño de instrumento(s)		■											Instr. diseñados	
	11	Determinación del marco muestral		■											Marco muestral	
	12	Validación de instrumentos		■											Instr. validados	
	13	Elaboración de informe avance			■										Informe avance	
Diagnóstico Tecnológico	14	investigación de normativa técnica			■										referente Normativa	
	15	Aplicación PESA			■										Instr. aplicados	
	16	Aplicación PEG			■										Instr. aplicados	
	17	Aplicación Aeroenergía			■										Instr. aplicados	
	18	Aplicación MOEVASA				■									Instr. aplicados	
	19	Aplicación Coopesantos				■									Instr. aplicados	
	20	Aplicación TEJONA				■									Instr. aplicados	
	21	Tabulación resultados					■	■							Result.tabulados	
	22	Análisis de la información tabulada						■							Información analizada	
	23	Elaboración de informe avance						■							Informe avance	
Elaboración de Insumos /Productos	24	Elaboración insumos diseño							■						Insumos diseño	
	25	Elaboración propuesta de capacitación para docentes.								■					Módulo de capacitación	
	26	Redacción del informe final										■			Informe final	
Presentación Proyecto	27	Elaboración de presentación											■		Presentación	
	28	Conferencia de presentación											■		Conferencia	

## **2.2 Identificación y evaluación de los riesgos y puntos críticos**

Parte de los riesgos tuvo que ver con el acceso a información detallada de los sistemas y subsistemas de las turbinas de generación eólica en varias de las plantas instaladas, Imprevistos que se debieron atender con urgencia y la accesibilidad a algunas fuentes de información específica que limitaron su acceso.

La ejecución de actividades extra que están fuera de programación y se atendieron ya sea por mandato de las autoridades superiores o por que sea una prioridad de acuerdo a los intereses del núcleo eléctrico.

## **2.3 Estructura organizativa y de personal (organigrama)**

El proyecto se desarrolló bajo la estructura organizativa del Núcleo Eléctrico donde la persona que realiza el proyecto depende del encargado del Proceso de Gestión Tecnológica (PGT).

## **2.4 Control del programa de trabajo**

De acuerdo al desarrollo del proyecto se entregaron tres informes, uno a una tercer parte del tiempo transcurrido desde el inicio, el otro a dos terceras partes y el último será el informe Final.

### **III. PRESUPUESTO**

#### **3.1 Recursos asignados al proyecto**

Los recursos asignados están directamente relacionados con los recursos del utilizados en el trabajo normal, papelería, impresora, fotocopidora, computadora, accesorios de oficina y posteriormente conforme se desarrolle el proyecto se presupuestarán los equipos y materiales que sean necesarios para montar el panel didáctico.

#### **3.2 Estimación y control de costos**

**Ver cuadro siguiente**

### 3.2.1. Cuadro Recursos y Costos del proyecto

**Cuadro #2. Recursos y costos del proyecto**

<b>Actividades</b>	<b>Recursos</b>									
	<b>Recurso humano (horas)</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Total</b>	<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>	<b>Equipamiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Costos Viáticos y transporte</b>	<b>Costo de Otros (especificar)</b>	<b>Costo Total</b>
Redacción Sistema Problemático	21	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	100	0	0	94700
Elaboración de idea de proyecto	60	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	1000	0	0	271100
Revisión de idea de proyecto	3	4500			0	Equipo de cómputo	100	0	0	13600
Validación de idea de proyecto	1	4500			0		0	0	0	4500
Elaboración del Plan de Trabajo	10	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	100	0	0	45200
Revisión del plan de trabajo	1	4500			0	Equipo de cómputo	0	0	0	4500
Investigación preliminar mercado	30	4500			0	Equipo de cómputo	500	0	0	135500
Investigación del Marco legal	5	4500			0	Equipo de cómputo	100	0	0	22600
Análisis de información	3	4500			0	Equipo de cómputo	100	0	0	13600
Diseño de instrumento(s)	10	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	100	0	0	45200
Determinación del marco muestral	3	4500			0		0	0	0	13500
Validación de instrumentos	8	4500		Papel Bond	100					36100
Elaboración de informe avance	2	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	100			9200
investigación de normativa técnica	15	4500					200			67700
Aplicación PESA	7,5	4500		Papel Bond	100			6550	10650	51050
Aplicación PEG	7,5	4500		Papel Bond	100			5466		39316

**Cuadro #2. Recursos y costos del proyecto**

<i>Actividades</i>	<i>Recursos</i>									
	<i>Recurso humano (horas)</i>	<i>Costo/h ora</i>	<i>Total</i>	<i>Materiales</i>	<i>Costo</i>	<i>Equipamiento</i>	<i>Costo</i>	<i>Costos Viáticos y transporte</i>	<i>Costo de Otros (especifica)</i>	<i>Costo Total</i>
Aplicación MOVASA	7,5	4500		Papel Bond	100			5466		39316
Aplicación AEROENERGIA	7,5	4500		Papel Bond	100			6550	10650	51050
Aplicación Coopesantos	7,5	4500		Papel Bond	100				6500	40350
Aplicación TEJONA	7,5	4500		Papel Bond	100			5466		39316
Tabulación resultados	37,5	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo	100			168950
Análisis de la información tabulada	15	4500				Equipo de cómputo	200			67700
<i>Elaboración de informe avance</i>	2	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	100			9200
Elaboración insumos diseño	75	4500		Papel Bond	100	Equipo de cómputo e impresora	1000			338600
Elaboración propuesta de capacitación para docentes.	30	4500				Equipo de cómputo	500			135500
<i>Redacción del informe final</i>	150	4500		Papel Bond	2500	Equipo de cómputo e impresora	2000			679500
<i>Elaboración de presentación</i>	15	4500		Papel Bond	100					67600
<i>Conferencia de presentación</i>	2	4500				Equipo de cómputo	100			9100
<b>Costo total</b>										<b>5217096</b>

## IV. RESULTADOS DEL PROYECTO

Partiendo de los datos generados en la encuesta aplicada al personal encargado de mantenimiento de las plantas eólicas ya instaladas en el país, se tiene la siguiente información:

### 4.1. Sobre el Recurso Humano y las necesidades de capacitación.

**Cuadro #3. Cantidad y Perfil del recurso humano participa en la prestación de servicios relacionados con la energía eólica.**

Empresas/ indicadores	Ingenieros	Técnicos	Trabajadores calificados	Operadores de planta	# Turbinas/ técnicos	# de operarios por cada ingeniero	# de operios de mant. por planta	% de personal de mantenimiento
LOS SANTOS	3	4	4	5	2	3	8	72.7%
AEROENERGIA	3	4	4	4	1	4	8	72.7%
PESA	3	2	10	5	5	7	12	80%
PEG	2	8	0	4	7	5	8	80%
MOVASA	1	4	5	4	4	9	9	90%
PE_TEJONA	2	7	1	4	4	5	8	80%
<b>Total</b>	14	29	24	26	Promedio = 3,7 $\cong$ 4	Promedio = 5,5	Promedio = 8,8	Promedio = 79.2%

En esta tabla se muestra la distribución del personal que ejecuta la operación y el mantenimiento de cada una de las plantas eólicas instaladas en el país, en la quinta columna se realiza una comparación muy importante y es el número de Turbinas (máquinas) por cada operario de mantenimiento.

Una de las empresas con más turbinas (PEG) tiene la razón más grande de turbinas por cada operarios e igual a 7 en comparación con la media de todas las plantas de 3,7 turbinas por cada técnico, es decir considerando este promedio 3,7, cada operario da mantenimiento aproximadamente a 4 turbinas eólicas, además que la relación de operarios a ingenieros es en promedio 5,5 lo cual significa que hay cinco técnicos y medio por cada ingeniero.



Otro valor interesante que se saca de esta tabla es que la suma del número de técnicos más los trabajadores calificados es casi constante, alrededor de 8 en comparación con el valor promedio de 8,8 se desvía muy poco, esto se debe a que la planta PESA tiene más personal para el mantenimiento de gran cantidad de antiguas turbinas. Lo contrario se da en la planta PEG donde sus turbinas son de tecnología más robusta y en adición, debido a que es un proyecto reciente, el mantenimiento correctivo es mínimo por eso requiere pocos técnicos, la conclusión que se obtiene de este análisis es que conforme pasa el tiempo el parque va requiriendo cada vez más mantenimiento correctivo.

Al analizar la cantidad de turbinas por técnico que tiene AEROENERGIA es mínima respecto a las demás plantas y es que en palabras del gerente de mantenimiento aquí se aplica el Mantenimiento con “Riesgo controlado”, lo cual requiere extremar las medidas de seguridad. Según esta experiencia el rendimiento de cada unidad es más alto en comparación con el resto de las plantas.

La cantidad de operadores de planta en cada unidad productiva es aproximadamente de cuatro operadores por planta. Otra observación importante sobre estos datos es que la cantidad de trabajadores calificados que hay en cada planta es considerable 24 que representan el 45% de todos los que ejecutan mantenimiento en los parques eólicos.

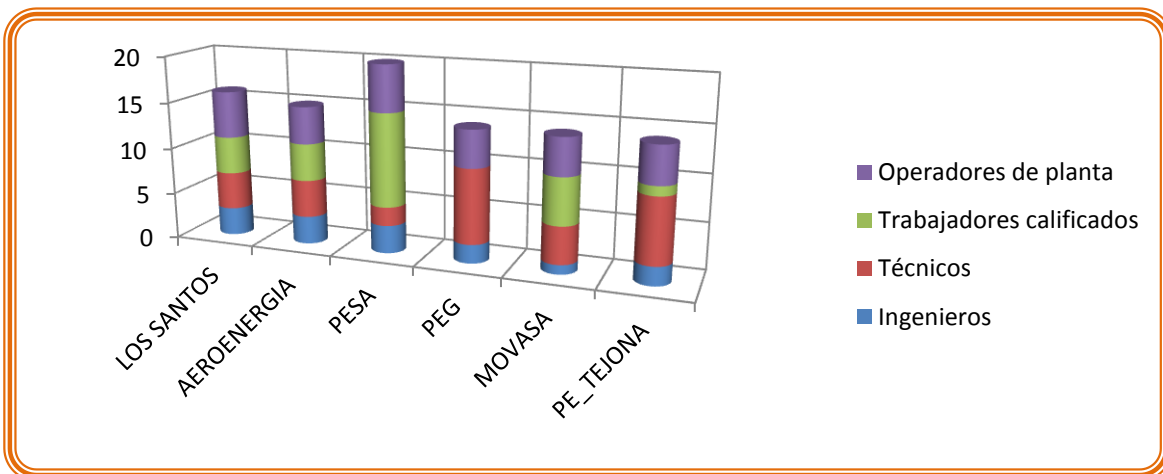
Importante mencionar que de acuerdo a este registro de datos, aproximadamente el 80% de los que trabajan en la atención de estas plantas son personal dedicado a la ejecución del mantenimiento.

**Gráfica #1. Cantidad y Perfil del recurso humano que participa en la prestación de servicios relacionados con la energía eólica:**



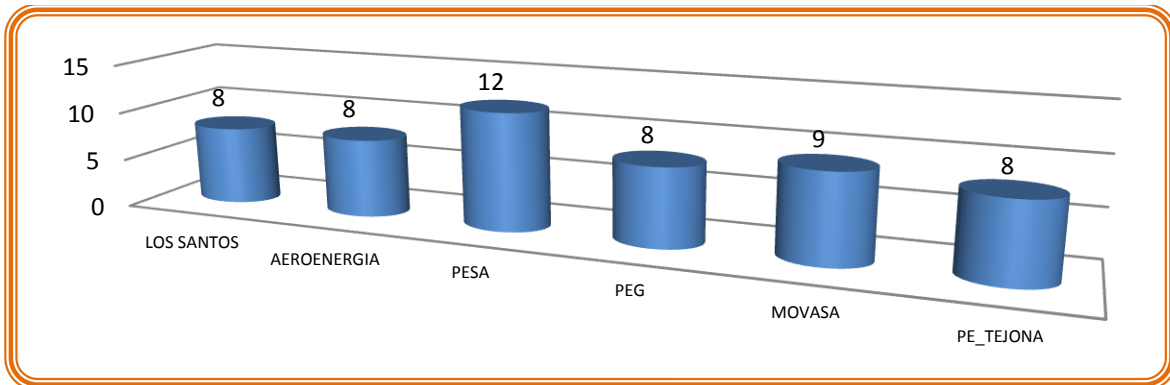
14 Ingenieros, 26 operadores de planta, 53 personas entre trabajadores calificados y técnicos atienden el mantenimiento de las seis plantas(199 Turbinas) de energía eólica instaladas en el país.

**Gráfica #2  
Distribución de recurso humano por planta**



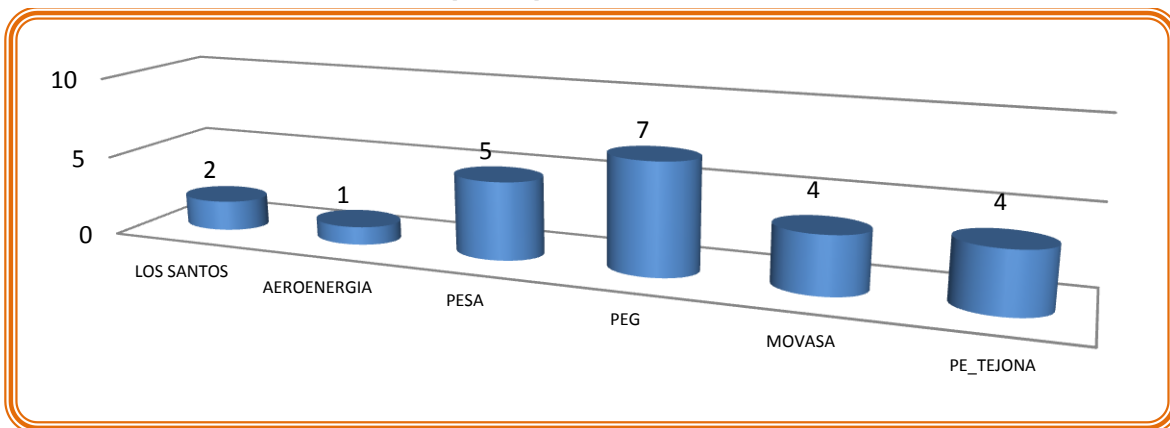
Se observa en esta gráfica la proporción que existe entre trabajadores calificados, técnicos, ingenieros y operadores de planta que atienden cada planta, donde la cantidad de operadores de planta es casi constante( 4 ) en todas las plantas.

**Gráfica #3. Número de operarios por planta.**



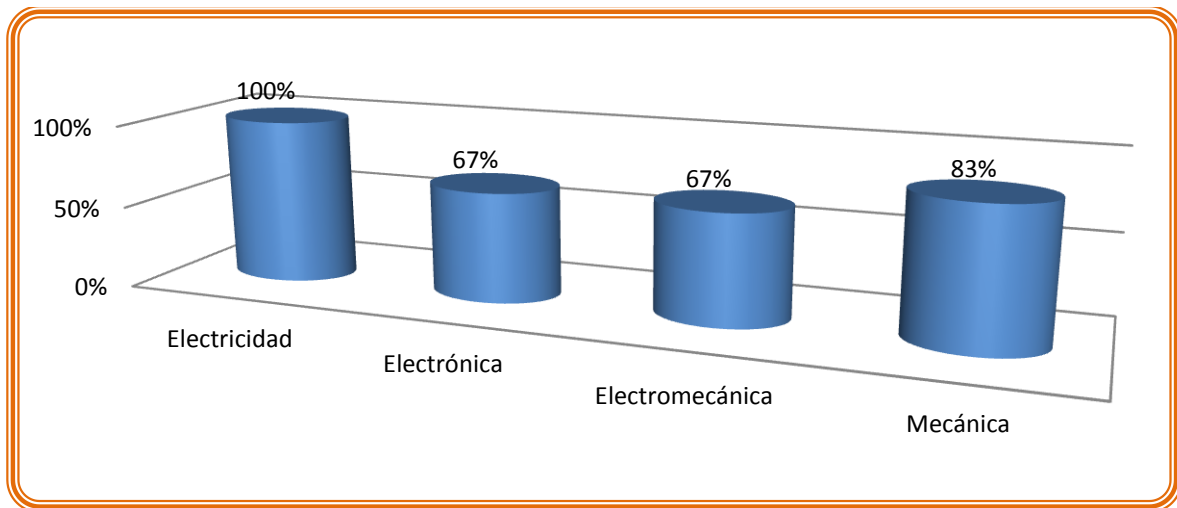
La planta eólica PESA es la que más personal tiene para el mantenimiento, esto se debe principalmente a que el parque eólico ya cumplió su vida útil, tiene una gran cantidad de turbinas(58 en total) y las máquinas requieren mayor mantenimiento correctivo. Un mayor mantenimiento implica mayor cantidad de personal, en comparación el Proyecto PEG que es el mayor instalado en el país, tiene pocos técnicos en función de la cantidad de turbinas que posee, esto se debe a varias razones y una de ellas es que el parque es nuevo y su tecnología es de las más avanzadas en este tipo de generación eléctrica.

**Gráfica #4. Número de turbinas por operario de mantenimiento**



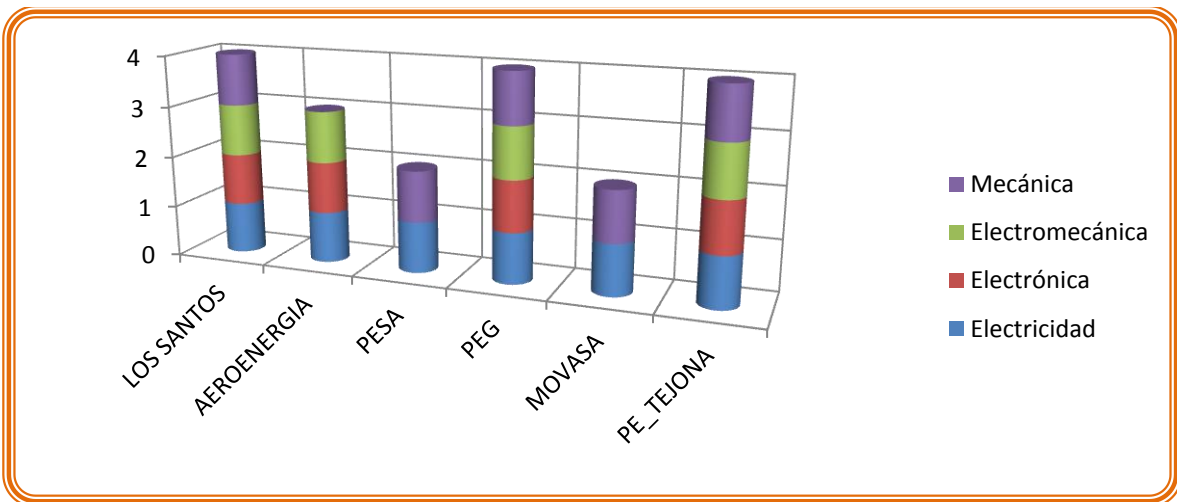
Es importante realizar una comparación de la cantidad de turbinas que atienden en promedio cada técnico en cada una de las plantas instaladas en el país. En este caso se puede ver que un técnico de la empresa PEG atiende siete turbinas eólicas en comparación a un técnico de la empresa AEROENERGIA que solo atiende una turbina, hay varias razones de esta gran diferencia, la primera es que PEG requiere poco mantenimiento debido a que es un proyecto muy reciente y la segunda es que la tecnología es más avanzada, ya que la transmisión mecánica del rotor es directa al generador es decir no tiene caja multiplicadora y esto significa menos mantenimiento mecánico correctivo. En comparación AEROENERGIA es un proyecto que tiene más de diez años y con turbinas con transmisión de caja multiplicadora, implica un mayor mantenimiento correctivo.

**Gráfica #5. Proporción del personal técnico por especialidad en cada planta**



El 100% de las personas entrevistadas dijeron tener en las plantas de generación técnicos en electricidad, el 83% en mecánica, 67% en electrónica y el 67% en electromecánica.

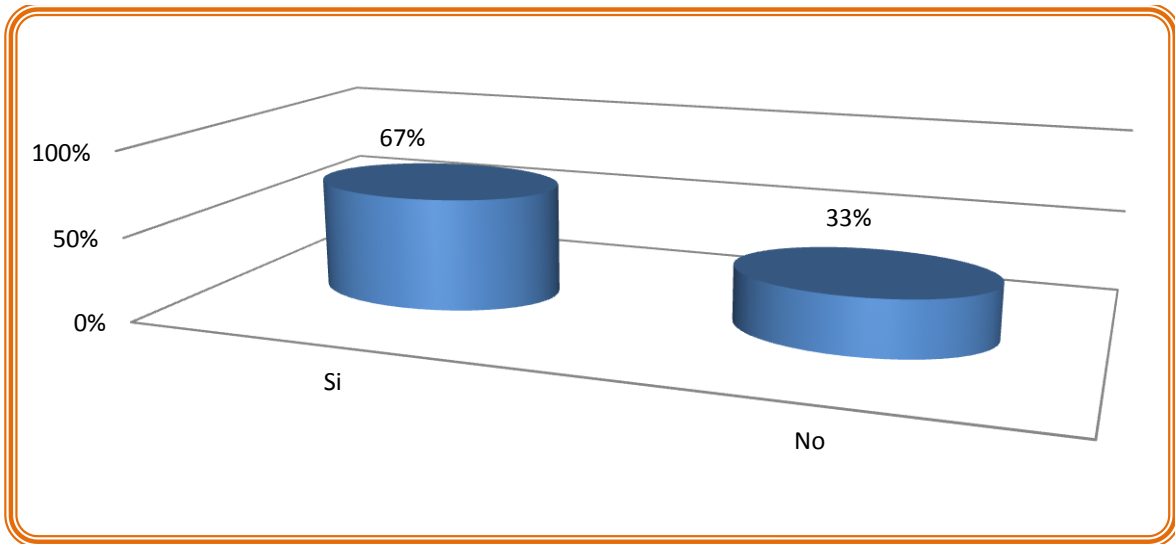
**Gráfica #6. Especialidades de los técnicos en cada una de las plantas**



En las plantas de Los Santos, PEG y Tejona tienen técnicos con formación en cada una de las áreas técnicas que se mencionan, en contraposición no es así en PESA y MOVASA.

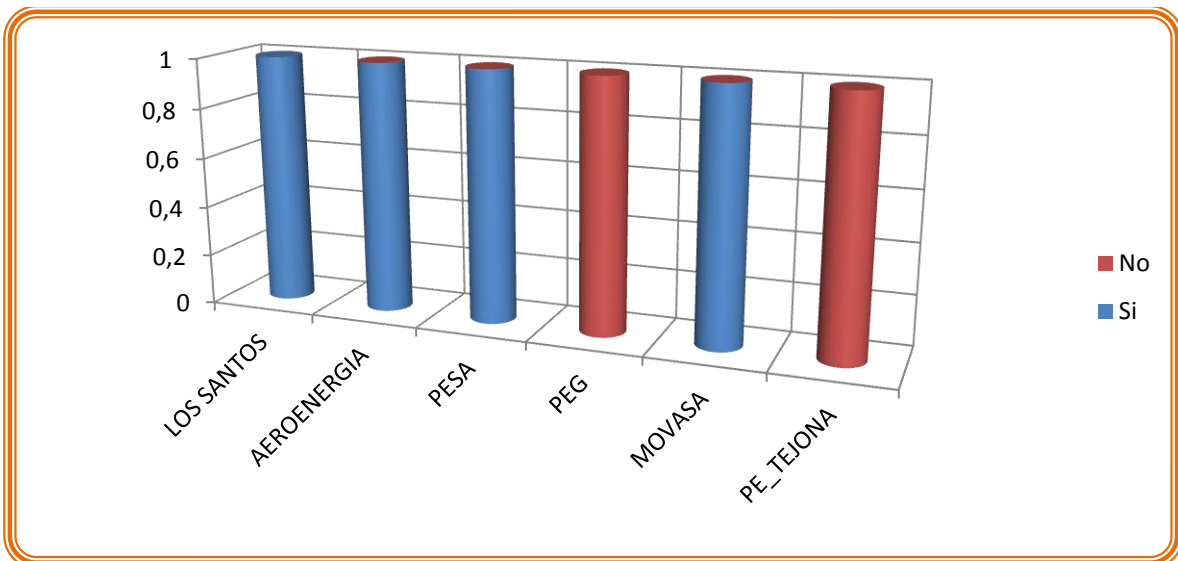
### Gráfica #7

#### Respuesta sobre la capacitación del personal de la unidad productiva



Según lo expuesto por los entrevistados el 67% dijo que el personal técnico de sus empresas necesitan capacitación y el 33% mencionó que no es necesario capacitar a su personal.

### Gráfica #8. Respuesta de los entrevistados sobre la capacitación de sus técnicos



Como se puede observar cuatro de seis entrevistados cree que es necesario capacitar al personal técnico de sus empresas, en este caso los que creen que ya sus técnicos están capacitados y no requieren más capacitación son de las plantas PEG y de Tejona.

**Cuadro #4. Áreas en las que se requiere capacitación**

UNIDAD PRODUCTIVA	Electricidad	Electrónica	Mecánica	Hidráulica	Otros							
					Telemática	Trabajo en alturas	Manejo de cargas	Media Tensión	Seguridad Ocupacional	Protecciones eléctricas	Cajas multiplicadoras	Generadores
LOS SANTOS	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
AEROENERGIA	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
PESA	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOVASA	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
PE_TEJONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentaje(%)	33%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
frecuencia	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

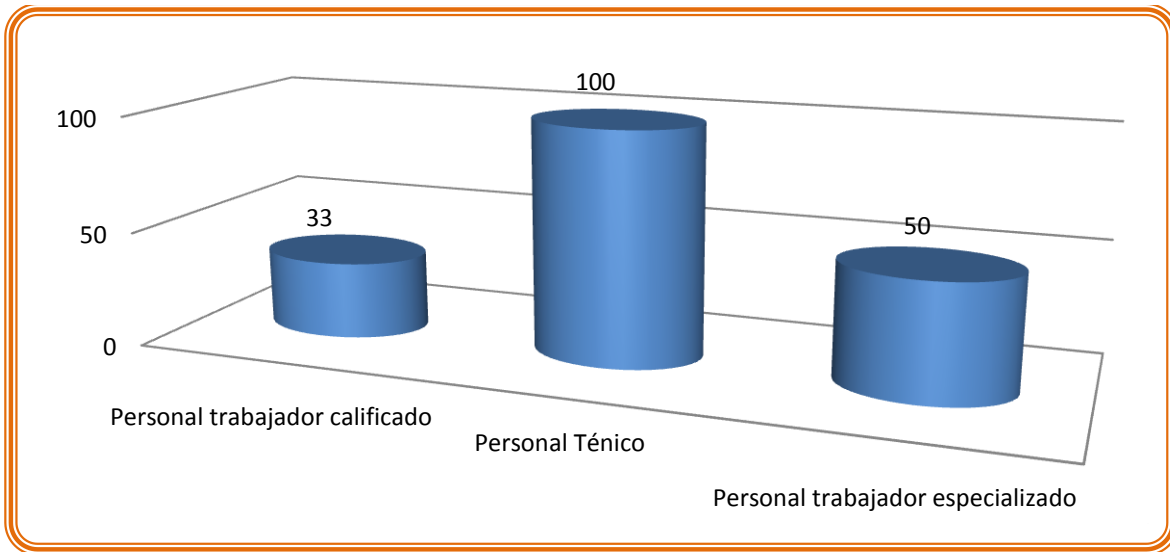
En primer lugar se debe mencionar que en este ítem se propusieron las cuatro primeras opciones, que son las áreas más comunes en estos sistemas, sin embargo las personas entrevistadas propusieron otros temas mostrados en el resto de de las opciones. Según se presenta el 33% de los entrevistados mencionó que se debe capacitar en el área eléctrica y 17% en el resto de los temas, tal y como se puede ver en este último punto son varias las áreas que los entrevistados propusieron de acuerdo a sus intereses.

**Cuadro #5. Respuesta a la pregunta ¿Considera que el mercado requiere personas capacitadas en esta área laboral? (Generación eólica).**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Respuesta condicionada	Cuál es la condición
LOS SANTOS	1	0		
AEROENERGIA	0	1	1	Solamente si se complementa al técnico Electromecánico que gradúa el INA
PESA	0	1	1	Capacitar a los egresados de colegios vocacionales o del INA en temas eólicos
PEG	1	0	0	
MOVASA	1	0	1	Siempre y cuando se desarrollen más proyectos eólicos
PE_TEJONA	1	0	1	Cuando se aplica el mantenimiento, temporalmente se contrata mano de obra adicional
Porcentaje(%)	67%	33%	67%	
frecuencia	4	2	4	

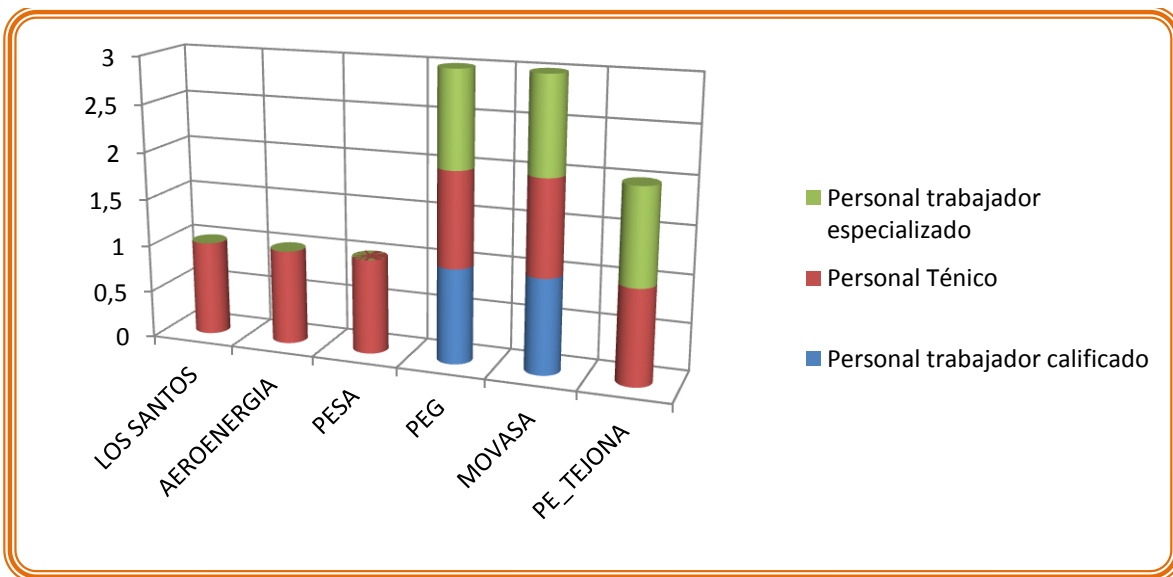
Ante esta pregunta un 67% de los entrevistados manifestó que si es necesario personas capacitadas en esta área de producción de energía eléctrica, pero el 67% condicionó estas respuestas. Estos condicionamientos se refieren principalmente a que las personas que se desean capacitar, vengan de un colegio vocacional o sea egresado de electromecánica del INA, las otras condiciones se refieren a que exista el desarrollo de nuevos proyectos eólicos en el futuro y a la contratación temporal de algunos técnicos.

**Gráfica #9. Nivel de calificación/escalafón del personal en cada empresa según los entrevistados de cada planta**



Un 100% de los entrevistados manifestó que el nivel de cualificación de las personas a capacitar debe ser de Personal técnico y un 50% de Personal Trabajador Especializado.

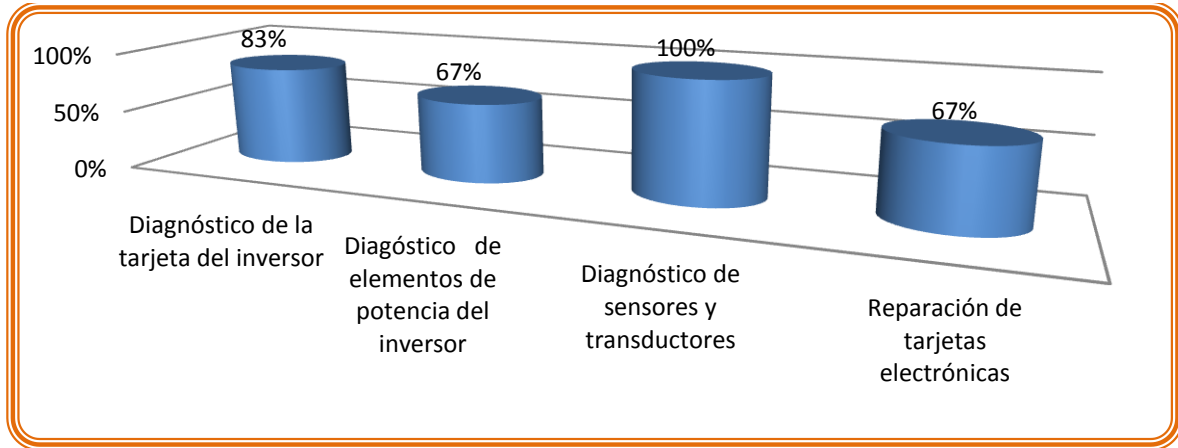
**Gráfica #10. Niveles de cualificación según los entrevistados de cada planta**



La totalidad de los entrevistados opinan que la cualificación de las personas que se requiere capacitar sean técnicos, sin embargo los representantes de las plantas de PEG, MOVASA y Tejona manifiestan que la cualificación de los que se vaya a capacitar debe ser de Trabajador Especializado.

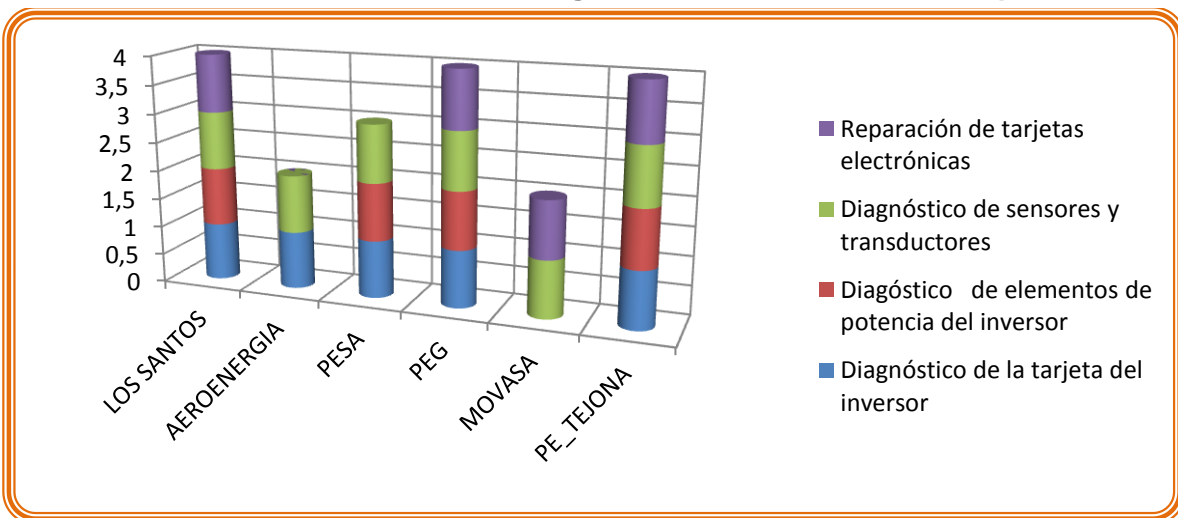
### 4.1.1. Requerimientos de capacitación o formación especializada para desempeñarse en energía eólica (para la figura sugerida)

Gráfica #11. Temas de electrónica que deben incluirse en la capacitación



En el tema de electrónica los encuestados opinaron que los temas más importantes son “diagnóstico de sensores y transductores, le sigue con el 83% el “diagnóstico de la tarjeta del inversor” y con un 67% cada uno diagnóstico de los elementos de potencia y reparación de tarjetas electrónicas.

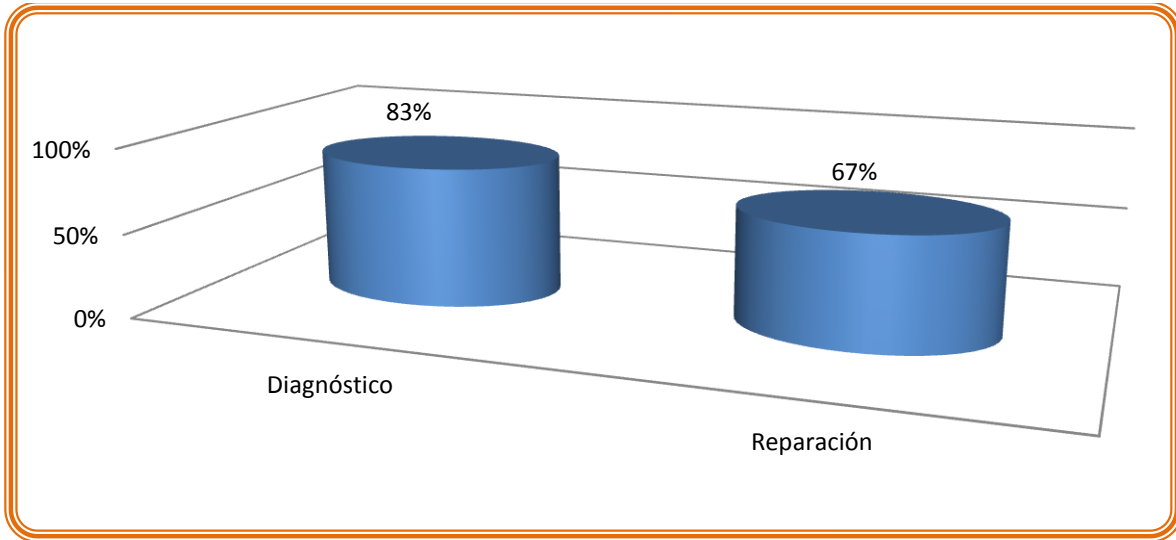
Gráfica #12. Temas sobre electrónica según los entrevistados de cada planta



En este caso los entrevistados de Los Santos, PEG y Tejona opinaron de manera favorable sobre todos los temas indicados de electrónica.

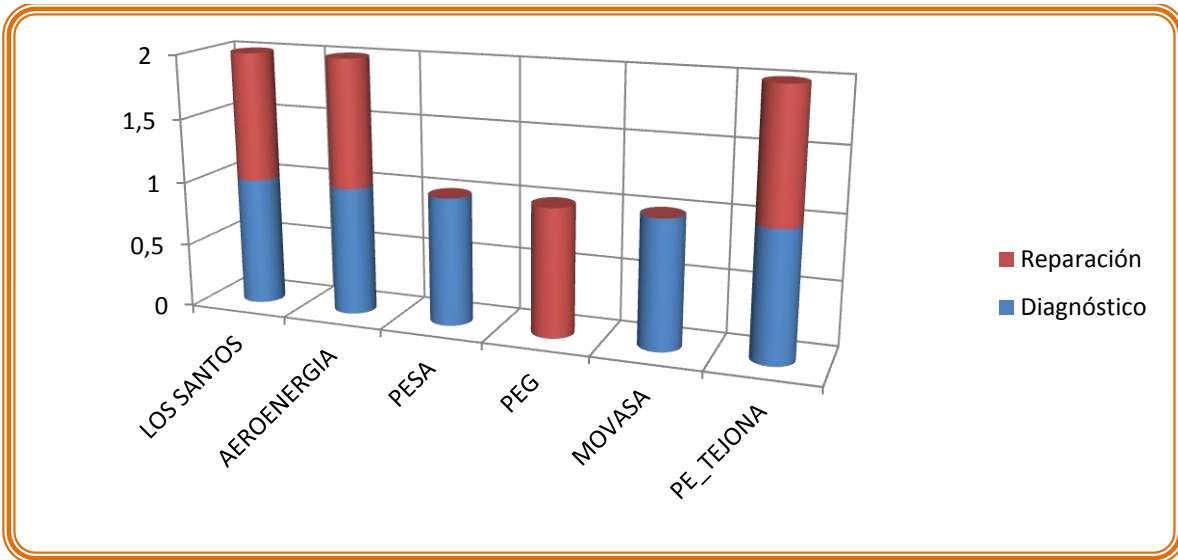


**Gráfica #13. Opinión sobre temas de motores eléctricos**



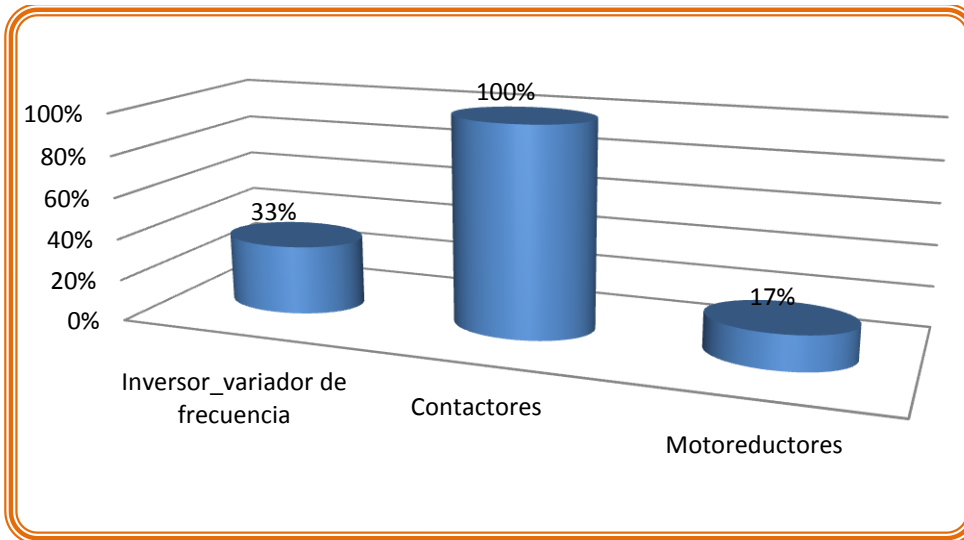
En cuanto a motores eléctricos solamente propusieron los temas de diagnóstico el 83% de los entrevistados y en la reparación de estos el 67% opinó positivamente.

**Gráfica #14. Temas sobre motores eléctricos según los entrevistados de cada planta**



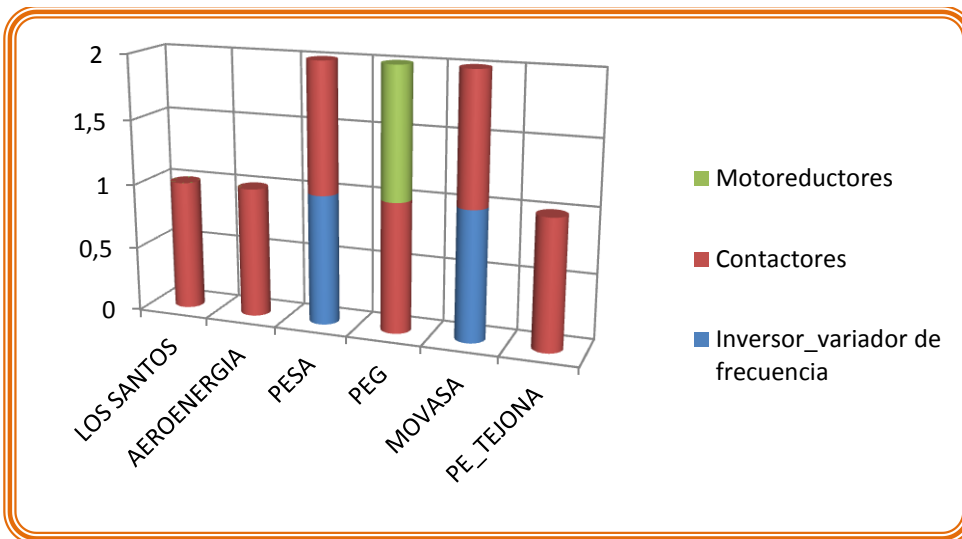
Los entrevistados que opinaron de manera favorable sobre los dos temas son el de Los Santos, AEROENERGIA y Tejona el resto solo opinó por uno de los temas. Es importante mencionar que los sistemas poseen varios motores entre ellos en la mayoría de los casos el generador, en principio, es un motor de inducción.

**Gráfica #15. Opinión sobre temas de control eléctrico**



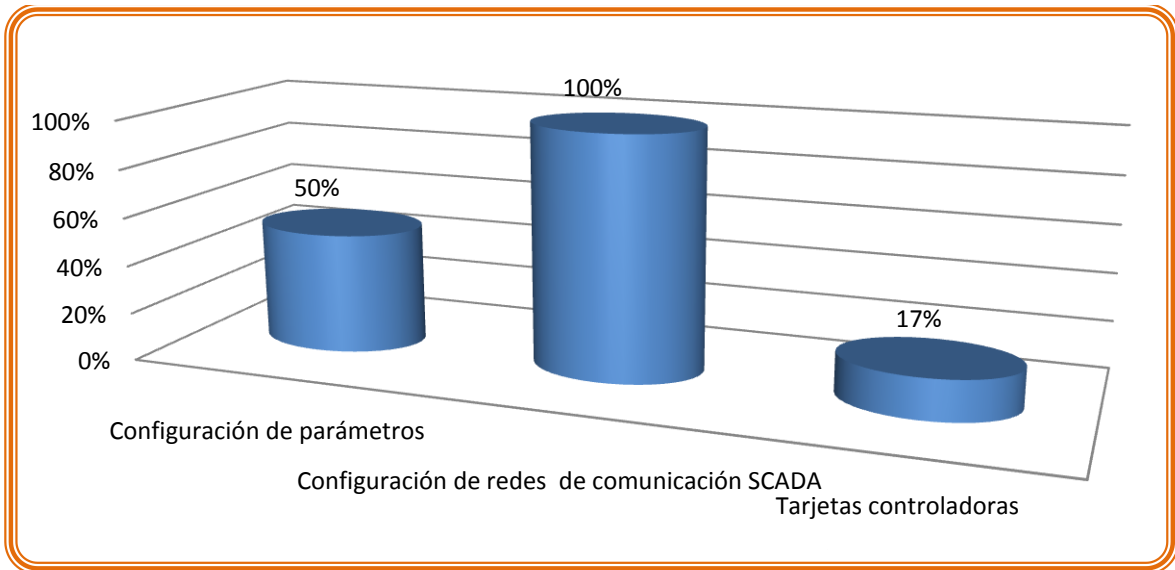
Por los temas de control eléctrico el 100% sugirió que el tema de contactores es muy importante y el 33% se inclinó por el tema del inversor, en este caso.

**Gráfica #16. Temas sobre control eléctrico según los entrevistados de cada planta**



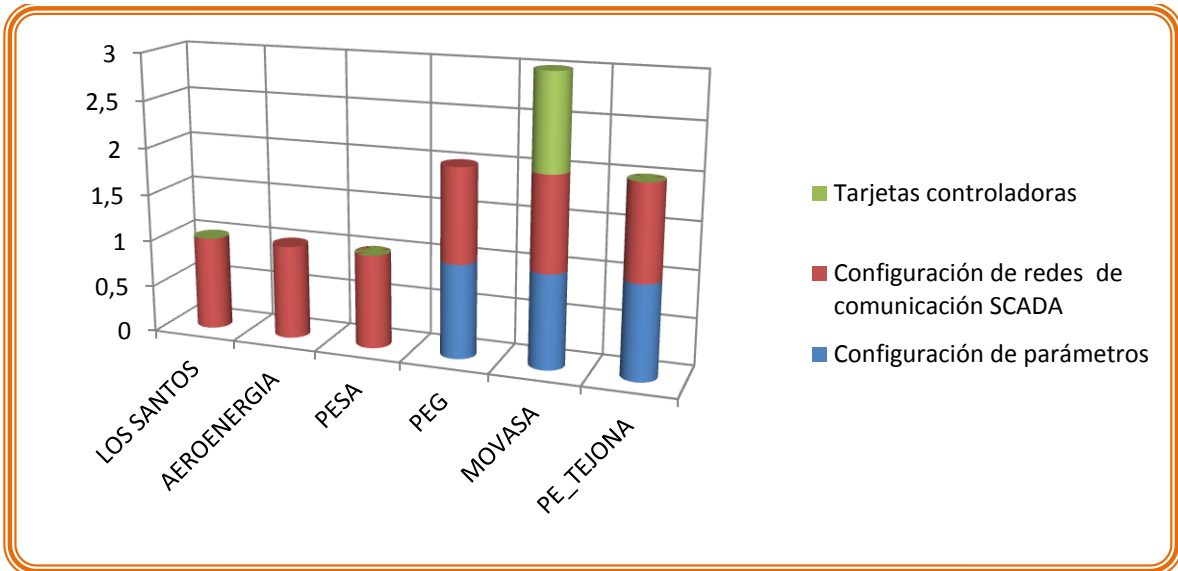
Se observa que de los tres temas sobre control eléctrico la única persona que opinó favorablemente sobre el tema de motores es el de PEG, esto se debe a que ellos los utilizan en el direccionamiento tanto del ángulo de las aspas como la orientación del rotor.

**Gráfica #17. Opinión sobre temas de PLC**



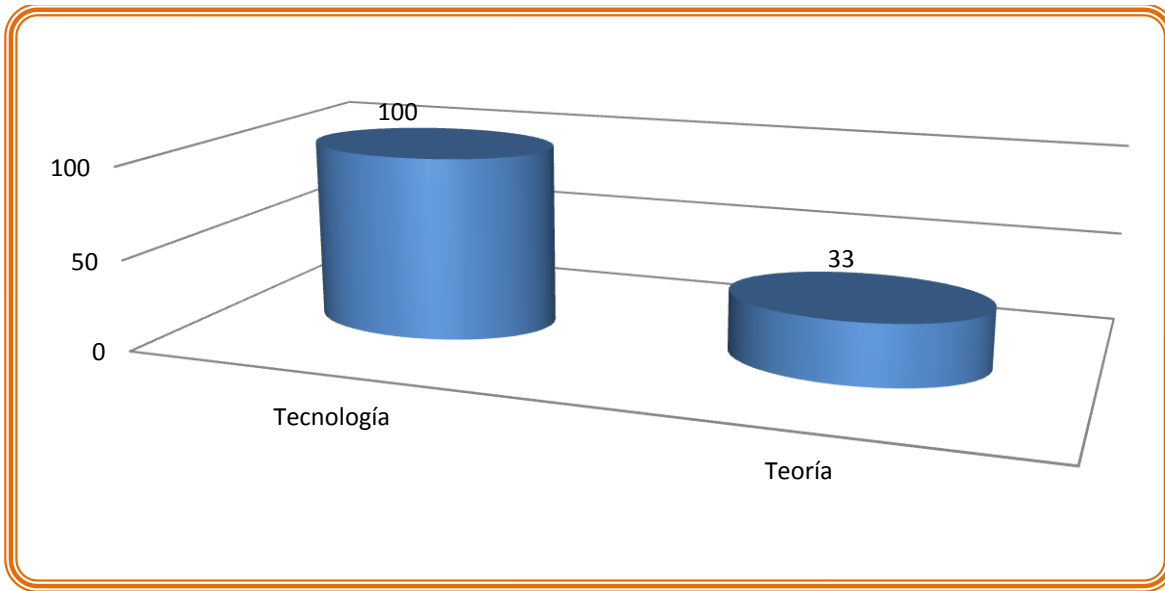
En cuanto a PLC la mayoría se inclinó por el tema de configuración de la red SCADA y sólo el 50% por la configuración de los parámetros del PLC, a pesar que esta actividad se realiza cada vez que se resetea dicho dispositivo para reiniciarlo y solventar algunas de las fallas por pérdida de estos parámetros.

**Gráfica #18. Temas de PLC según los entrevistados de cada planta**



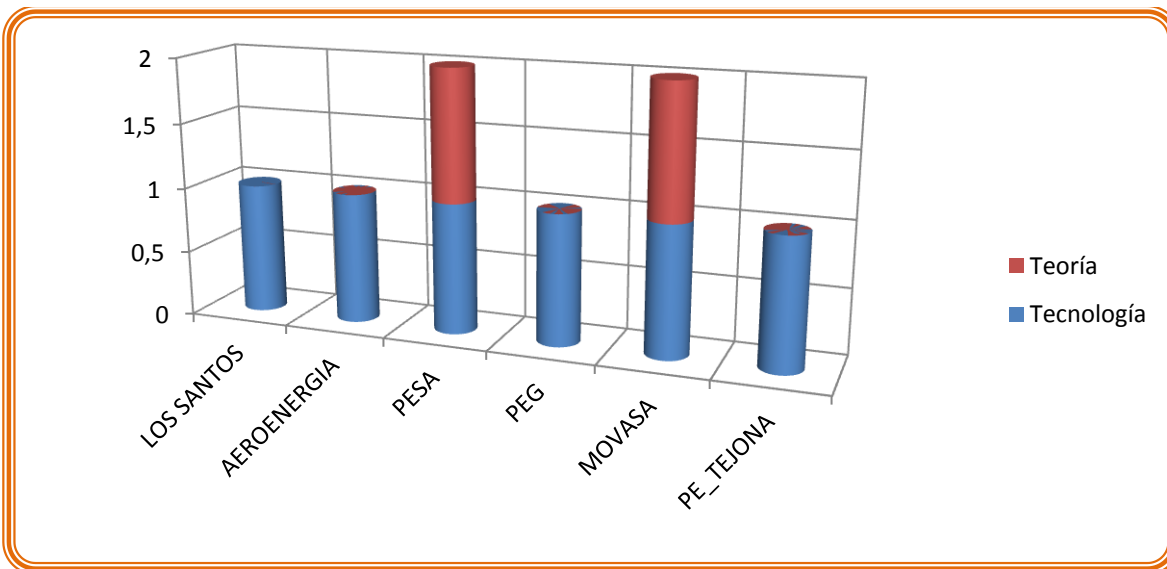
Solamente el representante de la empresa MOVASA opinó sobre todos los requerimientos de capacitación en tarjetas electrónicas.

**Gráfica #19. Opinión sobre temas de control hidráulico**



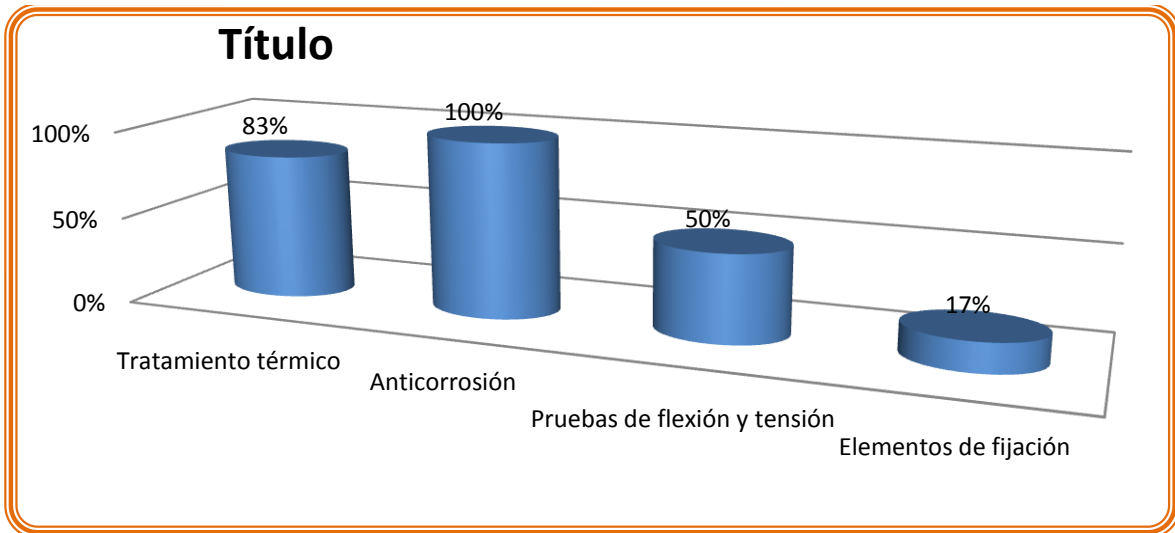
El 100% de los entrevistados opinó, que en control hidráulico, es importante el tema de la tecnología de la hidráulica, entiéndase por tecnología, los distintos tipos de componentes que se utilizan, su constitución y su funcionamiento, tanto en hidráulica normal, proporcional y electrohidráulica.

**Gráfica #20. Temas de control hidráulico según los entrevistados de cada planta**



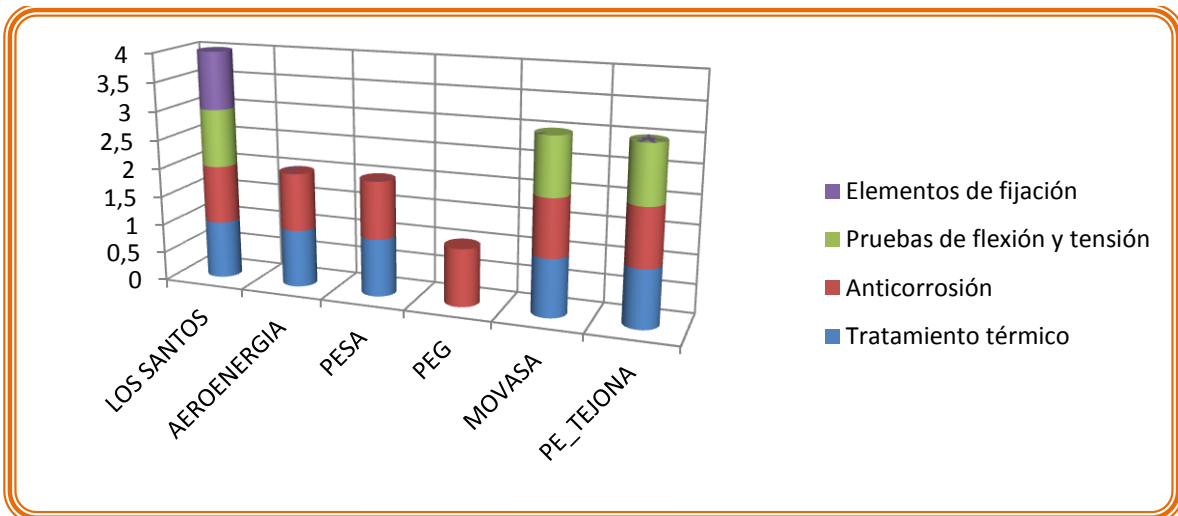
Dos de seis entrevistados opinaron de la importancia de la teoría de hidráulica, en comparación con el 100% sobre el tema de la tecnología de la hidráulica.

**Gráfica #21. Opinión sobre temas de aceros, elementos de fijación y pruebas de tensión**



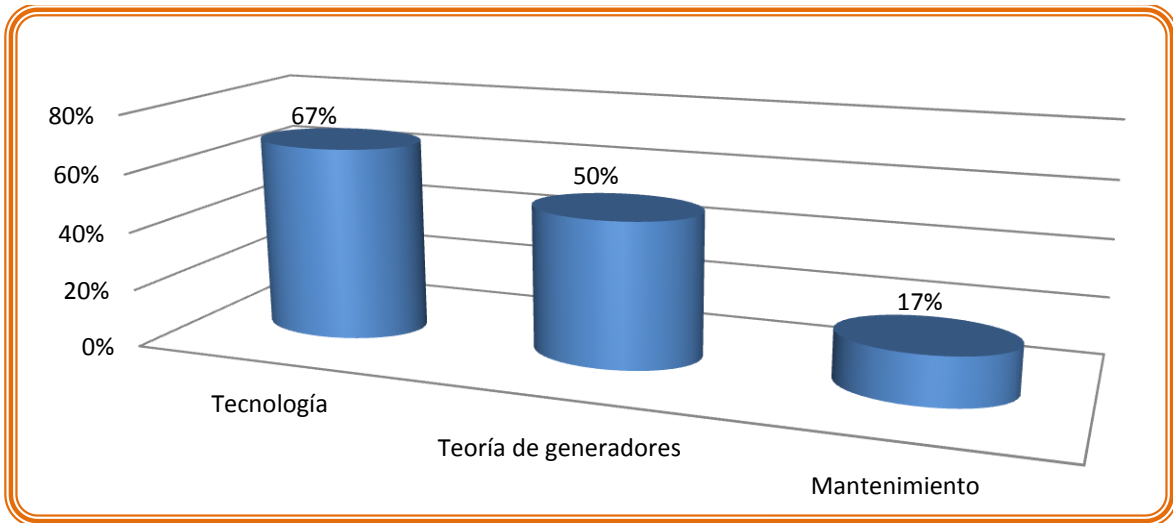
En los temas sobre aceros y elementos de fijación opinaron el 100% sobre anticorrosión y el 83% sobre tratamiento térmico, el primer tema es de importancia debido al mantenimiento de las estructuras de la torre entre otras y es muy importante el tema de tratamiento térmico porque para montar y desmontar ciertas piezas se debe aplicar calor.

**Gráfica #22. Temas de aceros, elementos de fijación y pruebas de tensión según entrevistados de cada planta.**



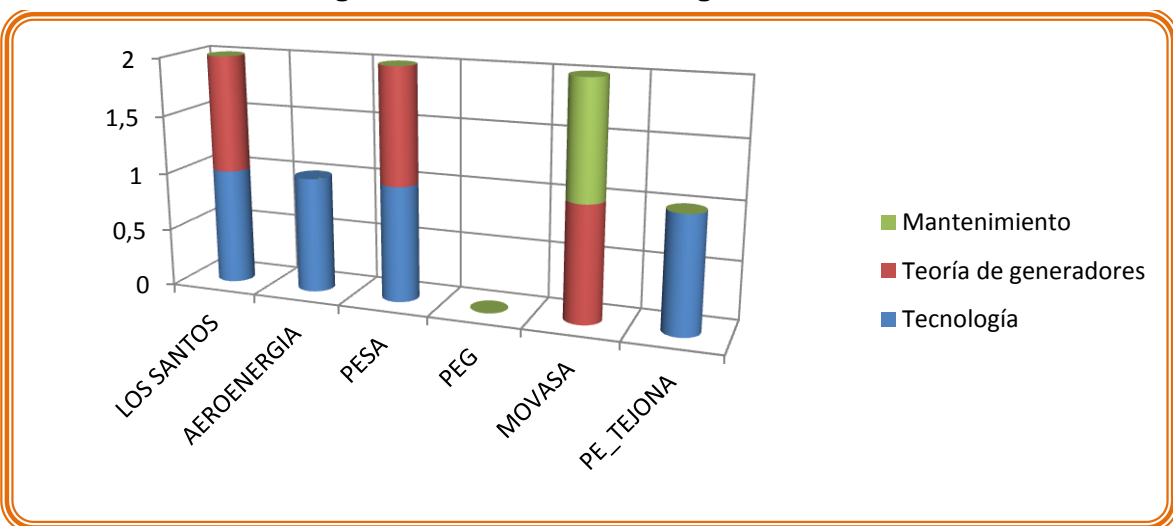
El único representante que opinó por un tema es PEG y por supuesto este es el tema de anticorrosión el cual recibió todas las opiniones favorables.

**Gráfica #23. Opinión sobre el tema de generadores eléctricos**



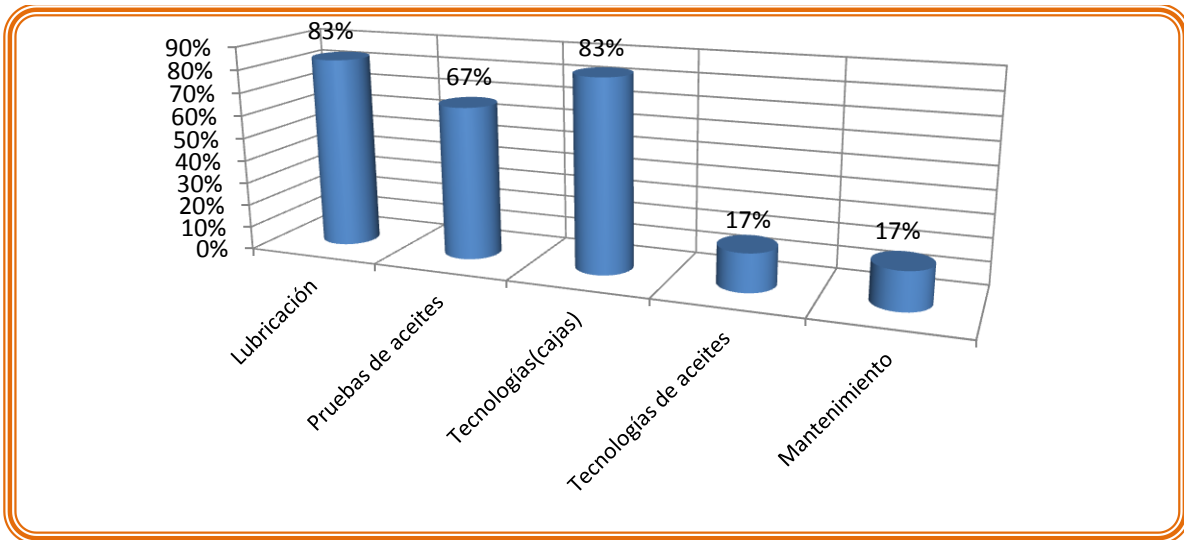
En cuanto al tema de generadores el 67% opinó favorablemente sobre la tecnología de generadores, el 50% sobre la teoría de estos y solo el 17% por su mantenimiento. La opinión favorable al tema de la tecnología se debe principalmente a que en estos últimos años se han realizado grandes avances en la tecnología de generadores para estos sistemas de producción con energía eólica.

**Gráfica #24. Temas de generadores eléctricos según los entrevistados**



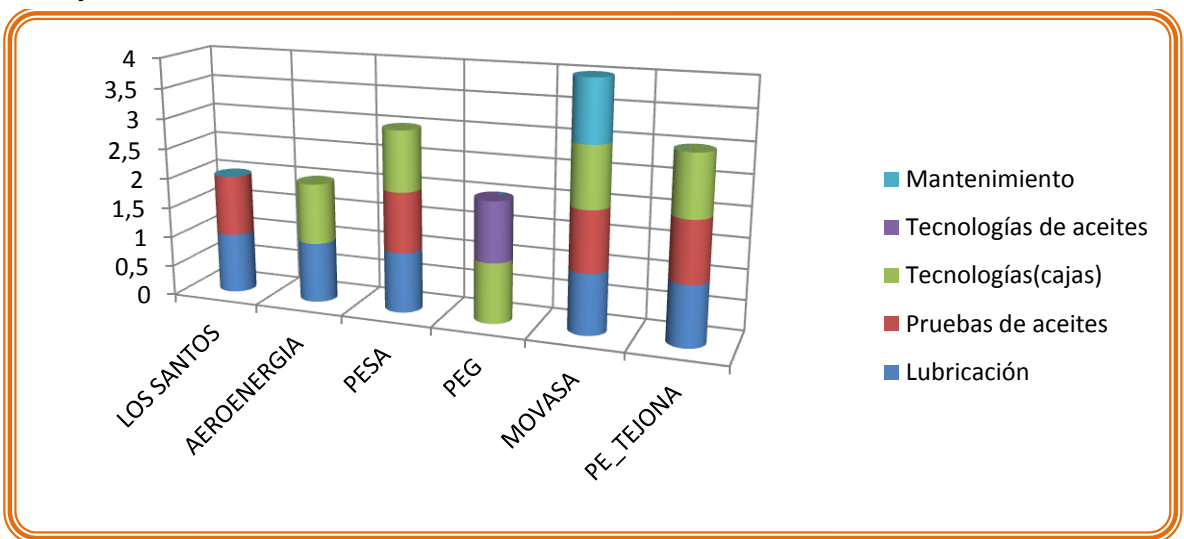
El representante de PEG no tuvo ninguna opinión al respecto, más bien mencionó que los generadores que ellos tienen requieren casi ningún mantenimiento correctivo dentro de su vida útil, es decir que son muy robustos y a su moderna tecnología.

**Gráfica #25. Opinión sobre el tema de transmisiones mecánicas**



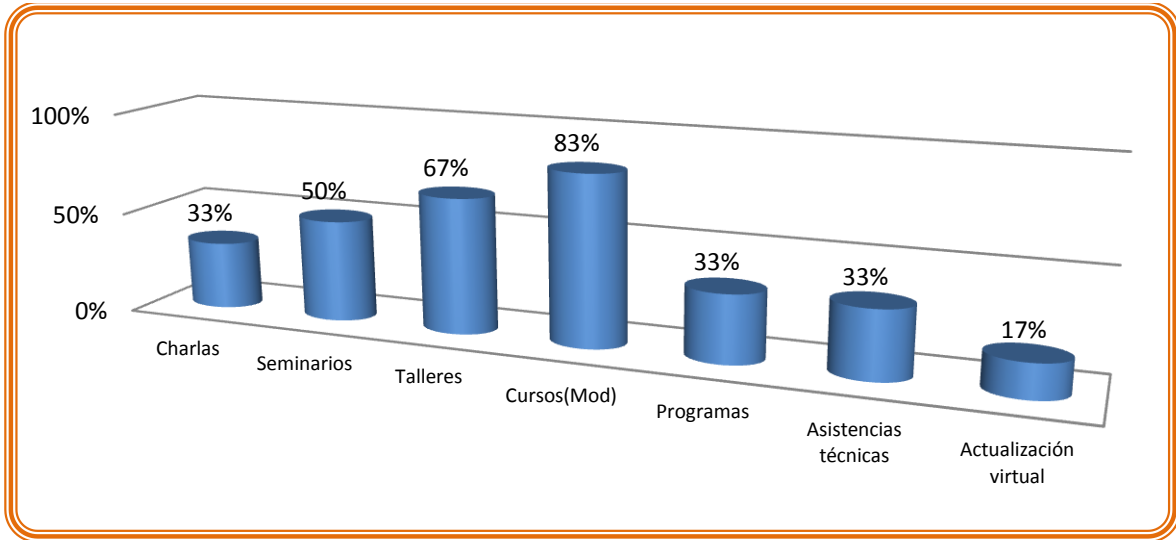
El 83% de los entrevistados se inclina por los temas de lubricación y tecnología de cajas multiplicadoras, el 67% lo hace por el tema de aceites y un 17% sobre mantenimiento y tecnología de aceites. Es importante decir que gran parte del mantenimiento que se da a estos equipos es del tipo mecánico en lubricación principalmente.

**Gráfica #26. Temas sobre de transmisiones mecánicas según los entrevistados de cada planta**



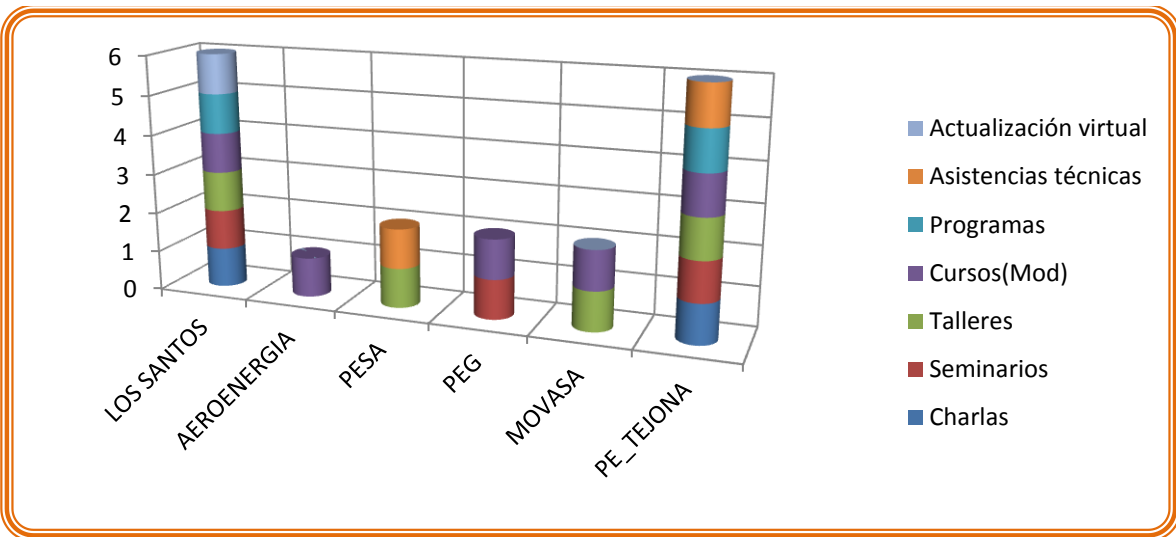
En cuanto a la distribución de temas de transmisiones, la persona entrevistada de MOVASA es la que aportó opiniones favorables en todos los temas, le siguen PESA y TEJONA. Los que menos temas tocaron son Los Santos, Aeroenergía y PEG.

**Gráfica #27. Opinión sobre la modalidad de capacitación.**



El 83% opinó que la modalidad de capacitación deberían ser módulos, un 67% Talleres, le sigue un 50% de opiniones favorables para que sean seminarios y un 33% que se debe capacitar con charlas, programas y asistencias técnicas.

**Gráfica #28. Formas de cómo se debe de capacitar según los entrevistados de cada planta**



En la opinión sobre los temas de capacitación los dos representantes de instituciones públicas opinaron que la capacitación debe ser en las distintas formas propuestas.



#### **4.1.2. Resumen de los resultados más importantes en el tema del recurso humano y las necesidades de capacitación**

1. De todo el recurso humano que ejecuta el mantenimiento en las seis plantas instaladas el 80% está compuesto de trabajadores calificados y personal técnico y un 20% son ingenieros.
2. El total de turbinas instaladas en estas plantas es de 199, de las cuales en promedio, 3.7 turbinas son atendidas por cada operario.
3. El número promedio de técnicos y trabajadores calificados que trabajan en cada planta es de 8 (4,3 técnicos y 3,6 trabajadores calificados).
4. En el 100% de las plantas de generación tienen técnicos cuya formación es en electricidad, el 83% de las plantas tiene técnicos cuya su formación es en la especialidad de mecánica, un 67% en electromecánica y un 67% en electrónica.
5. El 67% de los entrevistados opinó favorablemente que el personal que ya trabaja en estas plantas sea capacitado y el 33% opinó que no es necesario.
6. Por el lado opuesto, el 67% también opinó que el mercado necesita personas capacitadas en esta área de producción de energía, aunque esta opinión fue condicionada en el mismo porcentaje. Las condiciones que pusieron son:
  - i. Se debe de capacitar en esta área de generación de energía, siempre y cuando sean personas que salen egresadas del programa de electromecánico del INA o de colegios vocacionales.
  - ii. Siempre y cuando se desarrollen nuevos proyectos eólicos y la otra condición es:
  - iii. Porque a veces se requiere personal ocasional en las épocas de mantenimiento anual.
7. El 100% opinaron que si hubiese un programa de capacitación las personas participantes deberían obtener al final un nivel de cualificación de técnico o similar. Mientras que el 50% opinó que debería ser trabajador calificado.
8. A parte de las áreas de Electricidad, Electrónica, Mecánica e hidráulica que inicialmente se había propuesto como áreas de especialización, los entrevistados aportaron otras temas que según estos son de importancia para su conocimiento estas son: Telemática, trabajo en alturas, manejo de cargas, mediana tensión, seguridad ocupacional, protecciones eléctricas, generadores.

9. En cuanto a los temas específicos que estas personas deben tener en las áreas propuestas y según opinión:
- Electrónica:** El 83% opinó por el diagnóstico de la tarjetas repartido en un 67% diagnóstico de los elementos de potencia y 17% reparación de tarjetas electrónicas.
- Motores eléctricos:** Un 83% opinó por el diagnóstico del motor y un 67% en la reparación de estos.
- Control eléctrico:** El 100% sugirió que el tema de contactores es muy importante.
- PLC:** El 100% opina sobre lo significativo que es el tema sobre redes SCADA.
- Control hidráulico:** El 100% le interesa la tecnología en hidráulica, entiéndase como tecnología los distintos elementos que la constituyen.
- Aceros:** En este caso el 100% opinó sobre el tema de anticorrosión y el 83% sobre el tema de tratamiento térmico.
- Generadores:** El 100% dio su opinión favorable sobre la tecnología de los generadores, entendiéndose por tecnología los diferentes tipos de generadores utilizados actualmente y sus características.
- Transmisiones mecánicas:** El 83% manifestó la importancia del tema de lubricación como uno de los temas más importantes e igual opinión manifestaron sobre el tema de tecnologías de cajas multiplicadoras y el 67% sobre el tema de aceites.
10. Y finalmente en cuanto a la modalidad de capacitación, el 83% opinó que la forma de capacitación debería ser con módulos, un 67% Talleres, le sigue un 50% de opiniones favorables para que sean seminarios y un 33% que se debe capacitar con charlas, programas y asistencias técnicas.

Partiendo de un análisis sencillo como lo propone don José Coto de la UDIPE dice que *“una competencia es igual a un puesto de trabajo”*, se infiere que: por tanto según la información obtenida tanto del análisis del recurso humano empleado en los parques eólicos como de las actividades de los procedimientos de mantenimiento \*[10], se observa en este sector a nivel nacional tres competencias y estas son:

1. El técnico mantenedor de sistemas eléctricos en turbinas eólicas comerciales
2. El técnico mantenedor de sistemas mecánicos en turbinas eólicas comerciales y
3. El operador de plantas de generación eólica

Las competencias o puestos de trabajo 1 y 2 para algunos entrevistados se pueden resumir en una sola, en “*El técnico de mantenimiento de turbinas eólicas comerciales*”.

El punto 4 fundamenta esta afirmación, la información recolectada indica que de todas las plantas tienen técnicos con formación en electricidad, el 83% de las plantas tienen técnicos con formación en mecánica, el 67 en electromecánica y el 67% en electrónica.

Importante anotar que ya existe definida una Norma Técnica de Competencia Laboral Regional y Diseño a Curricular para la Calificación de:

**“ Un Instalador y Mantenedor de Sistemas de Generación Eólica de Baja Tensión “**

Principalmente esta norma está dirigida para realizar la calificación de técnicos que se dediquen a la instalación y mantenimiento de sistemas eólicos pequeños en casas.

Entre las organizaciones que realizaron esta norma están: \* [9]

REDIFP(Red de Institutos de Formación Profesional), CECC. .SICA (Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana. .Sistema de Integración centroamericana), AECID(Agencia Española de Cooperación Internacional), OIT(Organización Internacional del Trabajo), INCOP(Instituto Nacional de Formación Profesional), INTECAP(Instituto Nacional de Capacitación), INATEC(Instituto Nacional Tecnológico), INSAFORP(Instituto de Salvadoreño de Formación Profesional), INADEH(Instituto Nacional de Formación Profesional para el Desarrollo Humano), INFOTEP(Instituto Nacional de Formación Técnico Profesional) e INA(Instituto Nacional de Aprendizaje).

Al revisar el COCR. .2011, más reciente todavía no incluye estos puestos de trabajo, esto podría obedecer a varias razones entre ellas a que estos sistemas se atienden con personas egresadas del INA, Los Colegios Vocacionales que ya tienen su ocupación, porque todavía nadie le ha informado a la entidad encargada de incluirla, o no hay interés para agregarle estas cualificaciones laborales al COCR que revisa la Oficina de Estadística y Censo en coordinación con el MTSS.

Por otro lado para darle validez a estas afirmaciones y tener el perfil exacto de estas competencia aplicadas a los puestos de trabajo necesarios en el mantenimiento de turbinas en parques eólicos comerciales, se debe necesariamente realizar el procedimiento para determinar de manera exacta estas competencias tal y como lo dictan las normas curriculares al respecto, aplicando el Método Dacum o el Método de Análisis Funcional.

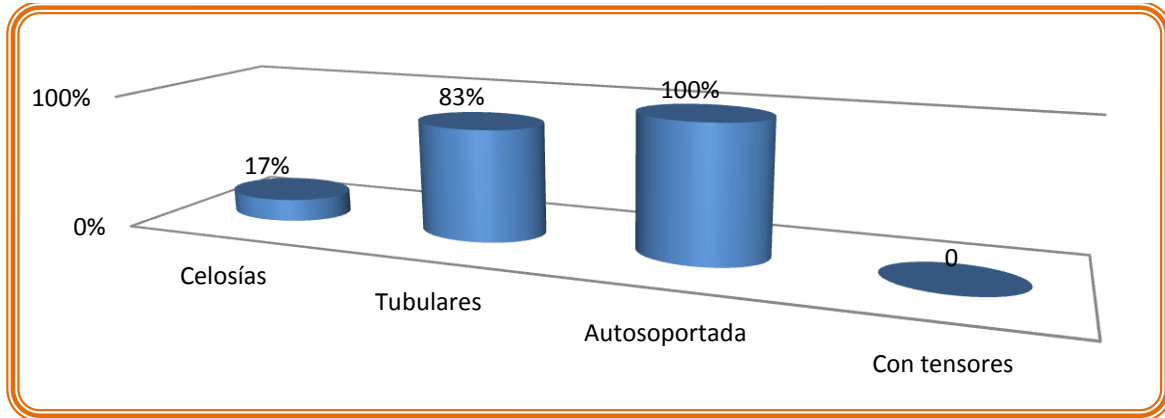
Muy importante anotar que la opinión de un gran sector de la generación eólica es que a las personas que han adquirido de manera tácita o deban de adquirir estas competencias o puestos de trabajo , se les debe de capacitar como se aprecia según la información que se visualiza en los gráficos y tablas ya sea que se capacite o certifique con un plan puntual a los operarios que ya están trabajando como a los que se deban capacitar en el futuro.

De la estadística se ve que hay una opinión bastante favorable sobre la especialización que deberían tener los técnicos que trabajen en esta área del mantenimiento de sistemas de generación eólica.

## 4.2. Tecnología que utilizan los sistemas /subsistemas instalados

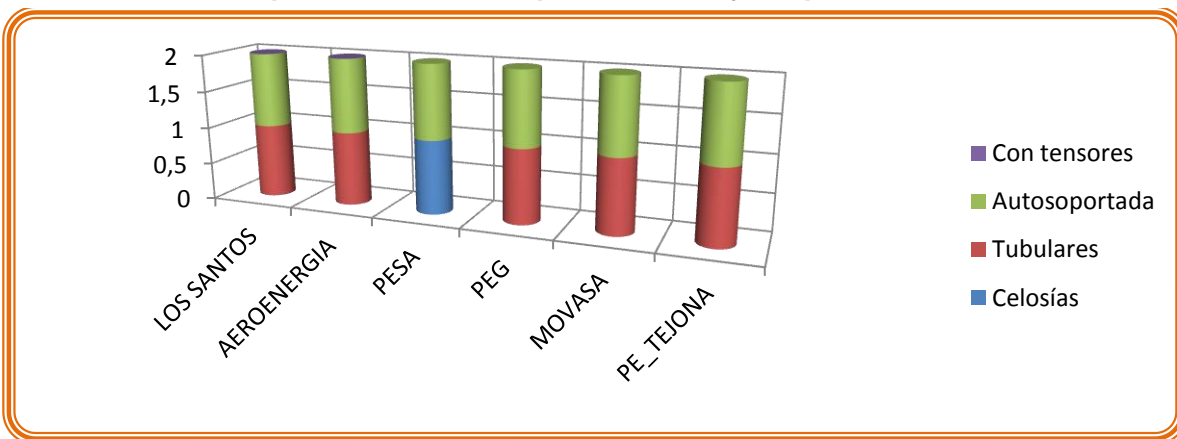
### 4.2.1. Características de las Torres

Gráfica #29. Tipos de torres en las plantas de generación eólica ya instaladas



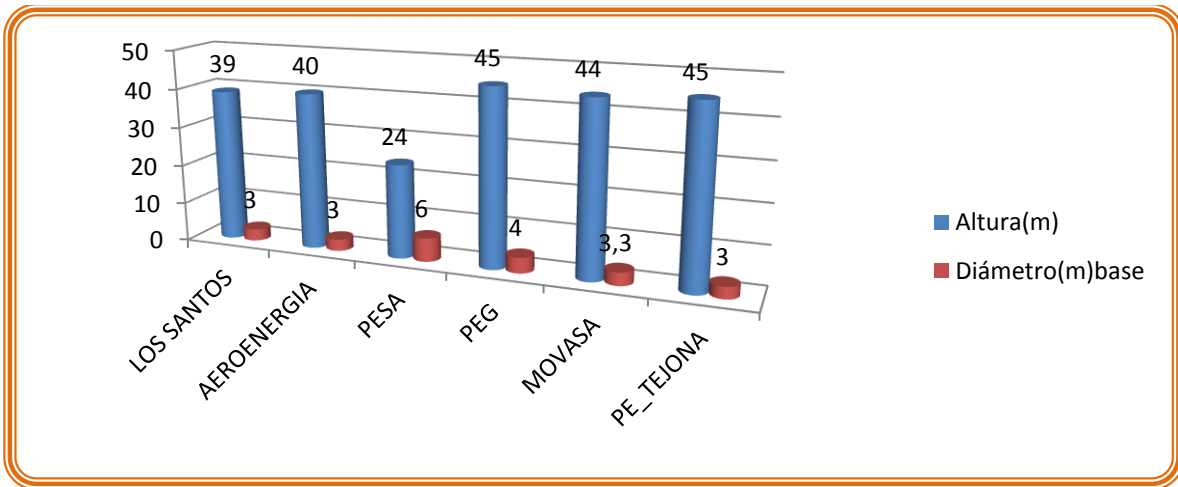
El 83% de las plantas instaladas tienen torres que son tubulares y el 100% son autoportadas. En el caso de PESA las torres son tipo de celosía. En esta empresa el parque eólico ya cumplió su vida útil y se espera que en un futuro próximo el parque sea renovado.

Gráfica #30. Correspondencia de los tipos de torres y las plantas instaladas



Se evidencia que solamente la planta PESA tiene torres de soporte tipo Celosía, en comparación con el resto de las plantas, que son torres tubulares.

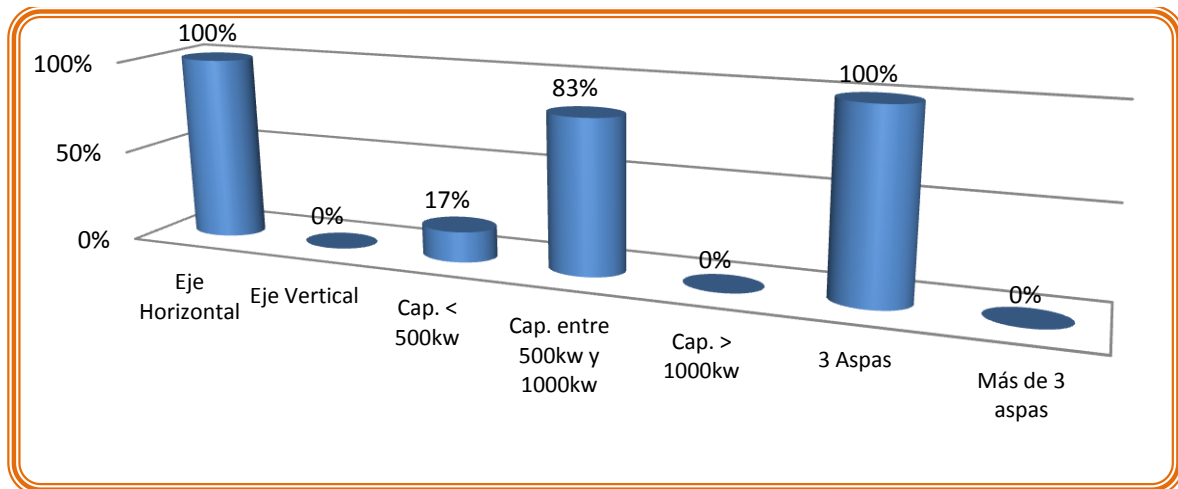
**Gráfica #31. Dimensiones de las torres para cada planta instalada**



La altura de las torres en promedio es de 39,5 metros con un máximo de 45 metros en la planta PEG y Tejona y un mínimo de 24 metros en la planta PESA. Los diámetros máximos en las tubulares es de 4m en el caso de PEG y 3m en el caso de Los Santos, Aeroenergía y Tejona. En el caso de PESA la base de las torres es de 6 metros que en este caso son del tipo celosía.

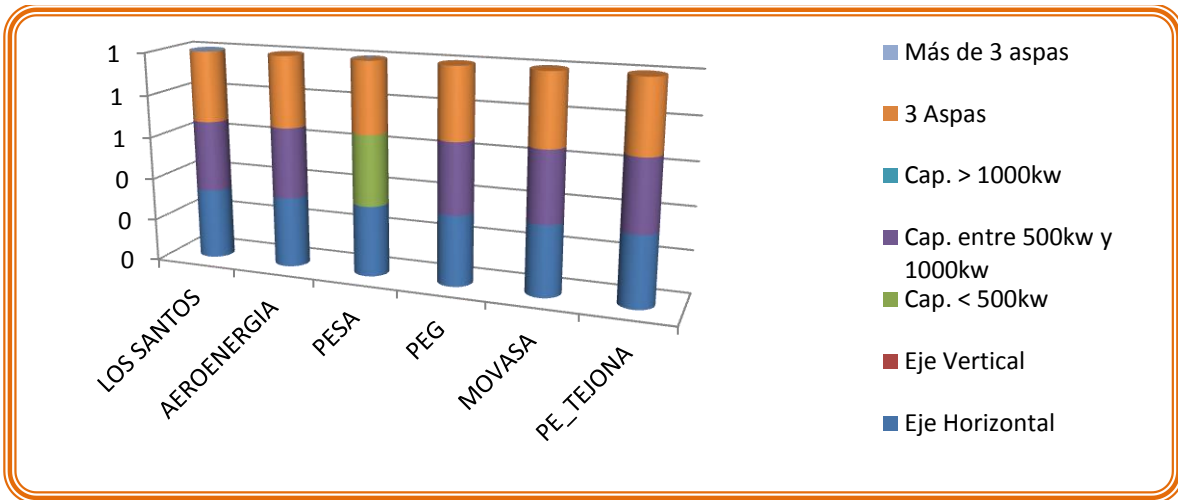
#### 4.2.2. Características de El Rotor

**Gráfica #32. Características más importantes de los rotores de las turbinas eólicas en el país**



El 100% de los rotores son de eje horizontal, el 100% es de tres aspas construidas con fibra de vidrio y su capacidad mecánica nominal está entre 500KW y 1000KW.

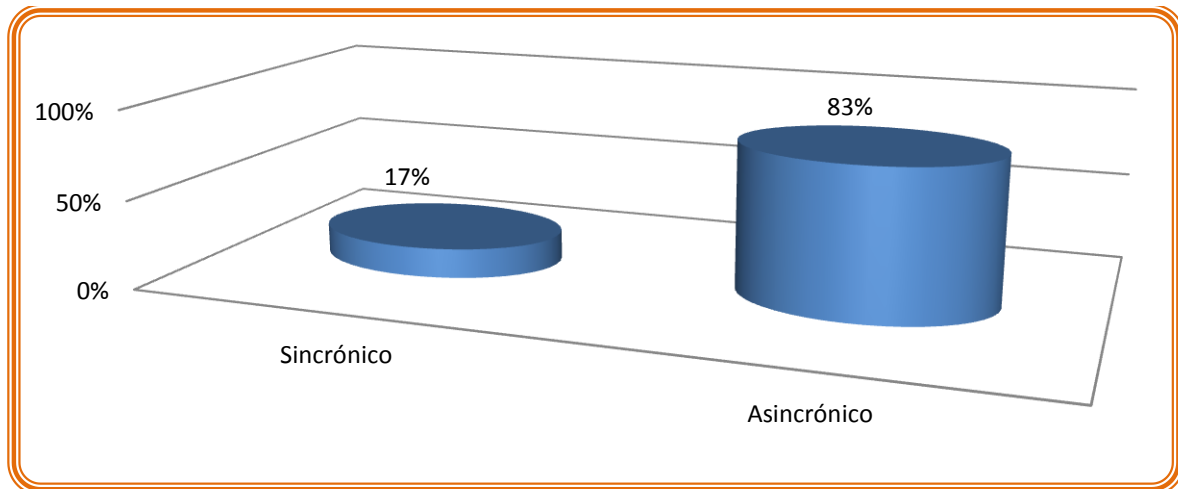
**Gráfica #33. Características del rotor para cada planta instalada**



Se observa que de todas las plantas instaladas en el país solamente PESA tiene un rotor con capacidad nominal menor a 500KW, en comparación con el resto que excede esta capacidad.

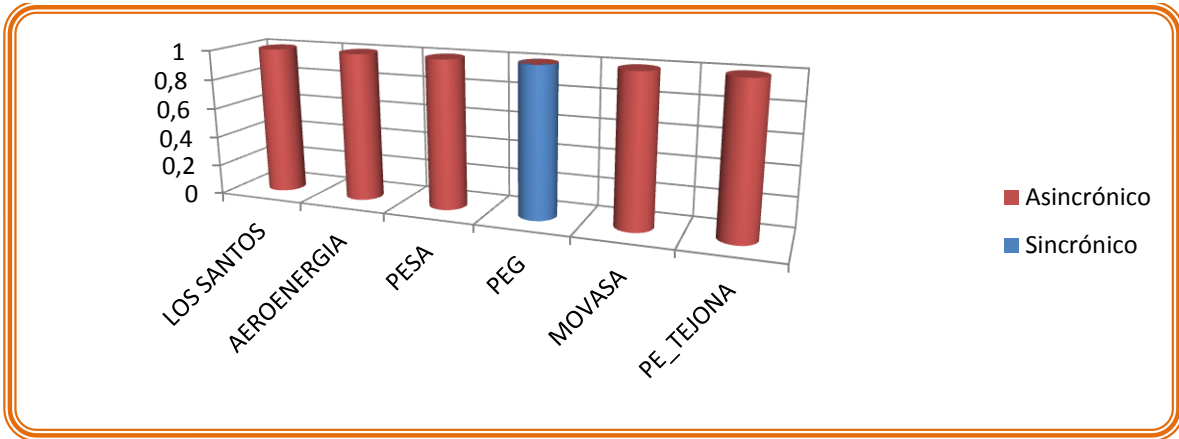
#### 4.2.3. Características del Generador

**Gráfica #34. Porcentajes de turbinas eólicas instaladas con generadores sincrónicos y turbinas con generadores asincrónicos.**



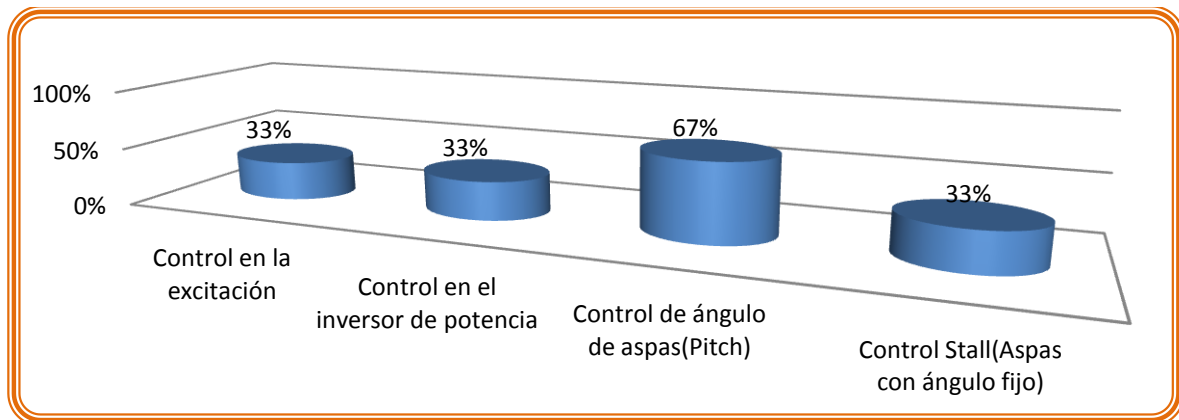
El 17% de las plantas tienen instalados generadores sincrónicos del tipo multipolo. El 83% de las plantas tienen generadores asincrónicos de estos el 33% es con rotor jaula de ardilla y el 50% son motores con rotor bobinado o simplemente llamados generadores de inducción doblemente alimentados.

**Gráfica #35. Plantas de generación que tienen generadores sincrónicos y plantas con generadores asincrónicos.**



En este caso, solamente la planta PEG tiene generadores sincrónicos multipolo, es importante mencionar que esta es una de las tendencias tecnológicas para generación eólica, ya que entre una de sus principales ventajas está en que no utiliza caja multiplicadora y toda la energía es generada en baja frecuencia, luego se rectifica para utilizar un inversor electrónico y convertir la tensión generada en una tensión AC y de 60Hz.

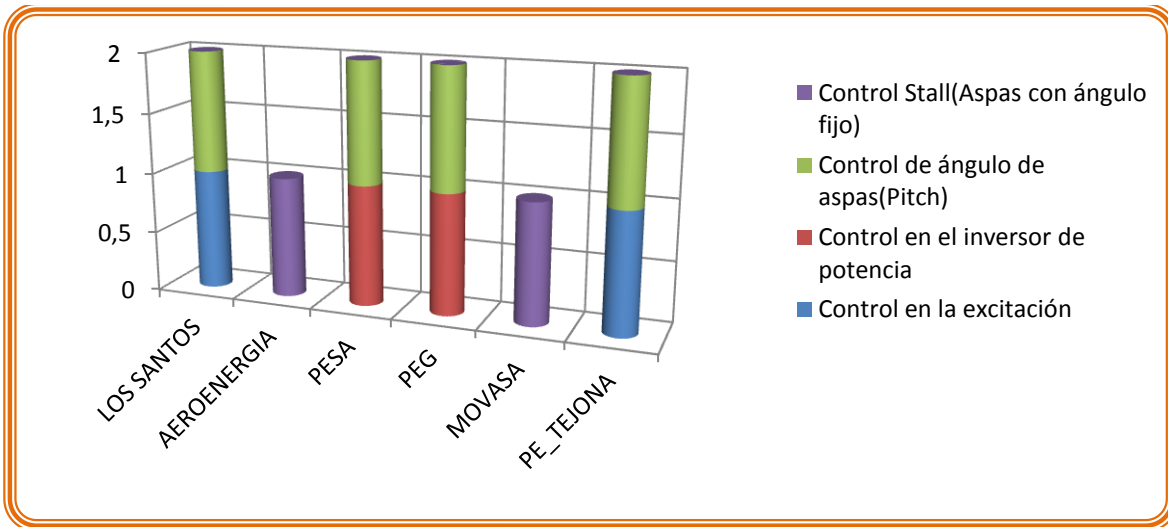
**Gráfica #36. Métodos de regulación de Potencia utilizados en los generadores de plantas eólicas instaladas**



En este caso que el 67% de las plantas realiza la regulación de la potencia producida, controlando el ángulo de ataque de las aspas, un 33% controlando la excitación, un 33% utilizando aspas con ángulo fijo en combinación con el control de la excitación y un 33% controlando el inversor de salida.

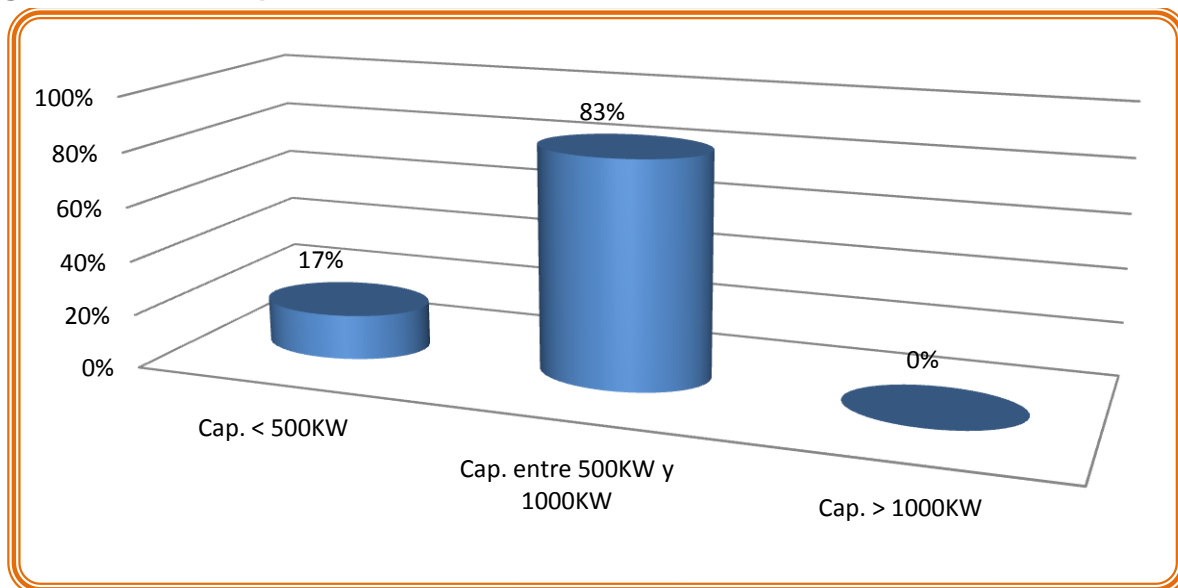


**Gráfica #37. Control de potencia en los generadores de las plantas eólicas existentes**



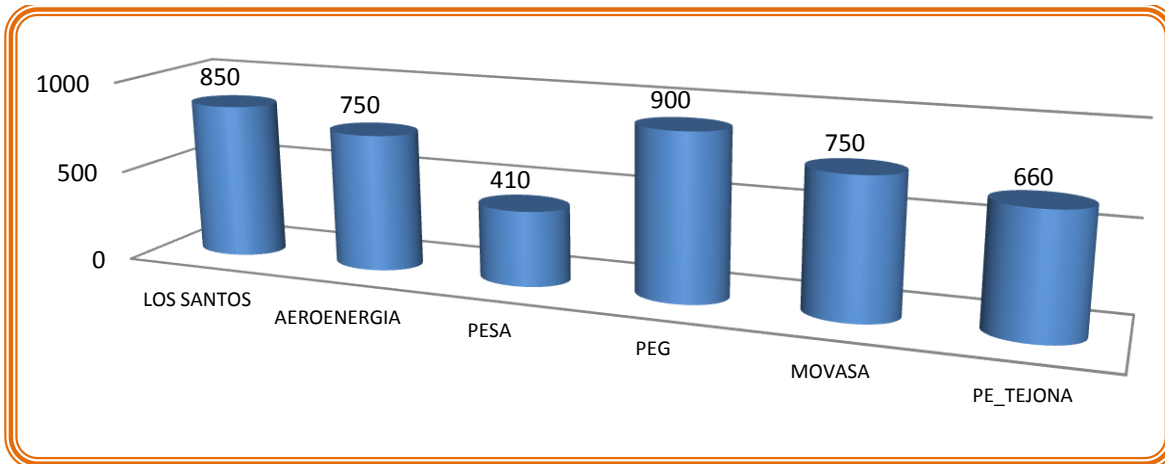
La mayoría de plantas realiza el control de potencia, modificando el ángulo de las aspas (Pitch control) y resto lo realiza con otros métodos que existen.

**Gráfica #38. Distribución de rangos de potencias eléctricas de las unidades de generación en las plantas instaladas**



En cuanto a la capacidad nominal de los generadores, el 83% está entre los 500KW y los 1000KW

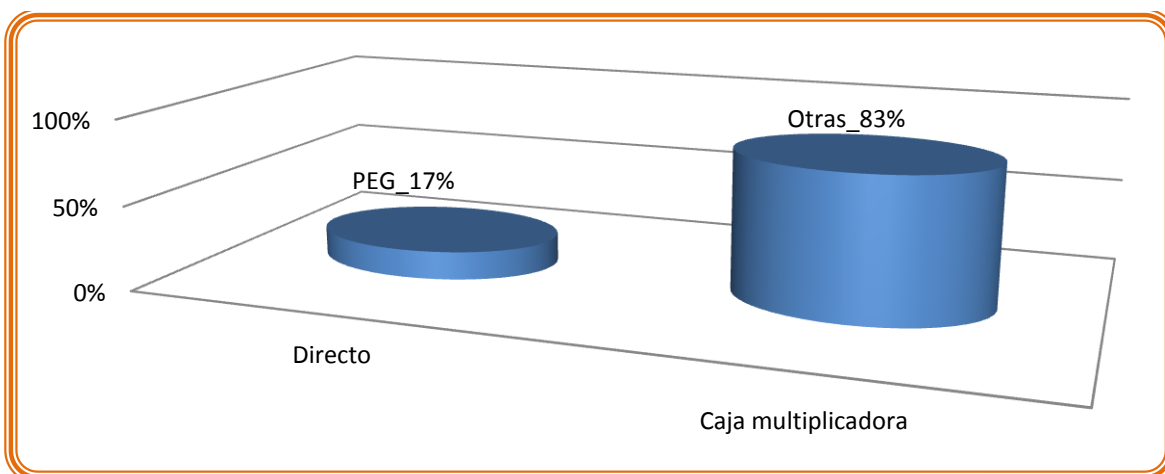
**Gráfica #39. Potencia eléctrica en KW de los generadores, por cada planta existente en el país**



La capacidad promedio de las unidades generadoras es alrededor de 720KW y se muestra que la planta PESA tiene las unidades generadoras más pequeñas y PEG tiene las más grandes, 900KW

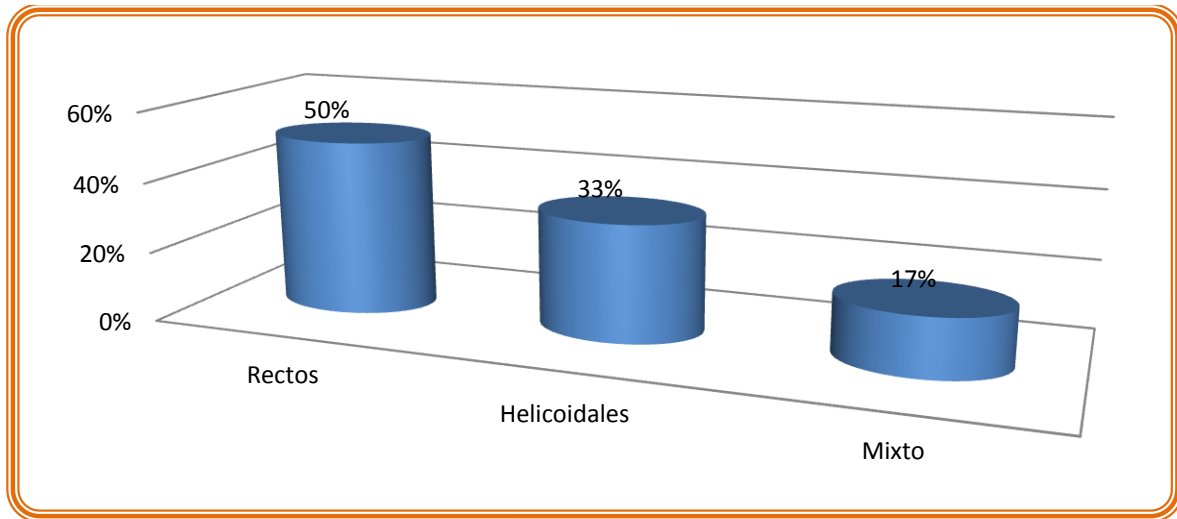
#### 4.2.4. Características del Sistema de transmisión

**Gráfica #40. Transmisión mecánica**



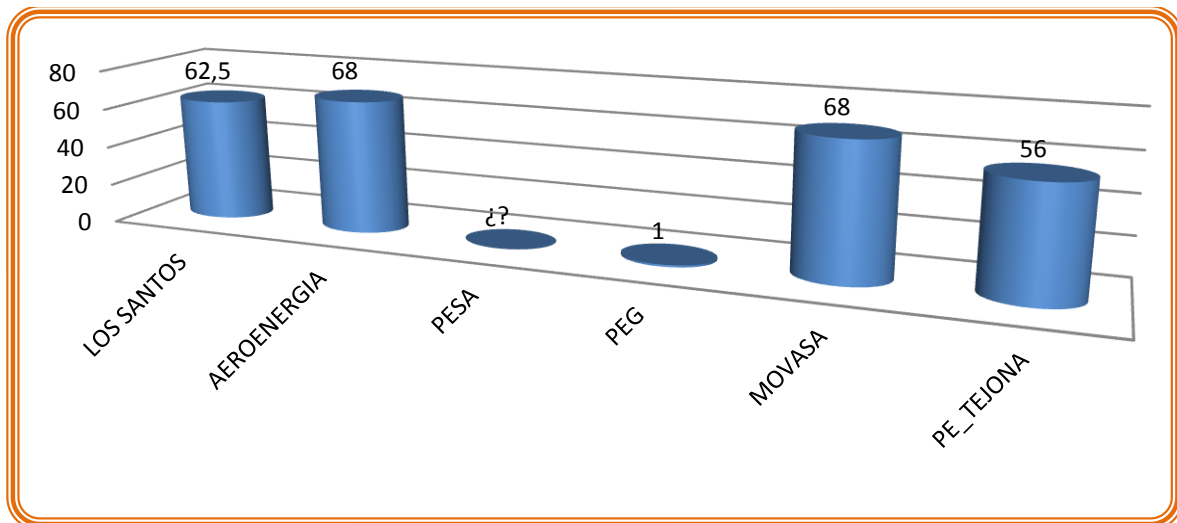
El 83% de las plantas tiene turbinas con cajas multiplicadoras como elementos de transmisión mecánica y adaptación de velocidad de giro, solamente PEG es la que tiene unidades sin caja multiplicadora debido a que sus generadores son sincrónicos multipolos y lo generado lo convierten a tensión de corriente directa para luego invertirla a corriente alterna de amplitud y frecuencia fija.

**Gráfica #41. Tipo de engranajes**



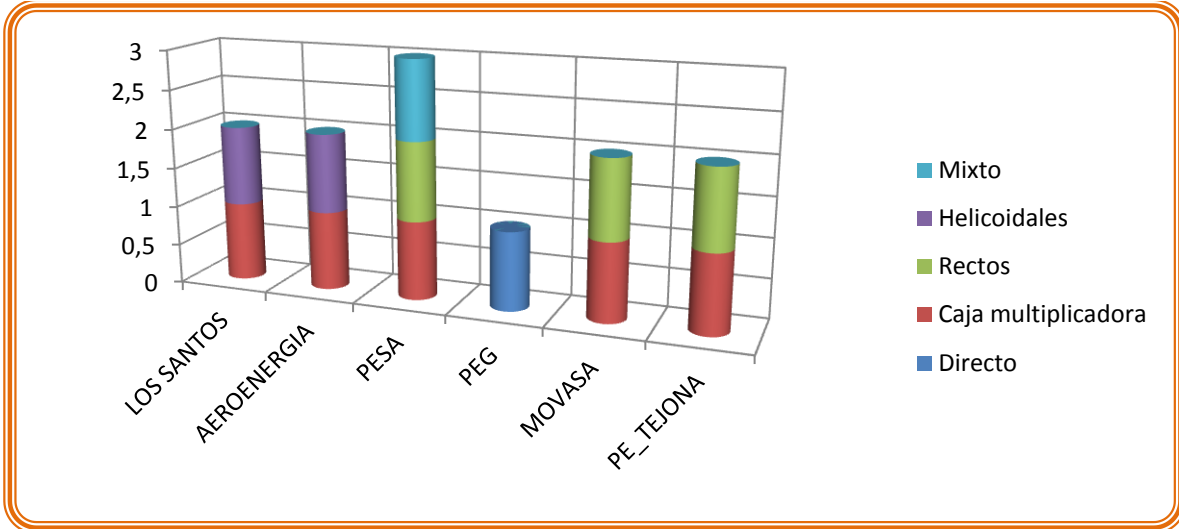
El 50% de las cajas multiplicadoras tienen engranajes Rectos, un 33% son helicoidales y un 17% son mixtos

**Gráfica #42. Relación de velocidades en la caja de transmisión**



En cuanto a la relación de velocidades de las cajas multiplicadoras están entre 62,5 y 68 a una en promedio son de 63,6 a una. El caso de PEG no tiene caja multiplicadora por tanto esta relación es 1:1 es decir la velocidad del rotor se aplica directamente sobre el eje del generador.

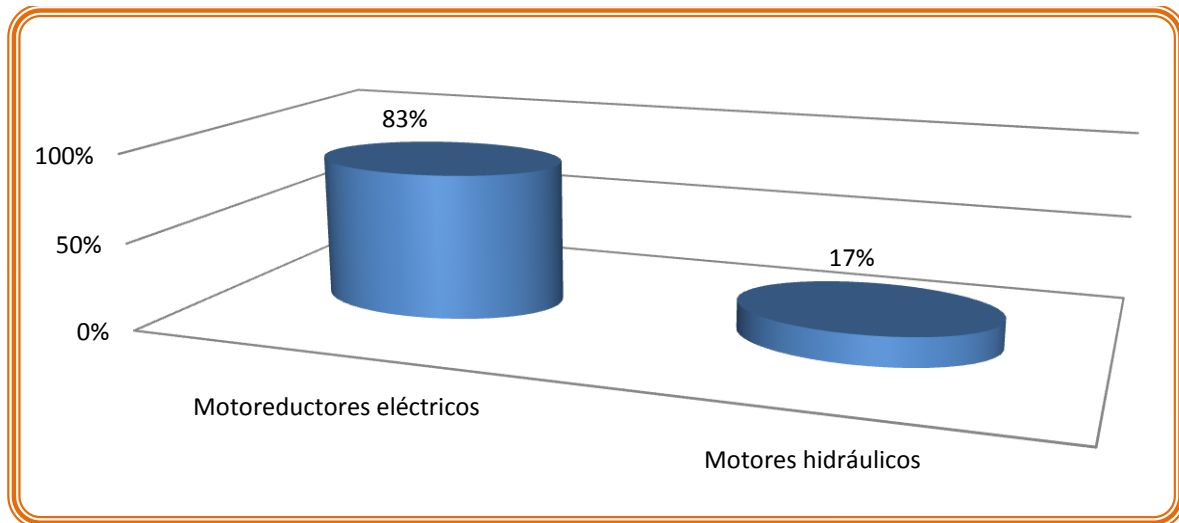
**Gráfica #43. Características de las transmisiones mecánicas de las máquinas de cada planta eólica**



Aquí se muestra los tipos de transmisiones mecánicas utilizadas por cada una de las plantas en sus máquinas.

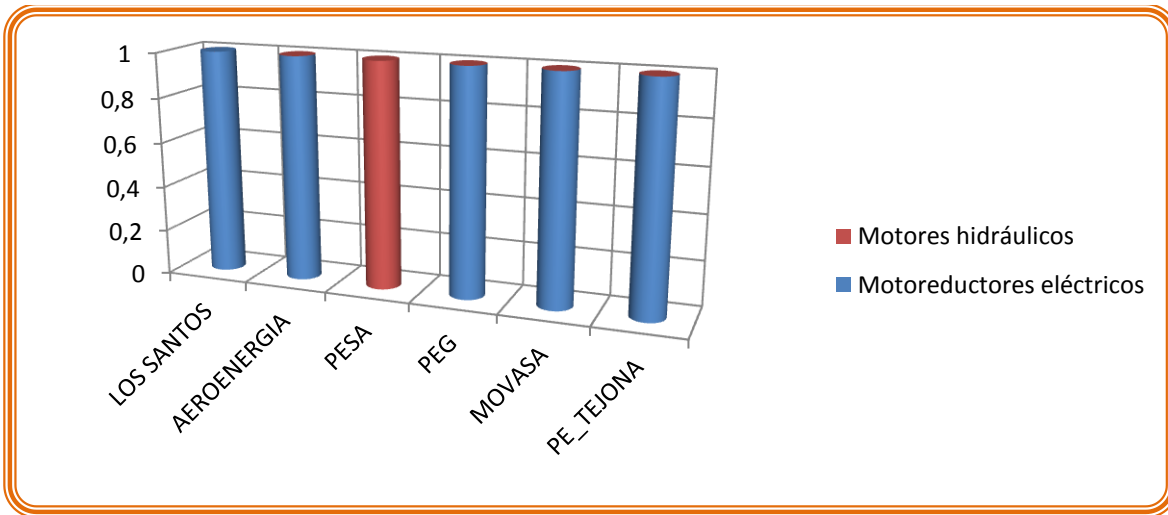
#### 4.2.5. Características del Sistemas de direccionamiento de la unidad

**Gráfica #44. Posicionamiento de la turbina**



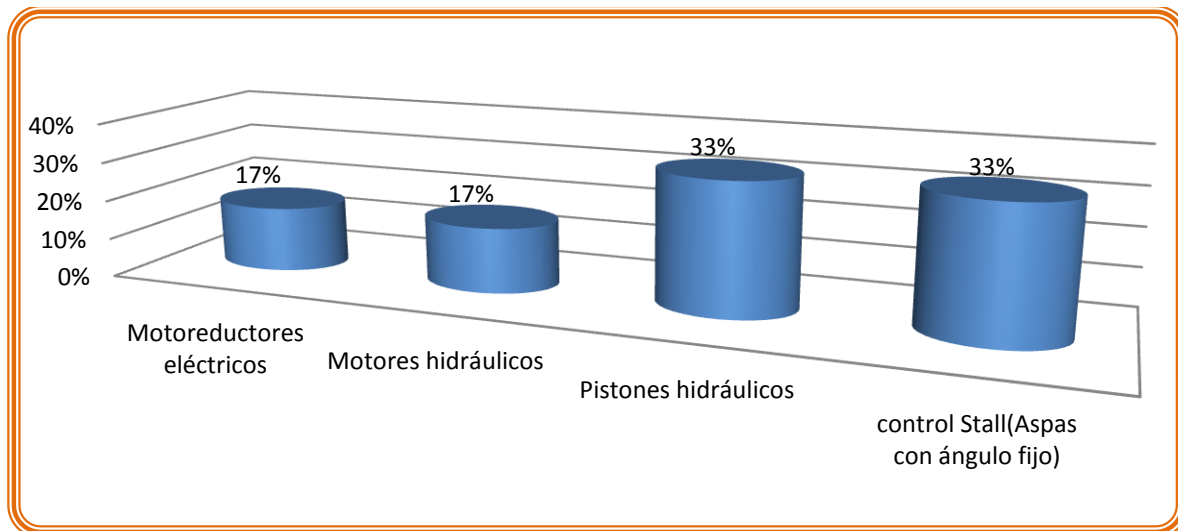
De todas las plantas instaladas en el país el 83% posiciona la turbina utilizando motoreductores eléctricos y solo el 17% motoreductores hidráulicos.

**Gráfica #45. Tipos de moto reductores en cada planta**



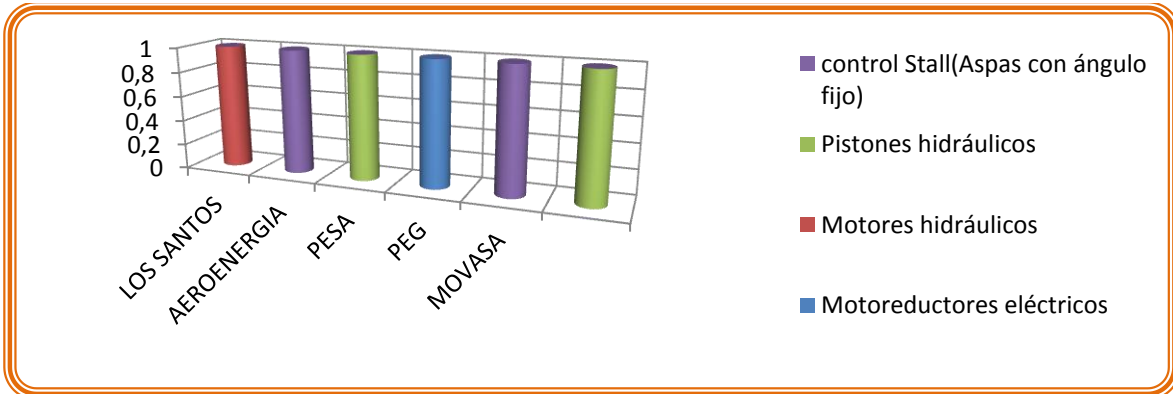
En esta gráfica se muestra que la empresa PESA es la única que utiliza motoreductores hidráulicos para direccionar la turbina, el resto de las empresas utiliza motoreductores eléctricos.

**Gráfica #46. Posicionamiento del ángulo de ataque de las aspas**



Existe diversidad en cuanto al control del ángulo de las aspas, incluyendo el control Stall que deja el ángulo fijo bajo las condiciones de trabajo de la máquina y máxima potencia entregada por esta, pasando por el control por pistón hidráulico y los dos tipos de motoreductores, eléctrico e hidráulico, por supuesto cada técnica con sus ventajas e inconvenientes.

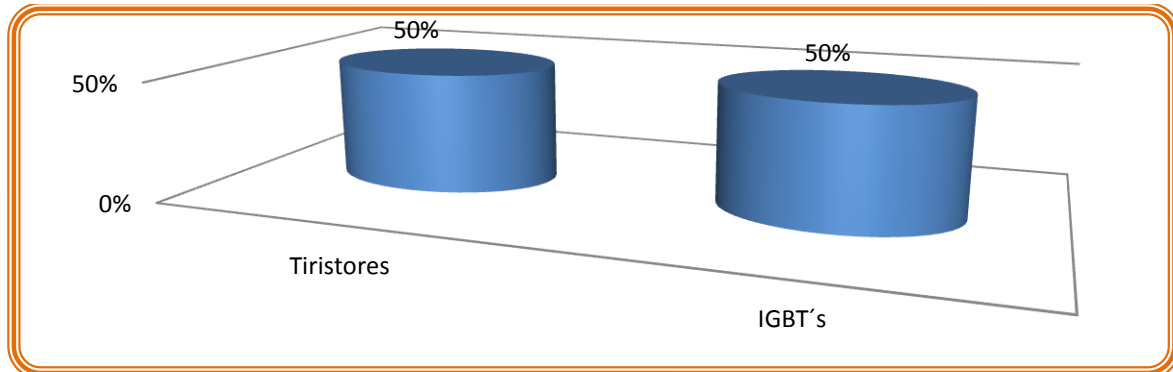
**Gráfica #47. Técnicas de control del ángulo de paso de las aspas en cada planta**



Aunque existen distintas técnicas del control del ángulo de las aspas utilizados por las máquinas de las plantas instaladas, es importante observar que en el caso de PEG que es una con tecnología de punta, utilizan motoreductores eléctricos para realizar este control.

#### 4.2.6. Características del Sistema de acondicionamiento de potencia eléctrica

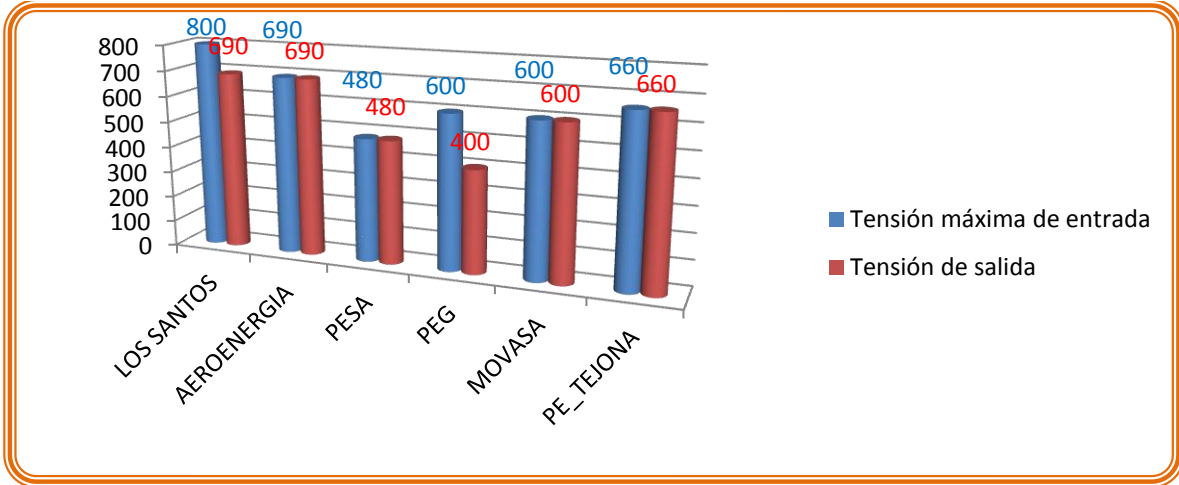
**Gráfica #48. Elementos de potencia de los “Inversores Electrónicos”**



\*Se incluyen los dos “inversores”(salida, control de excitación)

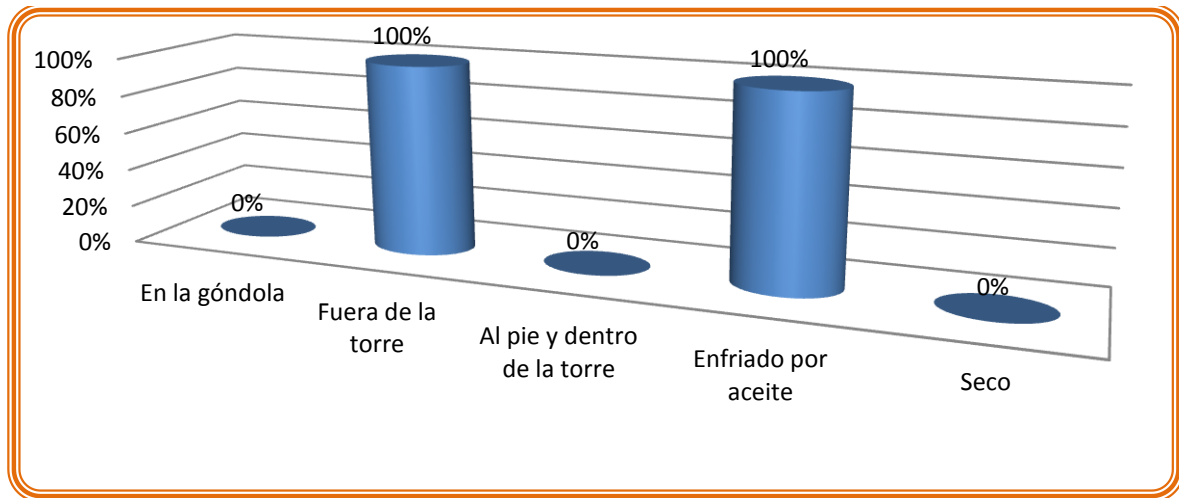
Inversor quizá no sea exactamente el nombre correcto, debido a los tipos de uso que se da a este conjunto de elementos de potencia, pero si es necesario aclarar que solamente PESA y PEG utilizan los inversores propiamente dichos, ya que ellos rectifican la tensión de salida de los generadores y luego la invierten para inyectarla a la red. A diferencia de las otras plantas donde se utilizan tiristores, solamente para el arranque a tensión reducida de los motores de inducción, una vez que han alcanzado la frecuencia de sincronía los dejan conectados a la red a través de un contactor que se conecta en paralelo con los tiristores de arranque suave. Sin embargo el 50% utiliza Tiristores en estas acciones de control y el otro 50% utiliza Transistores IGBT'S, principalmente PEG y PESA en sus inversores.

**Gráfica #49. Tensiones de entrada y salida máximas en las secciones con electrónica de potencia**



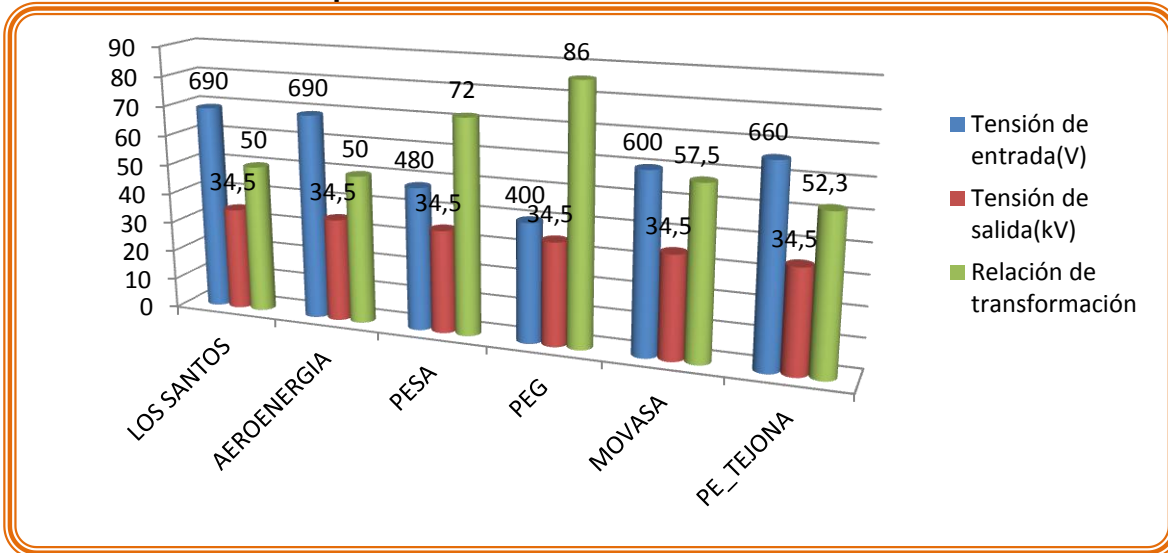
Como se mencionó en el comentario de la gráfica anterior, las características aquí anotadas no se refieren solo al inversor electrónico propiamente dicho sino a las tensiones de entrada y salida de los elementos electrónicos de potencia utilizados en cualquier etapa del control de una turbina eólica.

**Gráfica #50. Características de ubicación y tipo de transformadores de acople**



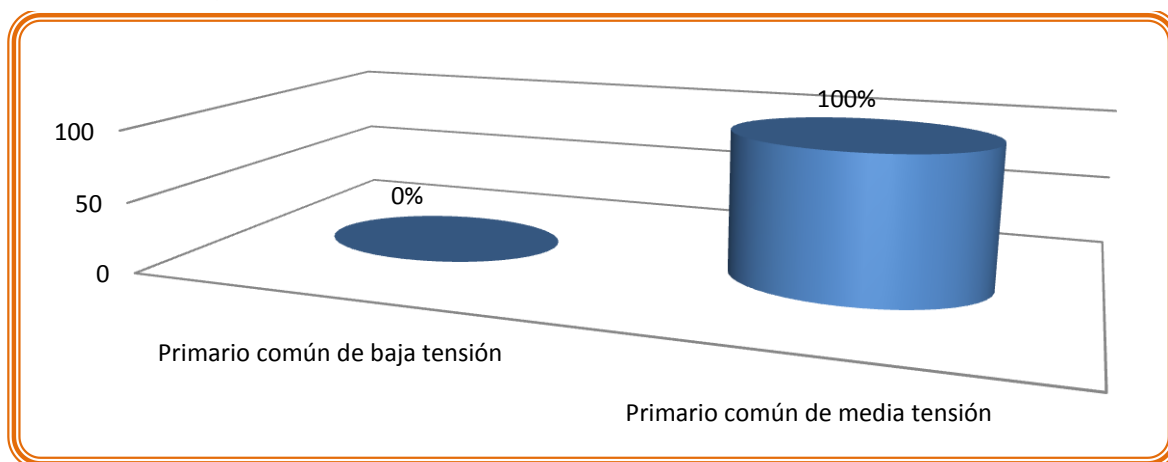
Por normativa de mantenimiento, todos los transformadores son del tipo seco y se encuentran fuera de la torre de la turbina.

**Gráfica #51. Tensiones de entrada, salida en los transformadores y razón de transformación de las plantas eólicas instaladas**



Por normativa de los fabricantes, en estas capacidades de generación, la tensión de salida de los generadores no debe de exceder los 690V, por lo tanto para acoplar la tensión generada a la tensión del bus de interconexión de media tensión se utilizan transformadores con salida a 34.5KV, en este caso las razones de transformación oscilan entre 50 y 86.

**Gráfica #52. Tipo de bus de interconexión en el sitio**

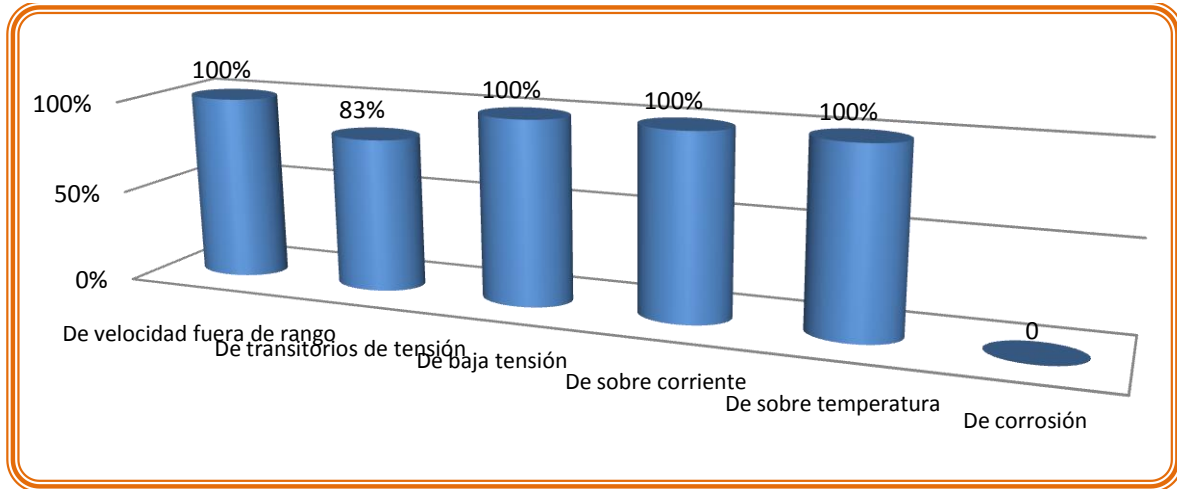


En todas las plantas se utiliza un bus común de media tensión para interconexión con el sistema nacional interconectado tipo Primario común de media tensión a 34.5KV.



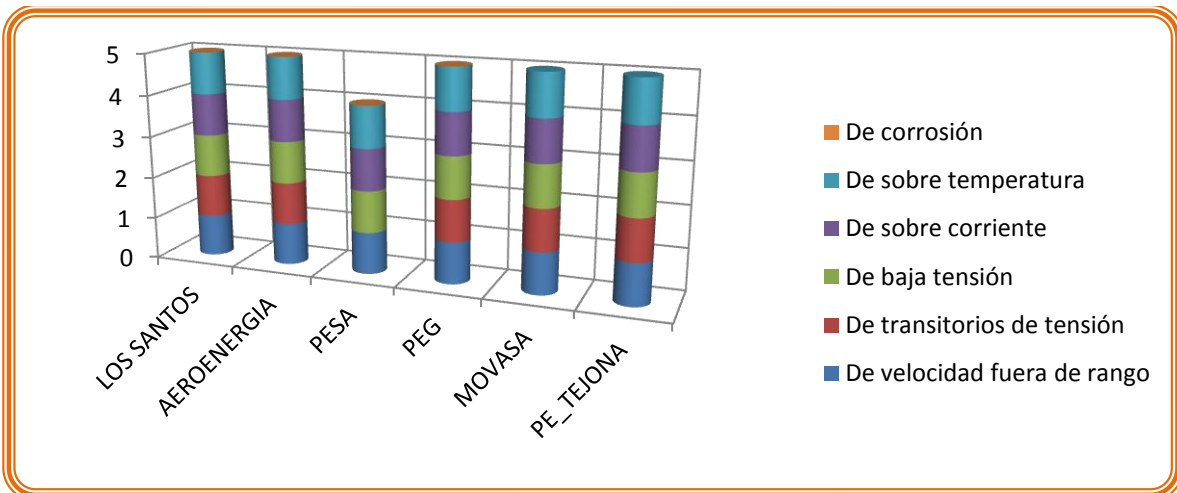
## 4.2.7. Características del Sistemas de protección

**Gráfica #53. Tipos de sistemas de protección aplicados en las turbinas eólicas**



En todas plantas eólicas del país se utilizan los sistemas de protección indicados, pero en ninguna se utiliza un sistema de protección contra la corrosión, la razón está clara, la mayoría de plantas está ubicada en lugares donde la corrosión de las estructuras es un proceso producido nada más por la humedad del aire y la pintura de estas estructuras es suficiente para controlar dicho fenómeno.

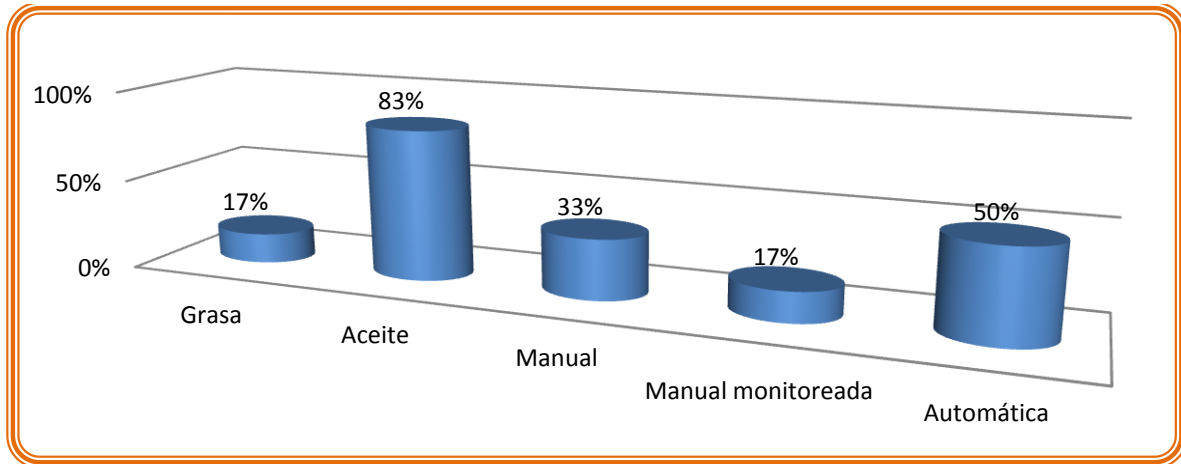
**Gráfica #54. Sistemas de protección de las turbinas en cada planta eólica**



En esta gráfica se observa la aplicación de las distintas formas de protección utilizadas en estos sistemas de generación eólica en cada planta.

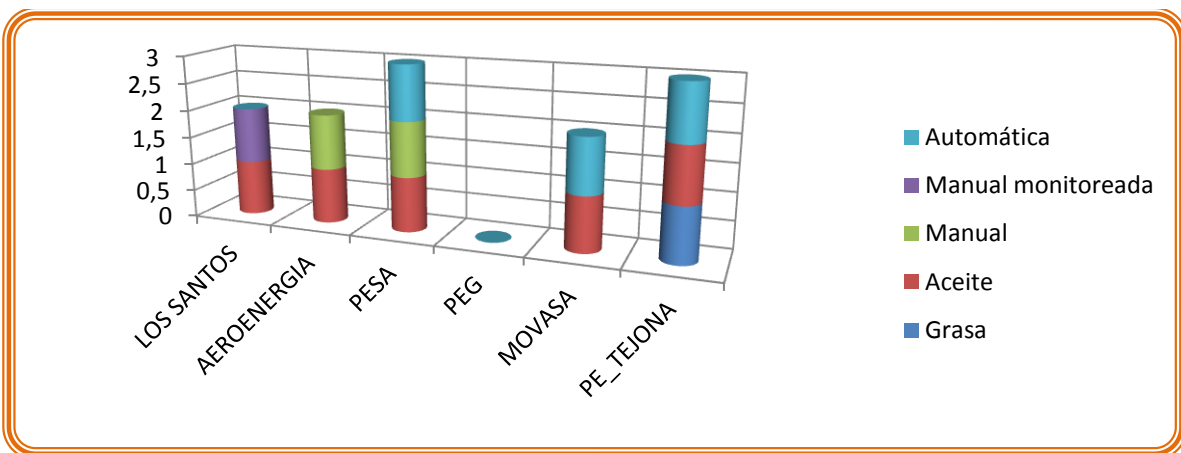
#### 4.2.8. Características de Sistema de lubricación en caja transmisora, cubo y aspas

Gráfica #55. Características de lubricación de la transmisión en las turbinas eólicas



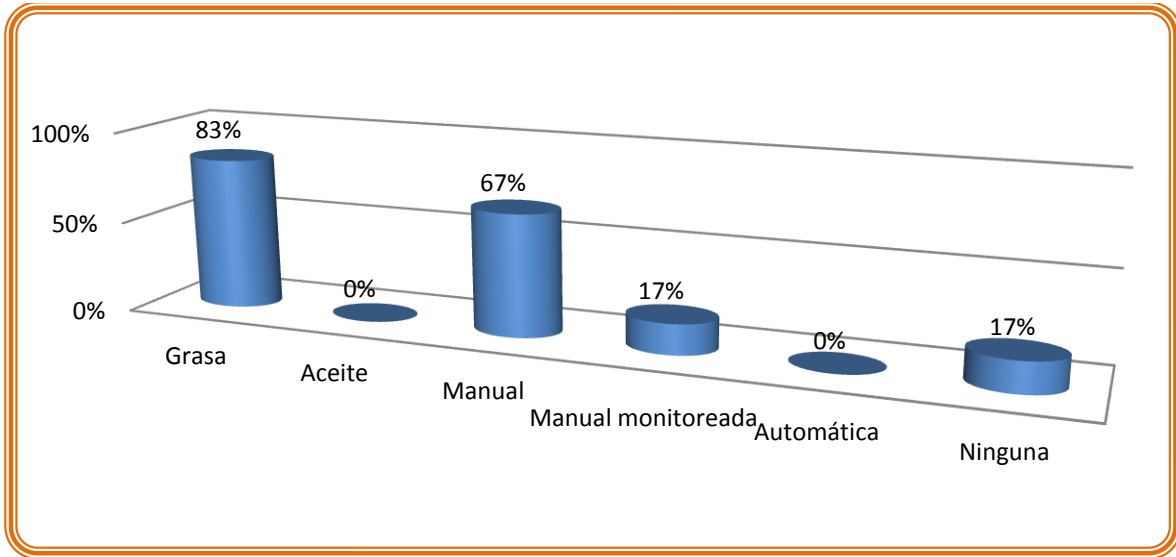
En cuanto al tipo de lubricación el 83% es aceite y el sistema utilizado para aplicarla es un 50% automatizada y un 33% es manual, una observación en este caso es que cada sistema tiene su propio tipo de lubricante y que al menos en el caso de los aceites de las cajas multiplicadoras se les realiza pruebas para un mantenimiento predictivo.

Gráfica #56. Características de lubricación aplicada en la transmisión de las turbinas



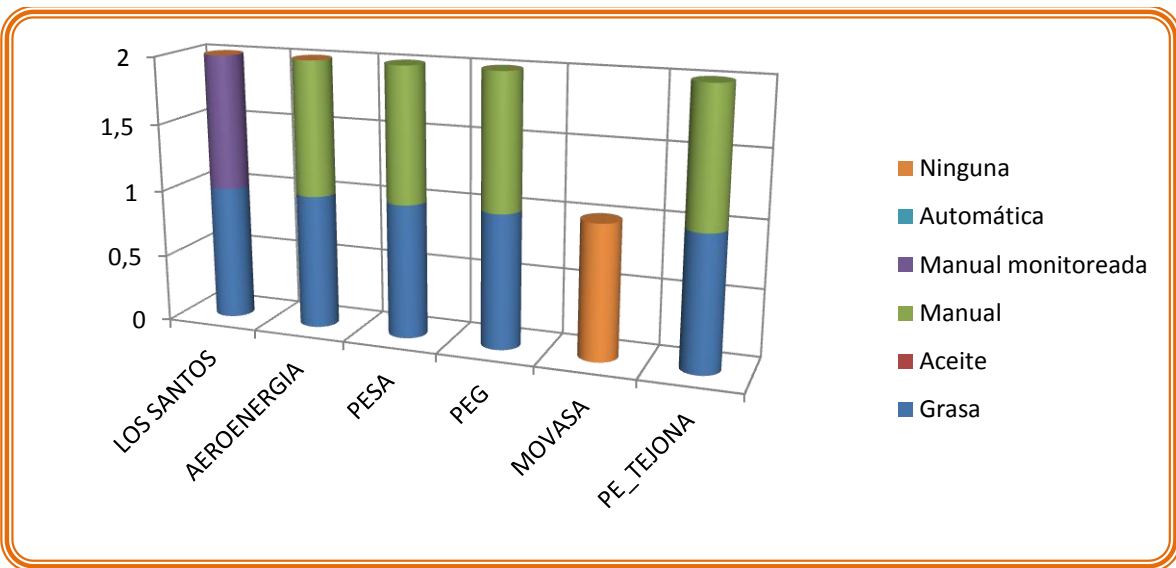
Lubricación en el sistema de transmisión que es aplicada por cada planta a sus máquinas, en el caso de la planta PEG, el responsable nos hizo saber que al aceite usualmente se le realiza un filtrado para reutilizarlo y que tienen un excelente sistema de monitoreo de este sistema.

**Gráfica #57. Características de la lubricación de cubos y aspas**



Como se observa el 83% de la lubricación en esta parte de una turbina eólica se realiza con grasa y además se aplica manualmente.

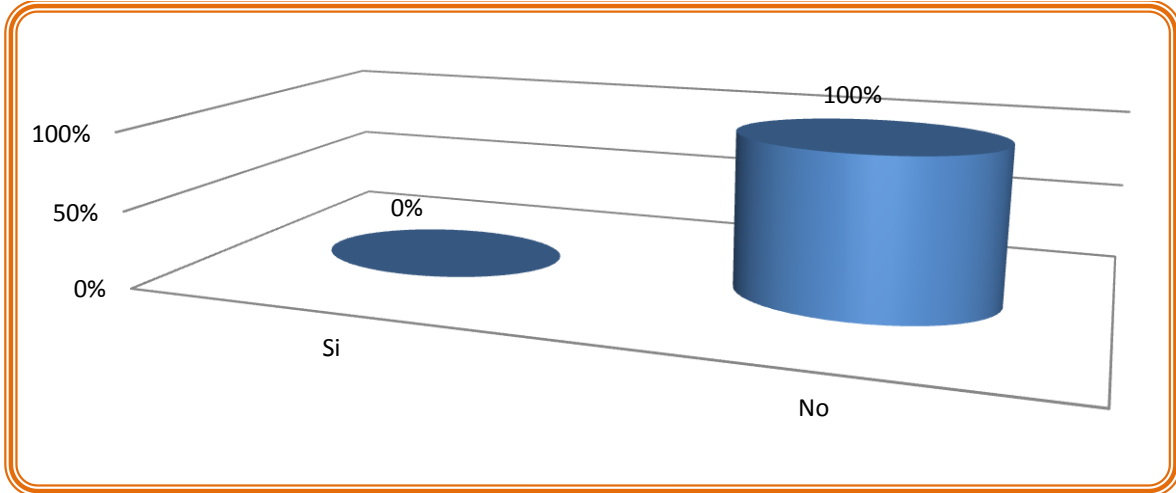
**Gráfica #58. Características de la lubricación aplicadas en cubos y aspas de las turbinas eólicas**



La empresa MOVASA no aplica lubricación en el cubo ya que aquí el ángulo de ataque de las aspas es fijo, por tanto no existe lubricación en el resto en un 83% se utiliza grasa para realizar esta acción y en un mismo porcentaje es aplicada manualmente.

#### 4.2.9. Sistema de acumulación eléctrica

**Gráfica #59. Aplicación de los sistemas de almacenamiento de energía con banco de baterías en las plantas instaladas.**



Es de esperarse que ninguna planta tenga sistema de acumulación, debido a que todas estas plantas son de producción comercial y están pegadas a la red de distribución todo el tiempo de su operación. Este sistema de acumulación solamente es utilizado en sistemas de generación pequeños y que sea necesario tenerlos de manera autónoma.

#### **4.2.10 Resumen de los tipos de tecnología utilizadas en los sistemas y subsistemas de las turbinas instaladas en los distintos parques eólicos.**

1. El 83% de las plantas instaladas tienen torres que son tubulares y el 100% son autosoportadas. La altura de las torres en promedio es de 39,5 metros con un máximo de 45 metros de PEG y Tejona y un mínimo de 24 metros de PESA. Los diámetros máximos y mínimos en las tubulares es de 4m en el caso de PEG y 3m en el caso de Los Santos, Aeroenergía y Tejona.
2. El 100% de los rotores son de eje horizontal, el 100% son de tres aspas y su capacidad nominal está entre 500KW y 1000KW.
3. El 17% de las plantas tienen instalados generadores sincrónicos del tipo multipolo. El 83% de las plantas tienen generadores asincrónicos de estos el 33% es con rotor jaula de ardilla y el 50% son motores con rotor bobinado o simplemente llamados generadores de inducción doblemente alimentados.
4. Importante, mencionar en este caso que el 67% de las plantas realiza la regulación de la potencia producida, controlando el ángulo de ataque de las aspas, un 33% controlando la excitación, un 33% utilizando aspas con ángulo fijo y un 33% controlando el inversor de salida.
5. En cuanto a la capacidad nominal de los generadores el 83% está entre los 500KW y los 1000KW
6. El 83% de las plantas tiene turbinas con cajas multiplicadoras como elementos de transmisión mecánica y adaptación de velocidad de giro, solamente PEG tiene unidades con transmisión directa, lo generado lo convierten a tensión de corriente directa para luego invertirla a corriente alterna de amplitud y frecuencia fija.  
Al inicio de la investigación solamente había seis plantas eólicas, ahora son siete y la última es de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, la cual es de la misma tecnología que PEG, por tanto el porcentaje de plantas con transmisiones directas es del 29%.
7. De todas las plantas instaladas en el país el 83% posiciona la turbina utilizando motoredutores eléctricos y solo el 17% motoredutores hidráulicos.
8. Existe diversidad en cuanto al control del ángulo de las aspas, incluyendo el control Stall que deja el ángulo fijo bajo las condiciones de trabajo de la máquina y máxima potencia entregada por esta, pasando por el control por pistón hidráulico y los dos tipos de motoredutores, eléctrico e hidráulico, por supuesto cada técnica con sus ventajas e inconvenientes.

9. Inversor quizá no sea exactamente el nombre correcto, debido a los tipos de uso que se dé a este conjunto de elementos, pero si es necesario aclarar que solamente PESA y PEG utilizan los inversores propiamente dichos, ya que ellos rectifican la tensión de salida de los generadores y luego la invierten para inyectarla a la red, a diferencia de las otras plantas donde se utilizan tiristores solamente para el arranque a tensión reducida de los motores de inducción y una vez que han alcanzado la frecuencia de sincronía los dejan conectados a la red a través de un contactor. Sin embargo el 50% utiliza Tiristores en estas acciones de control y el otro 50% utiliza Transistores IGBT'S, principalmente PEG y PESA en sus inversores.
10. Por normativa de mantenimiento, todos los transformadores son del tipo de enfriados por aceite y se encuentran fuera de la torre de la turbina. Por normativa de los fabricantes, en estas capacidades de generación, la tensión de salida de los generadores no debe de exceder los 690V, por lo tanto para acoplar la tensión generada a la tensión del bus de interconexión de media tensión se utilizan transformadores con salida a 34.5KV, en este caso las razones de transformación oscilan entre 50 y 86.
11. En todas plantas eólicas del país se utilizan los sistemas de protección indicados, pero en ninguna se utiliza un sistema de protección contra la corrosión, la razón es que la mayoría de plantas está ubicada en lugares donde la corrosión de las estructuras es un proceso producido nada más por la humedad del aire y la pintura de estas estructuras es suficiente para controlar dicho fenómeno.
12. En cuanto al tipo de lubricación el 83% es aceite y el sistema utilizado para aplicarla es un 50% automatizada y un 33% es manual, una observación en este caso es que cada sistema tiene su propio tipo de lubricante y que al menos en el caso de los aceites de las cajas multiplicadoras se les realiza pruebas para un mantenimiento predictivo.
13. En los cubos y aspas, como se observa el 83% de la lubricación en esta parte de una turbina eólica se realiza con grasa y además se aplica manualmente
14. Como todas las plantas son comerciales, están continuamente conectadas a la red por tanto ninguna de estas plantas tiene sistema de acumulación, el cual solo se utiliza en sistemas autónomos de generación pequeños.

15. A pesar que de los datos se obtiene una gran varianza en las tecnologías utilizadas en estas plantas de generación eólica en cuanto al tipo de máquina, se debe de aclarar que existen un porcentaje bien definido en cuanto al tipo de sistema de generación e inyección de la potencia al sistema nacional interconectado.

Los tipos de máquina generadoras son las siguientes:

- a. Generación con motor de inducción jaula de ardilla (generador asíncrono), aporte de potencia al sistema por conexión directa del generador
- b. Generación con motor de inducción de rotor bobinado (generador asíncrono, aporte de potencia al sistema por conexión directa del generador) y
- c. Generación con generador sincrónico, aporte de potencia al sistema por conexión indirecta a través de un inversor electrónico con transistores de potencia IGBT's.

Las tecnologías de generación eólica están cambiando, en Costa Rica cinco de las siete plantas instaladas tienen tecnologías basadas en las cajas de transmisión multiplicadora para transferir la potencia mecánica al generador, el problema en este tipo de máquinas, es el excesivo mantenimiento que se realiza a la misma. Esto suma una dificultad para la empresa que administra el parque, cuando se daña este elemento el mantenimiento correctivo por cambio de partes de la misma, es bastante costoso ya que no hay en el país talleres que las reparen por tanto y en algunos casos como el ICE, una vez que la caja ha cumplido su vida útil la desecha por que no es rentable seguir dándole mantenimiento.

En la actualidad dos de las plantas que han sido instaladas Planta Eólica de Guanacaste (PEG) y la nueva Proyecto Eólico del Valle Central (PEVC) de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, tienen tecnología de generadores multipolo, que tienen una gran ventaja sobre las anteriores y es que ya no tienen la caja de transmisión, el beneficio es inmediato todo el mantenimiento de esta ya no existe. Otra ventaja es que se reduce el tamaño para la misma potencia comparada el otro tipo de turbinas.

Una de las observaciones importantes es que la electrónica de potencia llegó para quedarse, ha evolucionado desde las tarjetas de control con electrónica híbrida de la planta PESA aplicada al control de la potencia generada y al sensado de las diversas magnitudes de las variables de control, hasta la electrónica casi totalmente integrada y microcontrolada aplicada en estas etapas de potencia en PEG y PEVC, pasando por la evolución del control con PLC's industriales de gran robustez y prestancia que se encargan de correr los sofisticados algoritmos de control de todos los sistemas en la turbina.

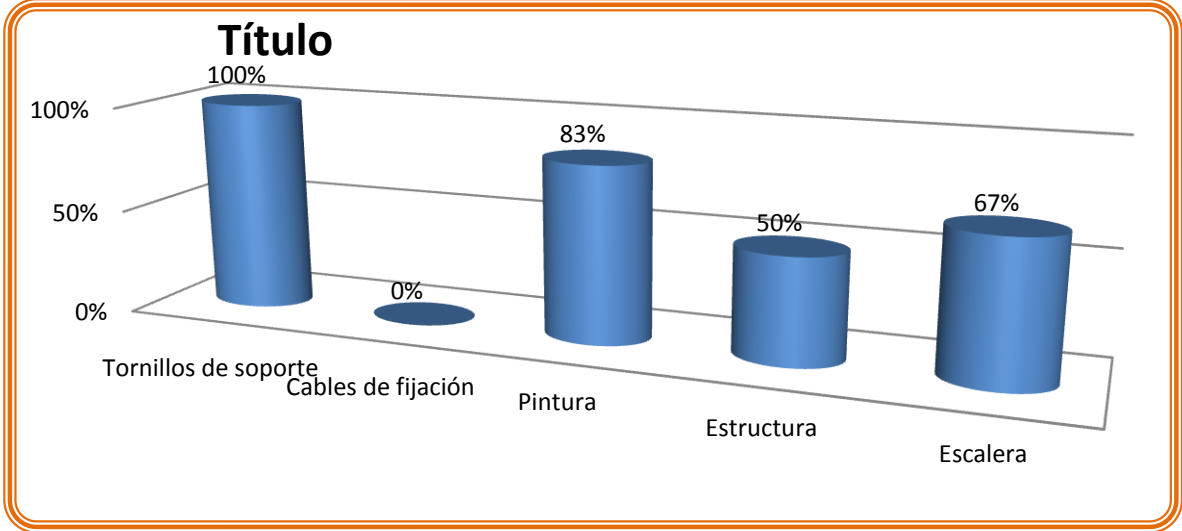
**4.3. Clases de mantenimiento aplicado a una turbina eólica, las cuales son, mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico (electromecánico).**

**De acuerdo al instrumento aplicado se tienen los siguientes resultados:**

**4.3.1. Mantenimiento Correctivo .**

**Torres:**

**Gráfica #60. Elementos a los que se da mantenimiento correctivo en las torres**

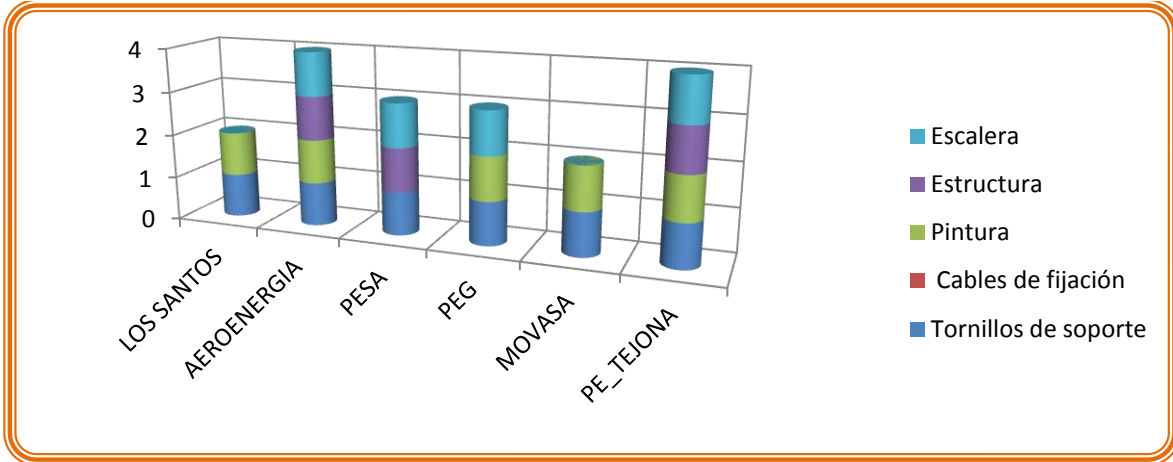


El 100% de los entrevistados mencionó que se da mantenimiento correctivo a los tornillos de soporte , El 83% a la pintura, si así lo requieren, no significa que fallen a menudo.

Importante hacer la aclaración que las opiniones sobre el mantenimiento correctivo que se realiza a los elementos de la turbina, significa que siempre se realiza cuando el elemento lo requiera, es decir que se aplica cuando ocurre el evento de falla, no significa que estos siempre estén fallados.



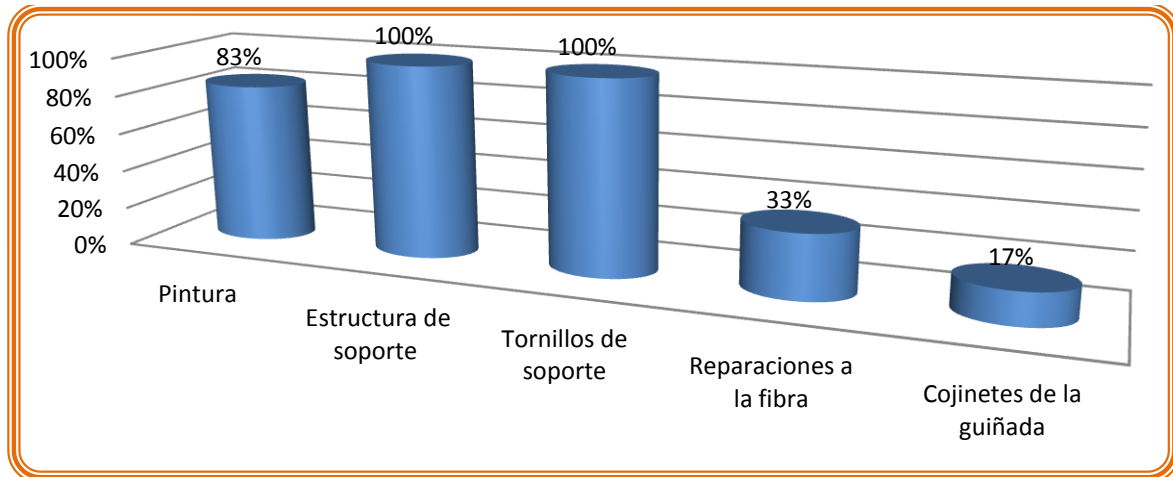
**Gráfica #61. Mantenimiento correctivo de los elementos de una torre en cada planta**



En general el mantenimiento que se entiende como correctivo en los distintos elementos de las torres y otras partes de la turbina, es básicamente la acción de cambio ó corrección esporádica de estos, ya sea porque hubo falla o por que en la revisión preventiva se encontró a punto de falla.

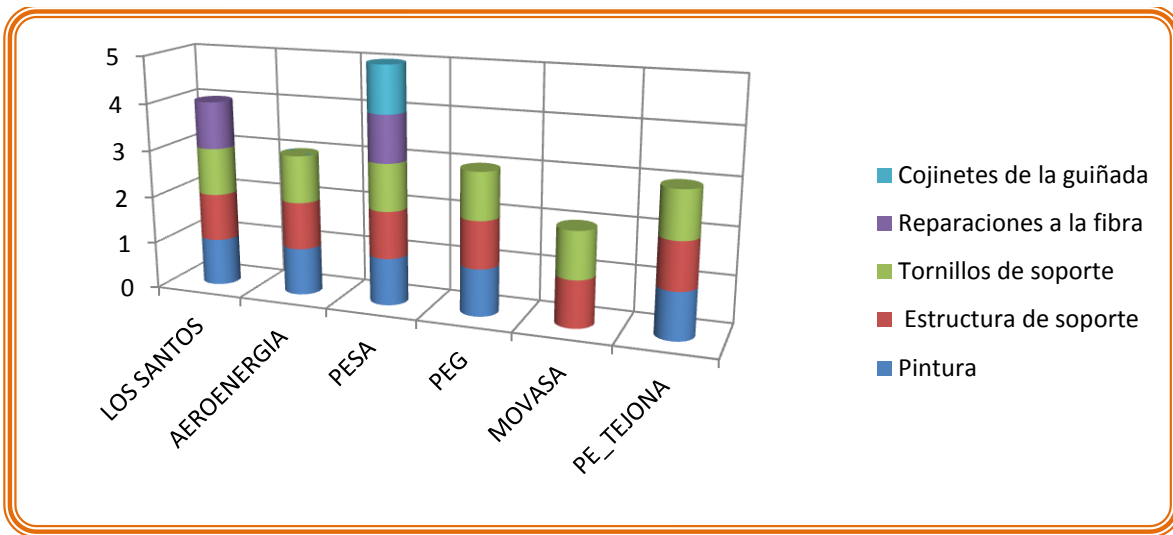
### **Góndola(Nacelle):**

**Gráfica #62. Elementos de la góndola que se les da mantenimiento correctivo**



Al igual que en una torre se busca dar mantenimiento correctivo a la pintura, estructura y a los tornillos si así lo requieren, no significa que estas partes siempre fallen, si no de atenderlo prontamente si es necesario. En este caso el 83% mencionó que se le da mantenimiento a la pintura, el 100% tanto a estructura de soporte como a los tornillos.

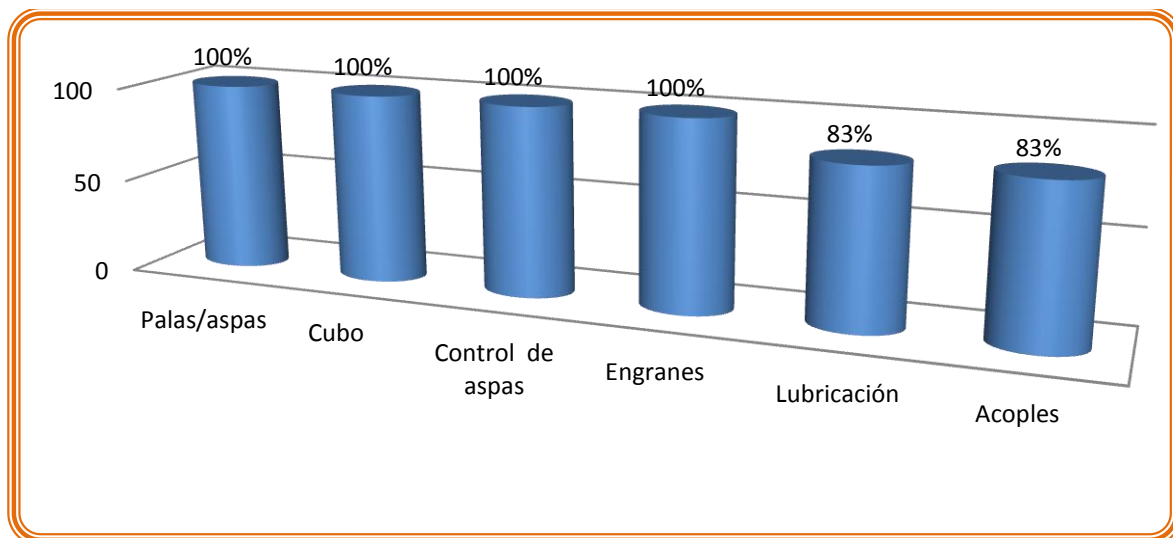
**Gráfica #63. Elementos de la góndola a los cuales se les da mantenimiento correctivo en cada planta**



Mantenimiento correctivo de los distintos elementos de la góndola, aplicado si son necesarios por cada una de las plantas.

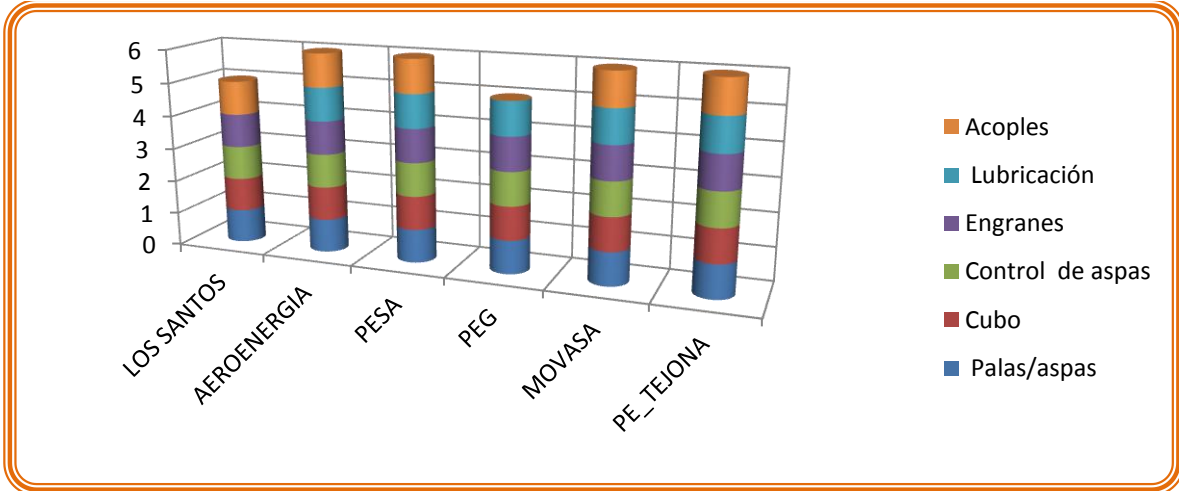
**Rotor:**

**Gráfica #64. Mantenimiento correctivo a los elementos asociados a las aspas y al cubo**



Se ve claramente que casi en un 100% de las plantas se da mantenimiento correctivo a todos los elementos del rotor cuando así lo requieren.

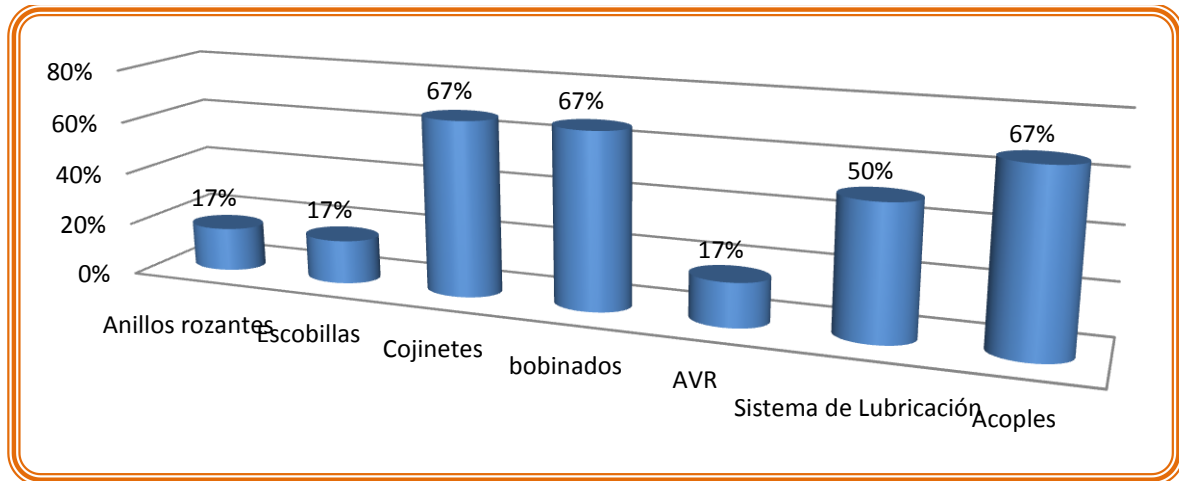
**Gráfica #65. Elementos del rotor a los cuales se les da mantenimiento en cada planta**



La gráfica indica que en todas las plantas se da mantenimiento correctivo a todos los elementos asociados con el rotor.

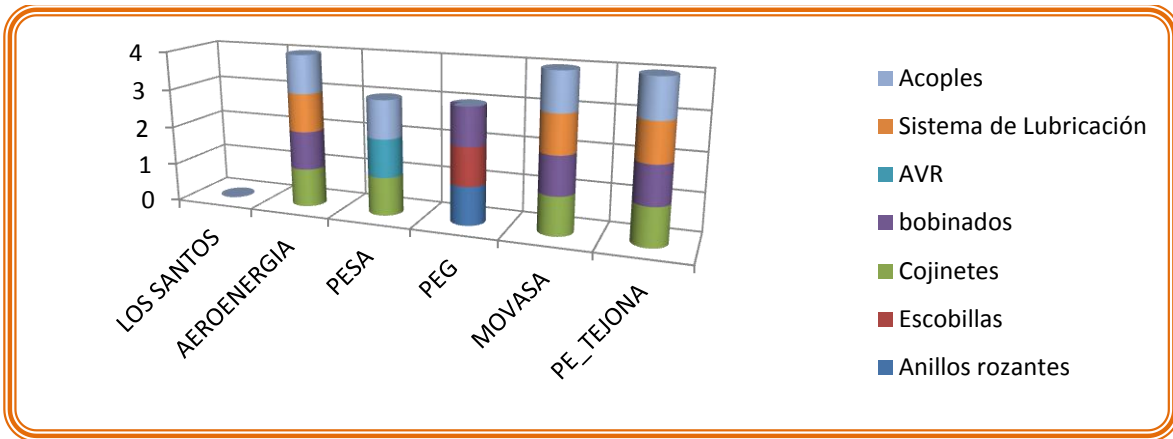
**Generador:**

**Gráfica #66. Elementos del Generador a los cuales se les da mantenimiento correctivo**



En los generadores un 67% de los entrevistados indicó que se da mantenimiento correctivo a los cojinetes, bobinados y a los acoples cuando así lo requieran, mientras el 50% indicó que se aplica esta acción al sistema de lubricación.

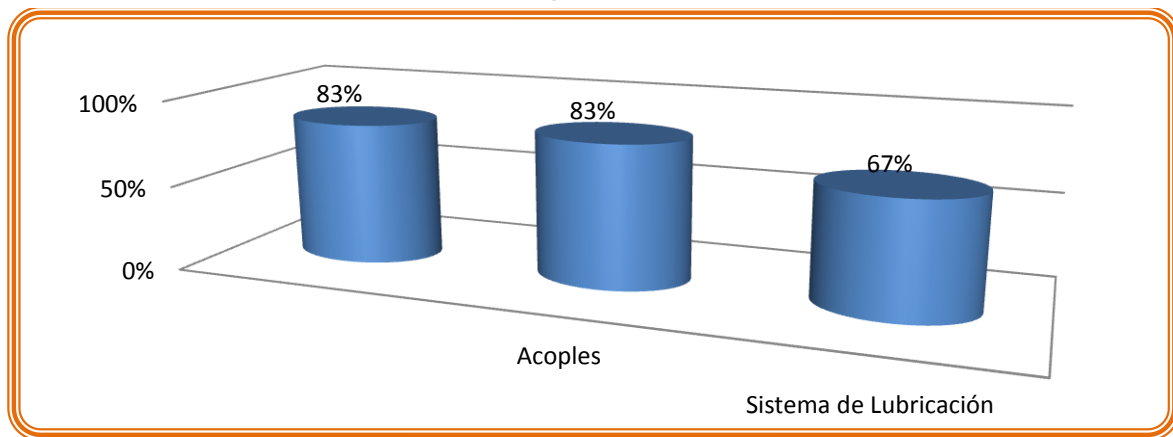
**Gráfica #67. Mantenimiento correctivo en el generador, según cada planta.**



La mayoría de entrevistados opinaron asertivamente sobre el mantenimiento correctivo del generador cuando así lo requiera excepto el encargado de los Santos no opinó al respecto.

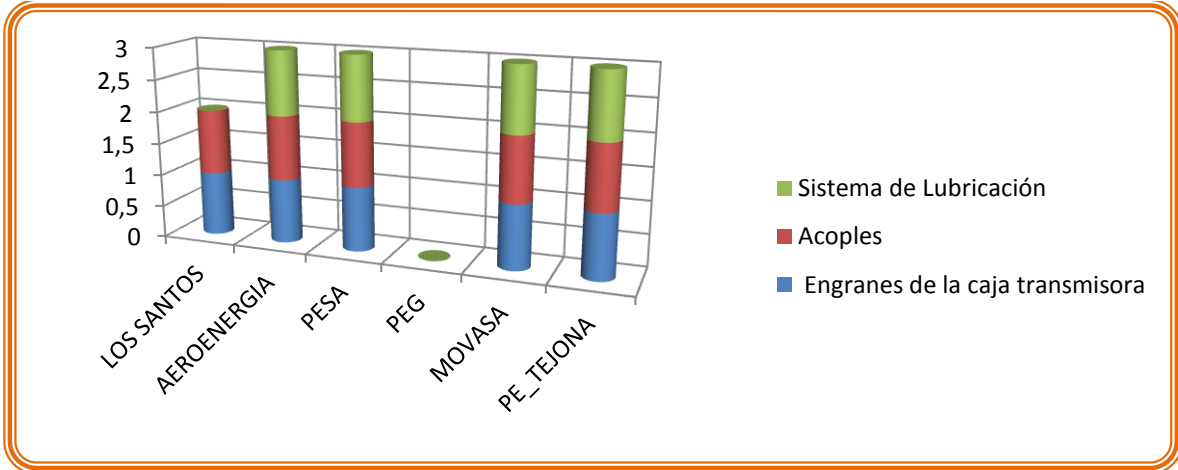
**Transmisiones:**

**Gráfica #68. Mantenimiento correctivo para elementos de la transmisión mecánica**



Todos entrevistados de las plantas que tienen turbinas con cajas de transmisión se pronunció positivamente por el mantenimiento correctivo de los elementos asociados a esta, sin embargo algunos dijeron que en el país no existen los materiales para dar correctamente un mantenimiento correctivo a este tipo de elemento y en el caso del representante del ICE dijo que ellos han intentado darle mantenimiento fuera del país, pero que resulta muy caro y como consecuencia cuando una caja de transmisión se daña simplemente la desechan.

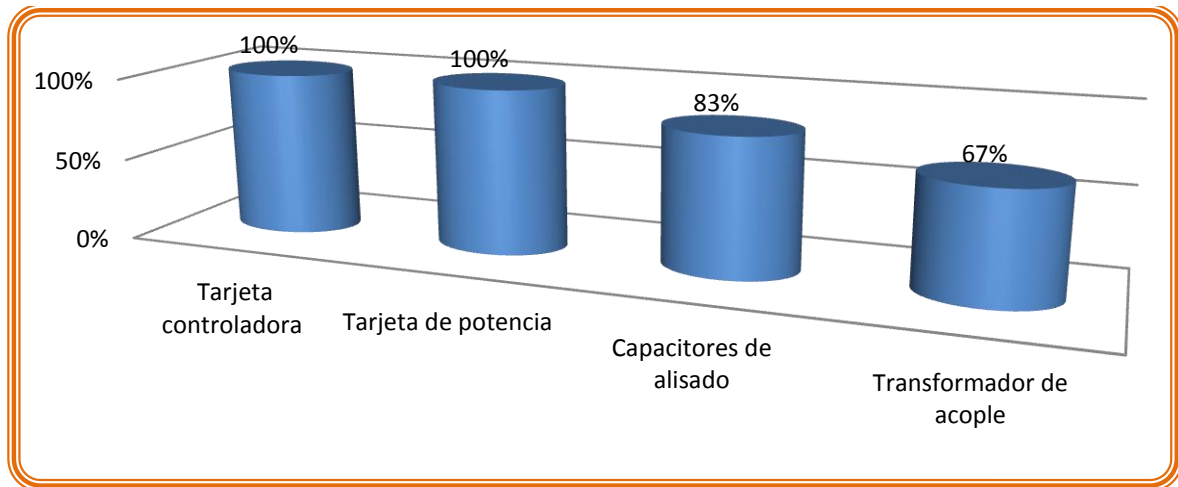
**Gráfica #69. Opinión del mantenimiento correctivo de la caja de transmisión por planta**



En el caso de PEG las turbinas de este proyecto no tienen cajas multiplicadoras, por lo tanto se salvan de este proceso de mantenimiento que en opinión de ellos encarece bastante el costo del mantenimiento anual de un parque eólico.

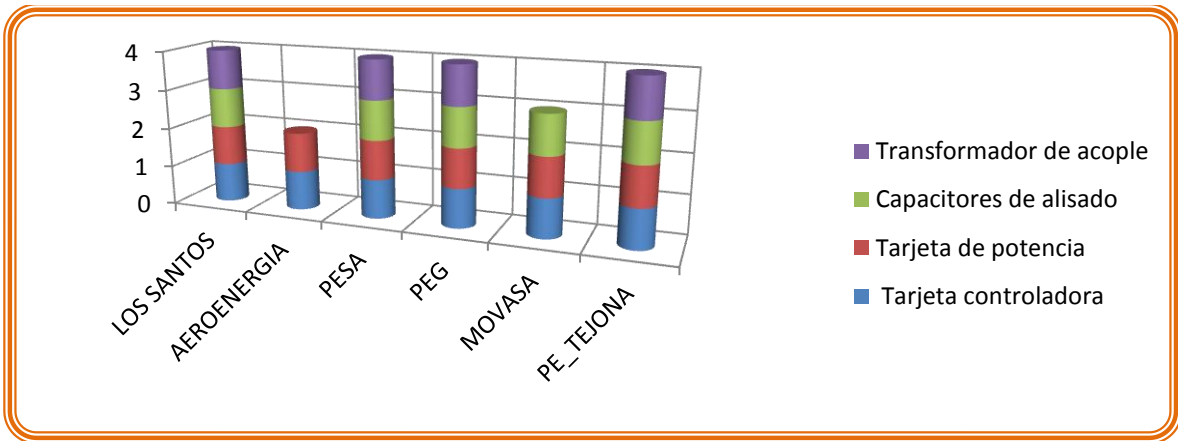
**Inversor o elementos electrónicos de potencia:**

**Gráfica #70. Mantenimiento correctivo sobre la electrónica de potencia de las turbinas**



El 100% comentó favorablemente sobre el mantenimiento correctivo de los distintos elementos de electrónica utilizados en los controles e inversores de potencia, principalmente aquellos que tienen inversores electrónicos, sin embargo adujeron que se necesita capacitación de sus técnicos para que realicen esta labor.

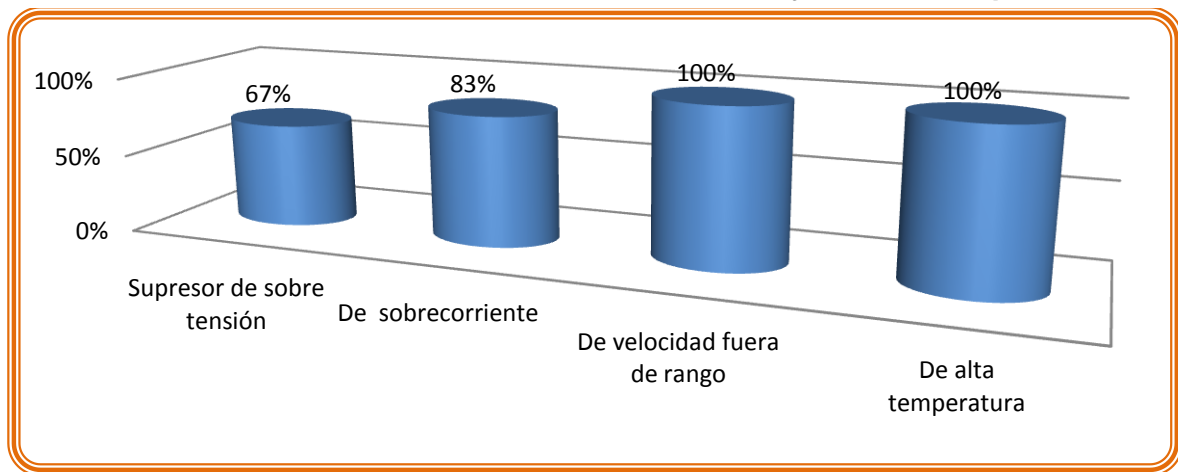
**Gráfica #71. Atención correctiva de elementos electrónicos en cada planta**



Cada entrevistado se pronunció sobre los elementos más importantes y asociados con la electrónica de control y de potencia, sin embargo es necesario según ellos capacitar al personal de planta para el diagnóstico y la correcta sustitución de estos elementos.

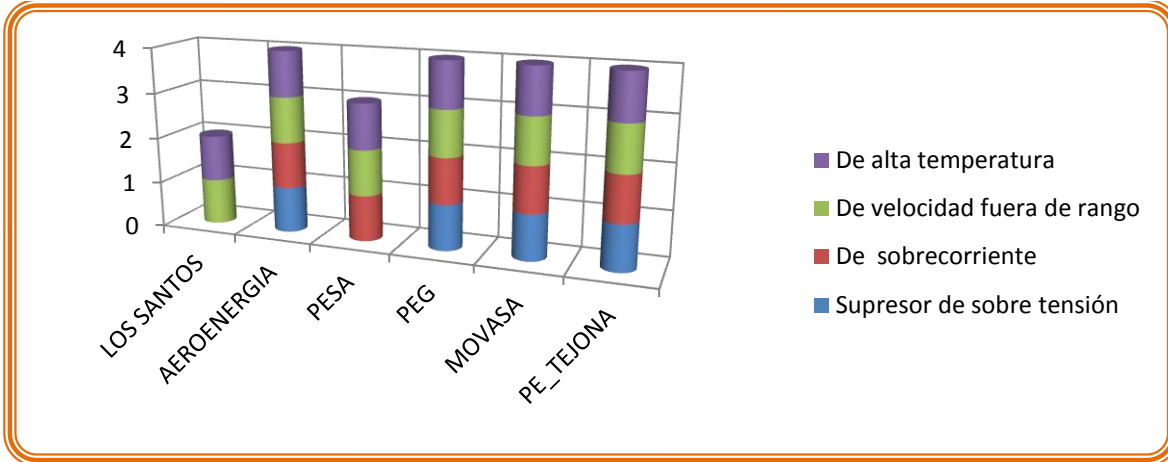
**Protecciones:**

**Gráfica #72. Mantenimiento correctivo sobre elementos y sistemas de protección**



La mayoría externó su opinión favorable sobre el mantenimiento correctivo de cada sistema y dispositivo que participa en la protección integral de la máquina, principalmente el 100% sobre las protecciones de velocidad y temperatura, por lo que aquí algunos entrevistados externaron la necesidad de capacitación de los operarios de mantenimiento en los sensores electrónicos de dirección, velocidad, temperatura, vibración, corriente y ensión.

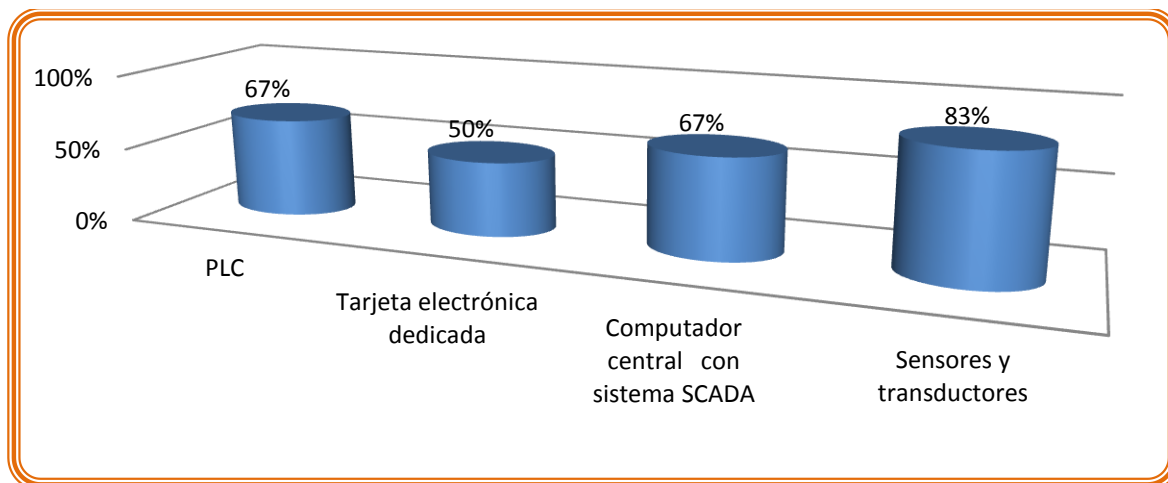
**Gráfica #73. Intervención correctiva sobre los sistemas de protección de las turbinas según entrevistado**



Opiniones de cada entrevistado sobre el mantenimiento correctivo de cada uno de los sistemas de protección en una turbina eólica.

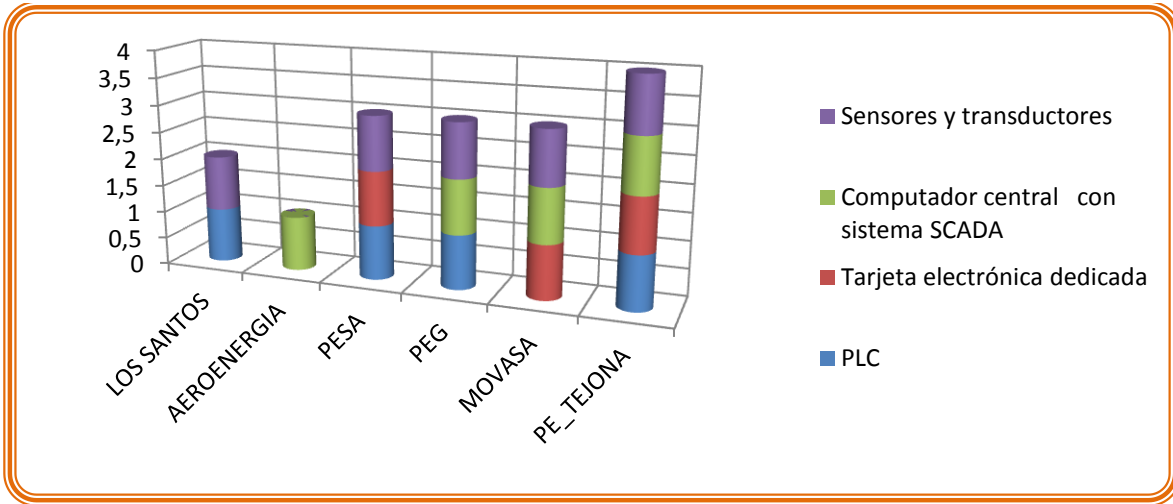
**Control centralizado:**

**Gráfica #74. Mantenimiento correctivo sobre los elementos que constituyen el control centralizado**



El 83% opinó sobre el mantenimiento correctivo de los sensores y transductores , un 67% por el PLC y el computador central. Entiéndase como control centralizado al elemento o sistema que lleva el control de toda la máquina, en este caso en la mayoría de las turbinas dígame el computador central, el PLC, tarjeta dedicada, sensores y transductores.

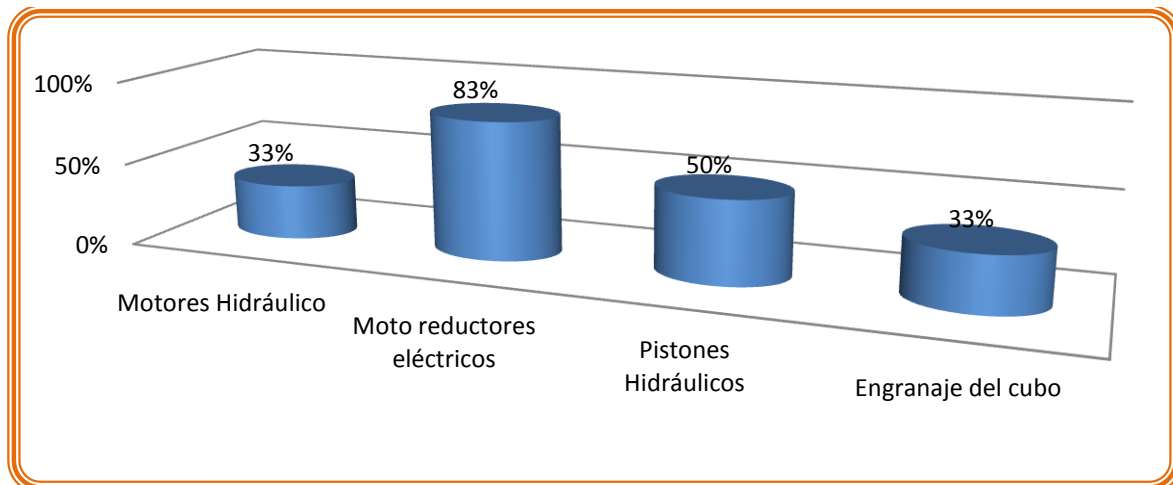
**Gráfica #75. Opiniones sobre las intervenciones correctivas en las protecciones según entrevistado**



Para el representante de Tejona todas las protecciones se les debe dar mantenimiento correctivo, en comparación con el de Aeroenergía que opinó favorablemente solo por el mantenimiento del computador central con el sistema SCADA.

**Sistema orientador:**

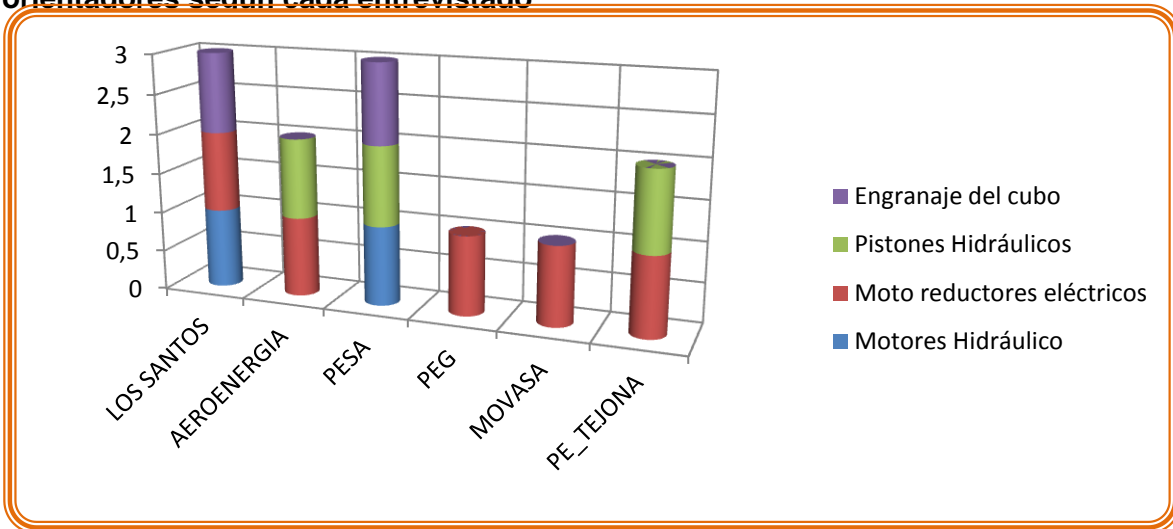
**Gráfica #76. Mantenimiento correctivo sobre los elementos de los sistemas orientadores**



El 83% opina que se da mantenimiento correctivo a los motoreductores, un 50% a los pistones hidráulicos, mientras que un 33% a los motores hidráulicos.



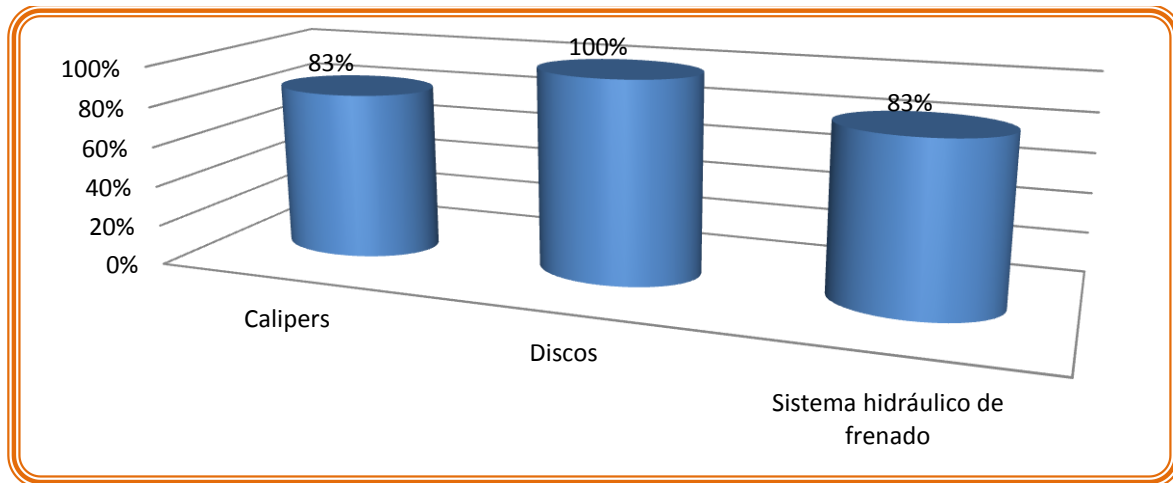
**Gráfica #77. Opiniones sobre el mantenimiento correctivo de los sistemas orientadores según cada entrevistado**



Es claro que la opinión está enfocada en el mantenimiento correctivo de los motoredutores eléctricos, debido principalmente que este es un elemento para el direccionamiento, bastante utilizado por varias plantas eólicas.

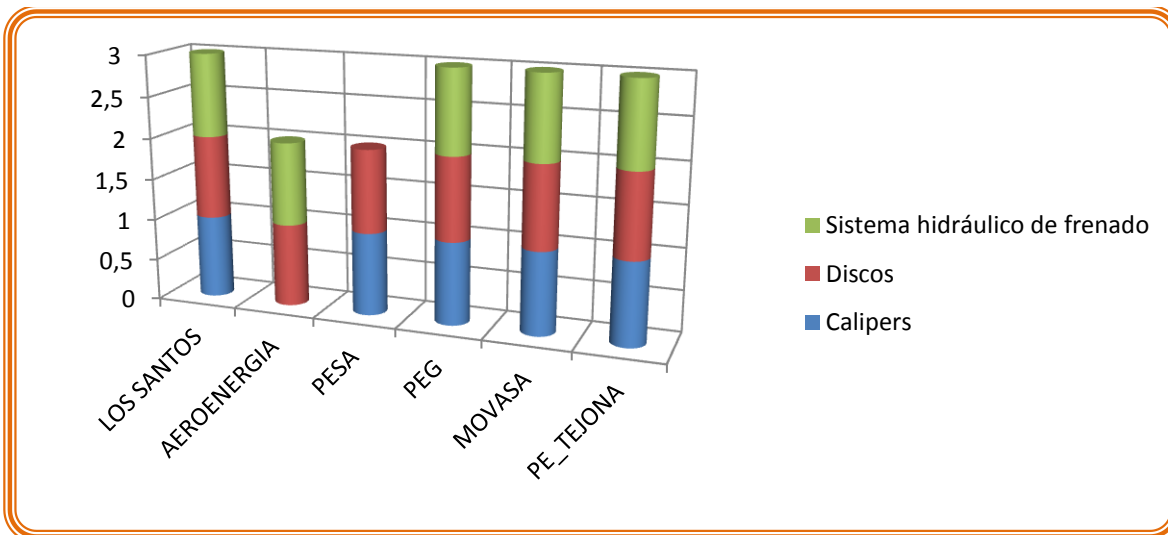
**Sistema de frenado:**

**Gráfica #78. Mantenimiento correctivo sobre elementos de frenado**



El 100% de los entrevistados mencionó que se debe dar mantenimiento correctivo a los discos de frenado, el 83% a los calipers y en igual proporción al sistema hidráulico de frenado.

**Gráfica #79. Opinión sobre el mantenimiento correctivo de los elementos del sistema de frenado según entrevistado**



En general todos los entrevistados opinaron que se debe dar mantenimiento correctivo al sistema de frenado de una turbina.

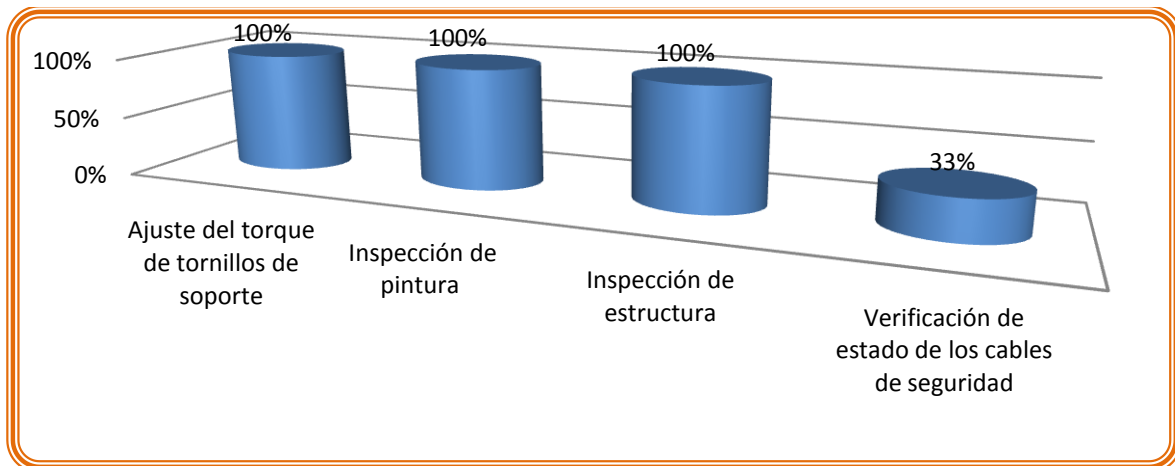
### 4.3.2. Mantenimiento Preventivo.

En todas las plantas de generación eólicas, se ejecuta este tipo de mantenimiento, debido a que, por su filosofía y cumplimiento es el que minimiza el mantenimiento correctivo que se atiende solamente cuando se requiere y se trata de que nunca llegue por que en ocasiones provoca que las máquinas se paren un gran tiempo por la dificultad de encontrar los repuestos.

Esta filosofía de mantenimiento se hace programado cada seis meses, un año, dos años y cuatro años, según la parte de la turbina que así lo requiera.

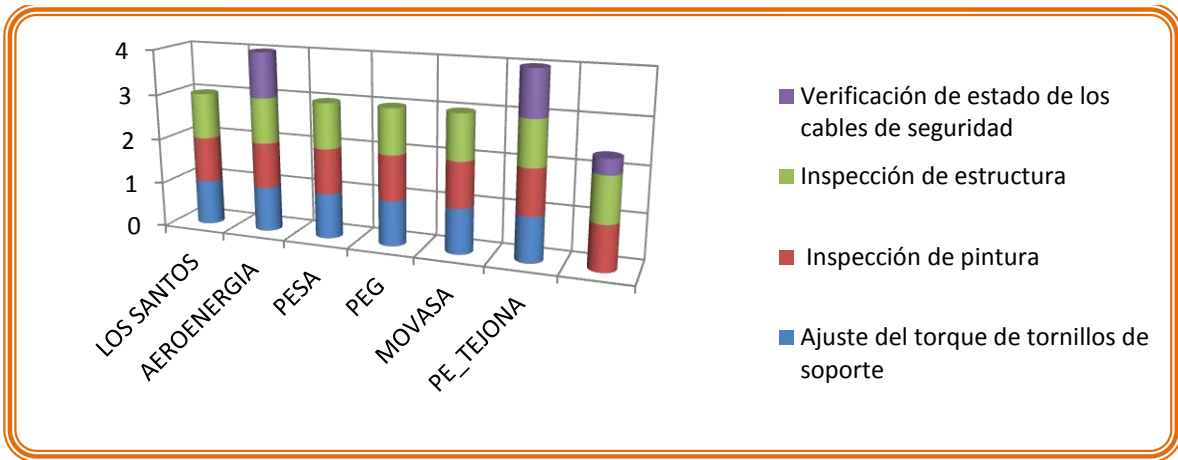
#### Torres:

**Gráfica #80. Opinión sobre elementos de la torre a los cuales se les da mantenimiento preventivo**



El 100% de los entrevistados opinó que se da mantenimiento preventivo a todas las partes de una torre, excepto al estado de los cables de seguridad, dentro de la torre, la razón puede ser que la pregunta sobre este elemento no se realizó de forma adecuada.

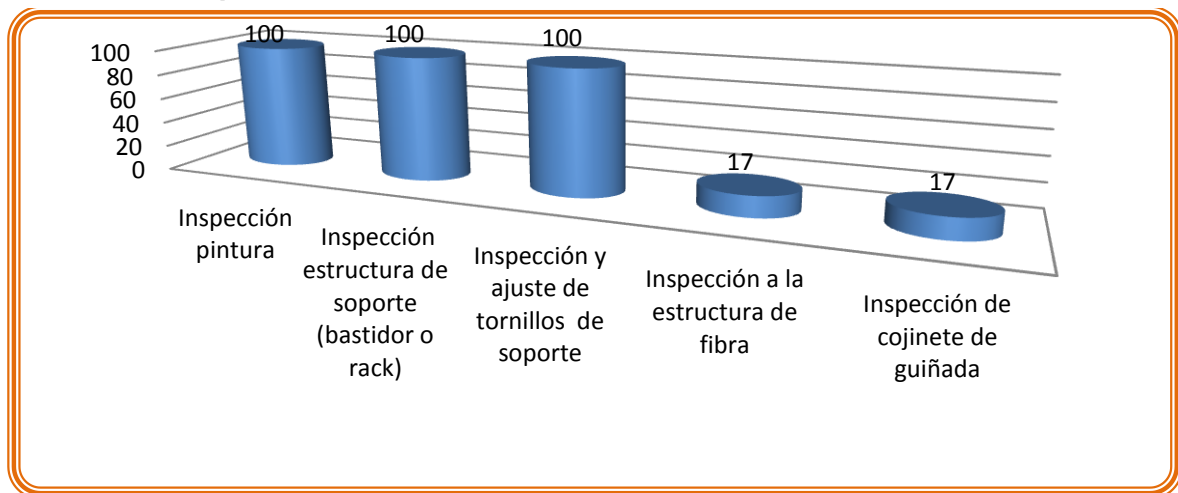
**Gráfica #81. Elementos de la torre a los que se les da mantenimiento preventivo en cada planta**



La mayoría de los entrevistados opina que se da el mantenimiento preventivo a todas las partes de una torre.

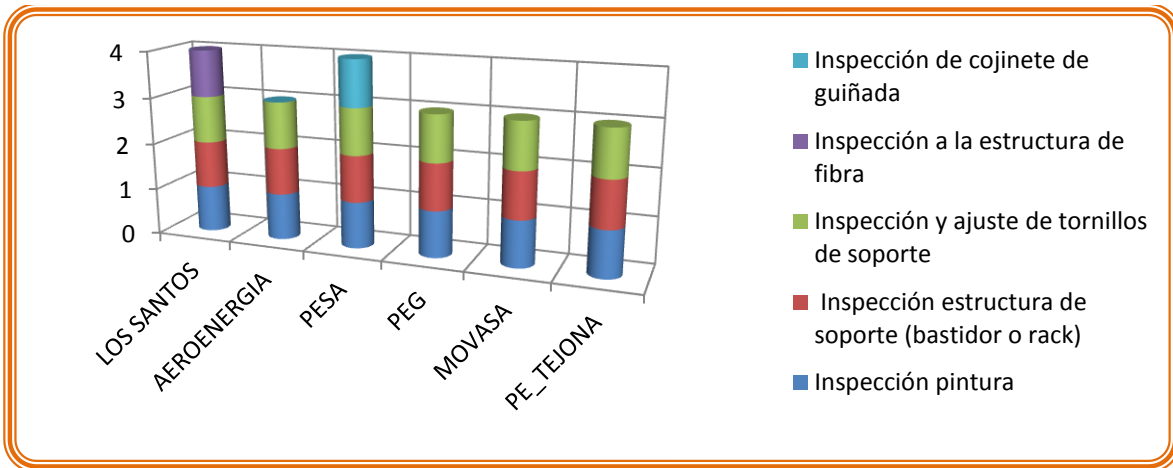
### Góndola(Nacelle):

**Gráfica #82. Opinión sobre los elementos de la góndola a los cuales se les da mantenimiento preventivo**



El 100% opinó que da mantenimiento preventivo a la estructura, pintura y tornillos de la góndola, un 17 % da mantenimiento a su estructura de fibra y a los cojinetes de la guiñada.

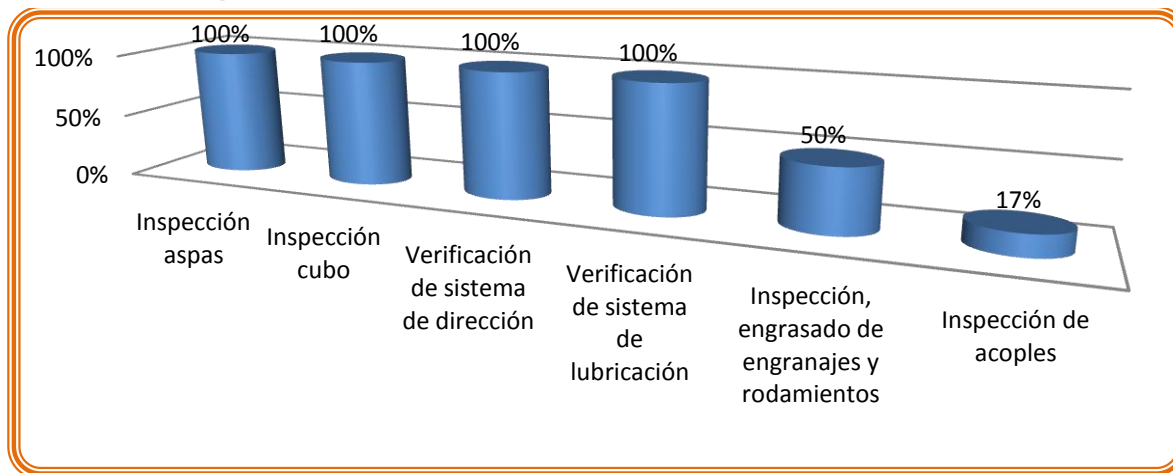
**Gráfica #83. Elementos de la góndola que se les da mantenimiento preventivo en cada planta**



Opiniones sobre el mantenimiento preventivo de la góndola según cada uno de las personas que se entrevistaron.

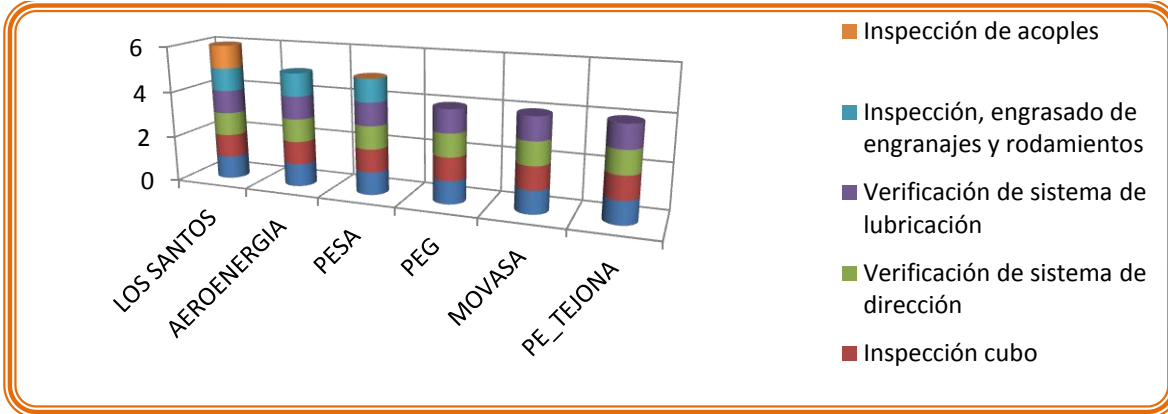
**Rotor:**

**Gráfica #84. Opinión sobre los elementos del rotor a los cuales se les aplica el mantenimiento preventivo**



Más del 83% de los entrevistados opinó sobre la aplicación del mantenimiento preventivo a todos los elementos del rotor principalmente el 100% opinó sobre este tipo de intervención en las aspas, cubo, sistema de dirección y de lubricación.

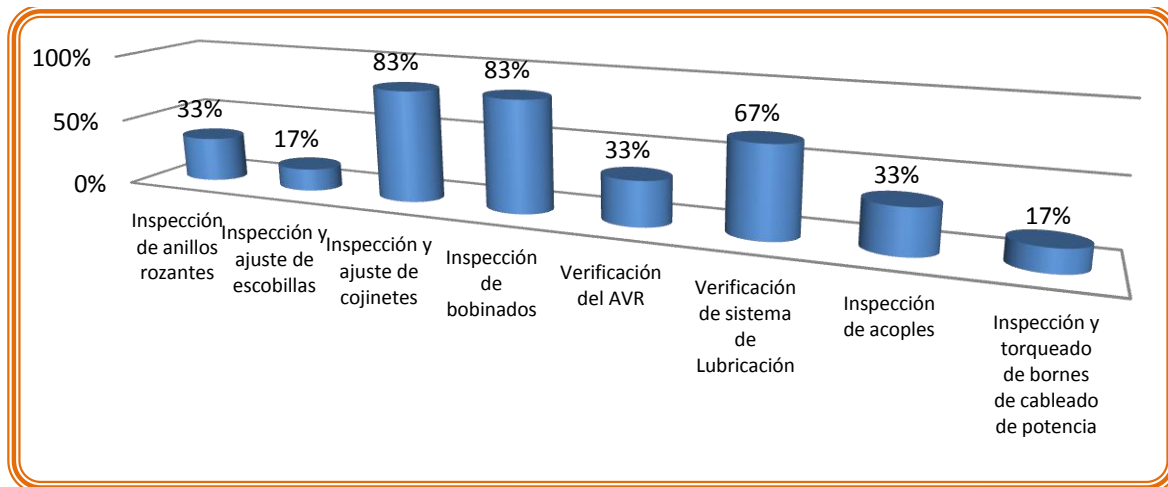
**Gráfica #85. Elementos del rotor a los que se les da mantenimiento preventivo según entrevistados de cada planta**



Opiniones sobre el mantenimiento preventivo de cada uno de los elementos del rotor según cada uno de los entrevistados

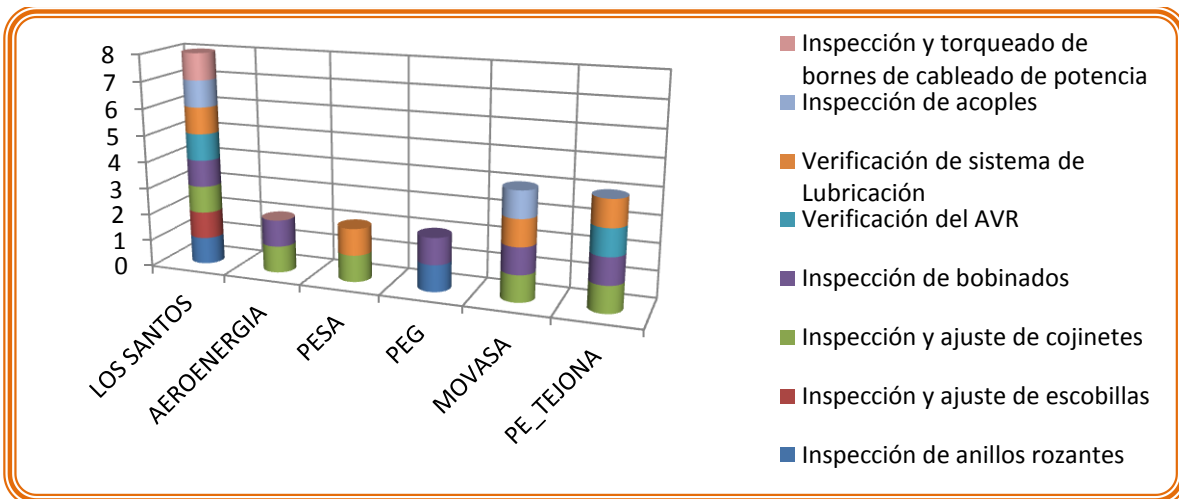
**Generador:**

**Gráfica #86. Opinión sobre elementos del Generador a los cuales se les da mantenimiento preventivo**



El 83% de los entrevistados opinó que se da la inspección preventiva de cojinetes y bobinados en los generadores, un 67% sobre la verificación de su lubricación, un 33% sobre los anillos rozantes, acoples y AVR, y un 17% sobre las escobillas y el socado de los tornillos de los bornes de potencia.

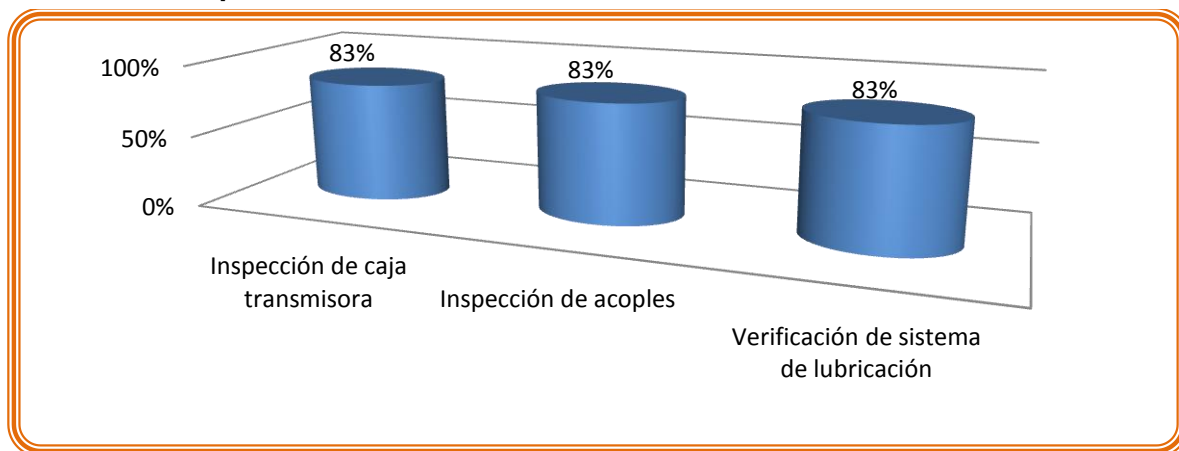
**Gráfica #87. Mantenimiento preventivo de los elementos del generador según entrevistados de cada planta**



Opiniones favorables sobre el mantenimiento de los elementos de los generadores de las plantas eólicas instaladas, en este caso en la planta Los Santos se da el preventivo a todos los elementos del generador en contraposición no opinó respecto del mantenimiento correctivo que se debe dar a este.

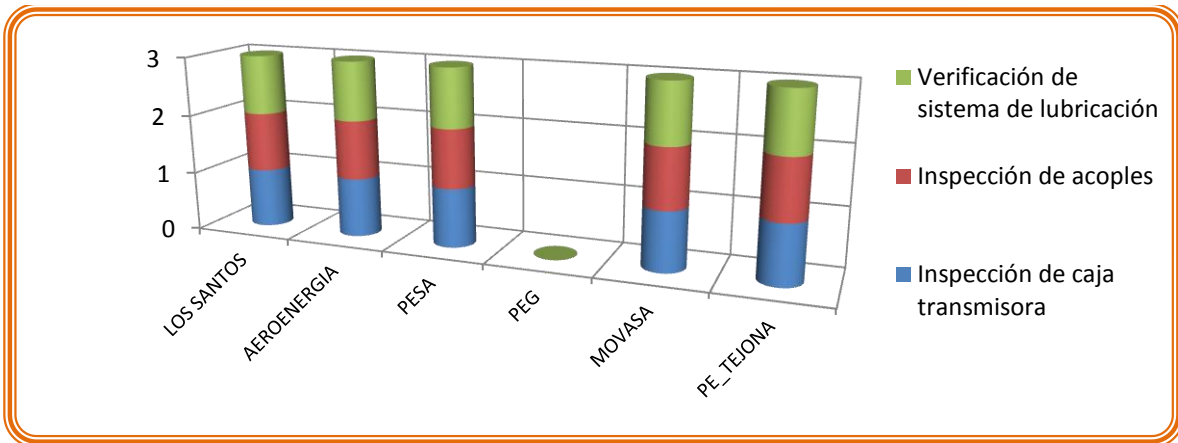
**Transmisiones:**

**Gráfica #88. Opinión sobre elementos de la transmisión a los cuales se les da mantenimiento preventivo**



El 83% de los entrevistados opinó que se da mantenimiento preventivo a las transmisiones mecánicas en todas sus partes.

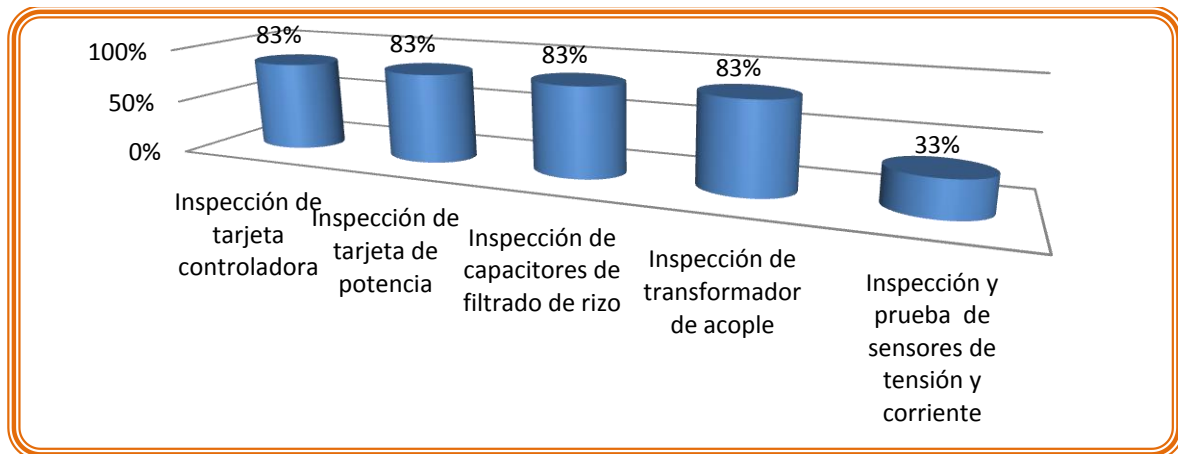
**Gráfica #89. Elementos de la transmisión que se les da mantenimiento preventivo en cada planta**



Se observa que en el caso del representante de PEG no dio ninguna opinión sobre el mantenimiento preventivo de las transmisiones mecánicas, esto se debe a que en el caso del parque eólico de PEG, ninguna turbina utiliza caja de transmisión mecánica, ya que utiliza un generador multipolo cuyo eje de rotor se acopla directamente.

### Inversor y elementos de electrónica de potencia:

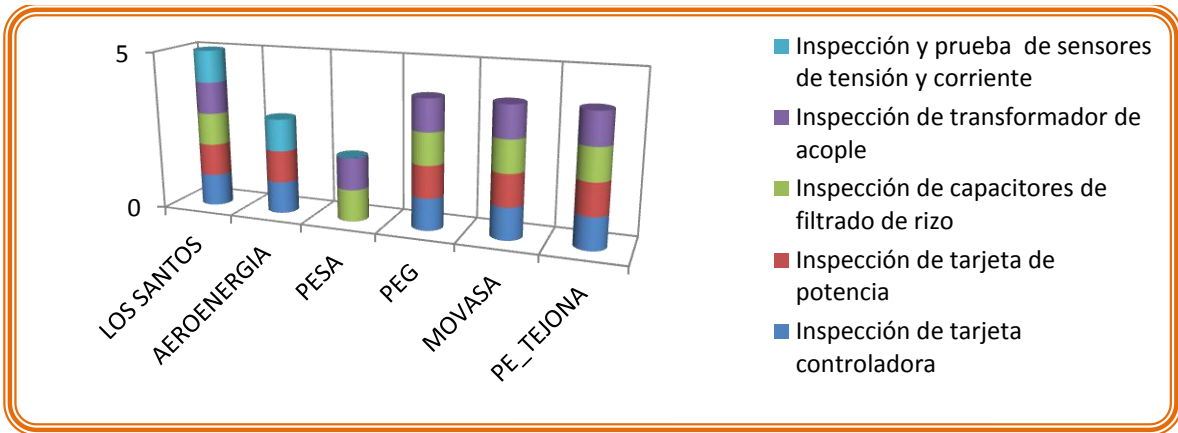
**Gráfica #90. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados a la electrónica de potencia**



El 83% de los entrevistados menciona la importancia del mantenimiento preventivo de los elementos asociados con la electrónica de potencia que poseen las turbinas, aunque en la práctica este tipo de mantenimiento sobre el sistema eléctrico y electrónico es mínimo en comparación con el mismo mantenimiento sobre los sistemas mecánicos.



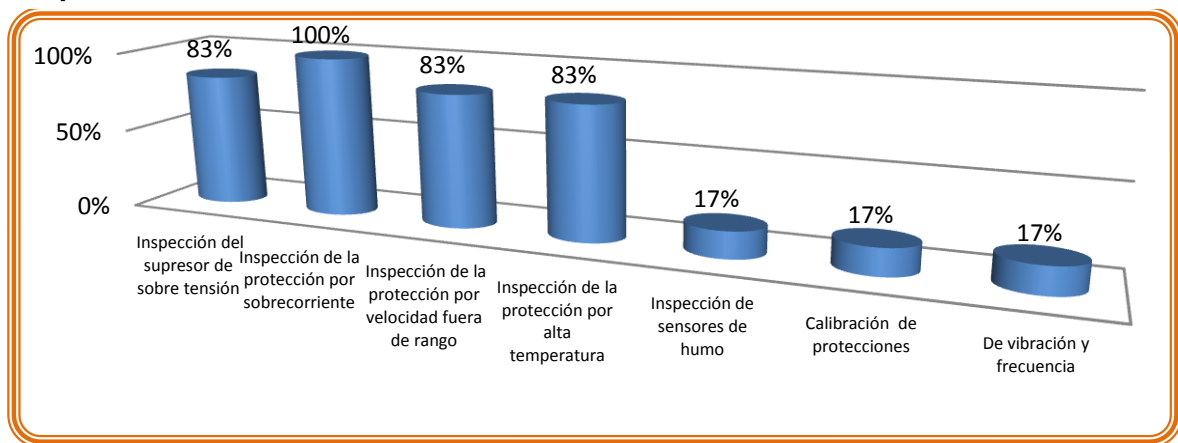
**Gráfica #91. Intervención preventiva de elementos electrónicos por planta**



Según el entrevistado de la planta los Santos todos los elementos que se mencionan y que estén relacionados con la electrónica, es importantes darles mantenimiento preventivo, opiniones similares dieron los representantes de PEG, MOVASA y TEJONA, en este caso se debe de hacer la observación que no todos los elementos electrónicos son sujetos de mantenimiento preventivo, cuando fallan se deben de reemplazar, lo que implica un mantenimiento correctivo.

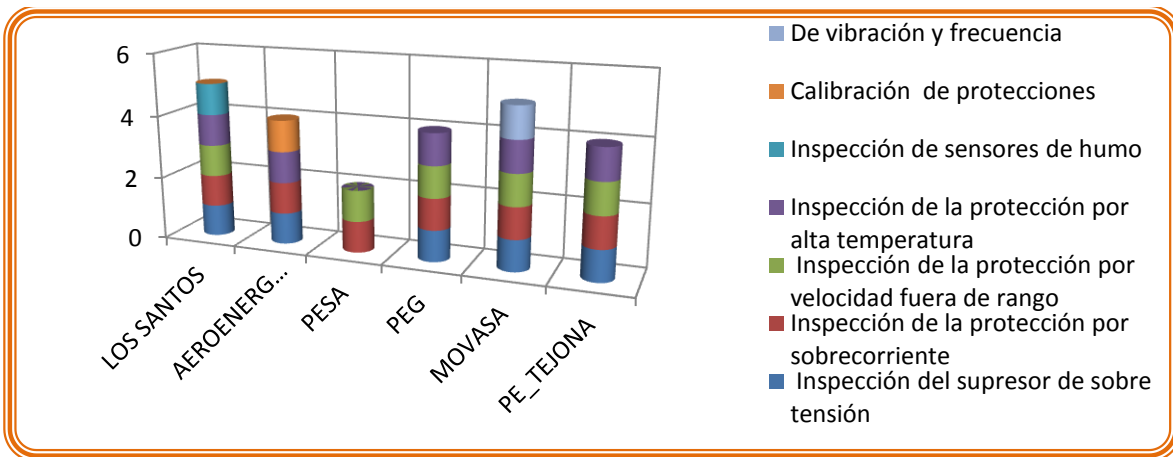
**Protecciones:**

**Gráfica #92. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con las protecciones de una turbina**



Más del 85% de los entrevistados mencionó que se da mantenimiento preventivo a todas las protecciones de una turbina, pero también mencionan temas sobre la calibración de protecciones y protección por vibración.

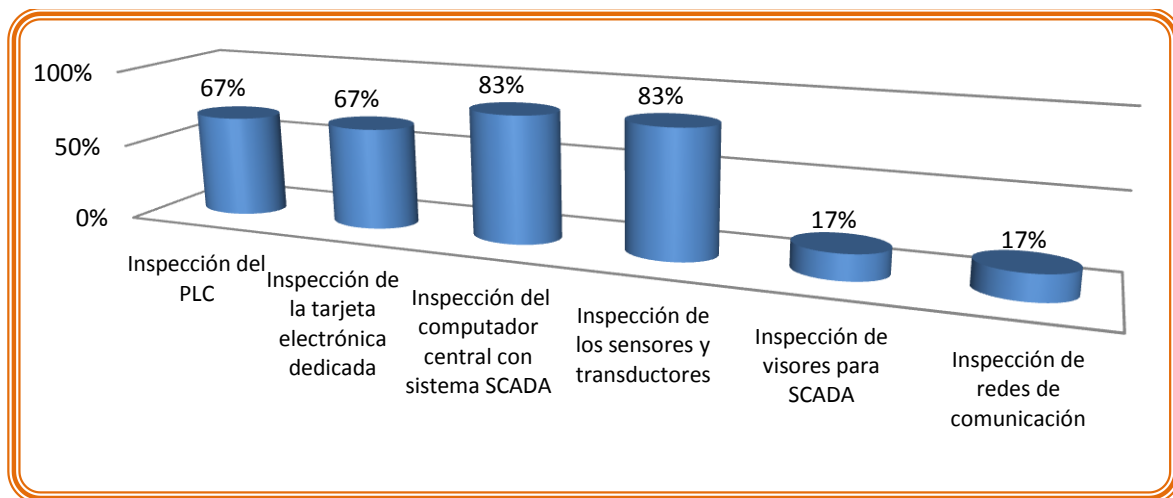
**Gráfica #93. Mantenimiento preventivo de elementos asociados con la protección de la turbina según entrevistados de cada planta**



La mayoría opinó sobre el mantenimiento preventivo de los elementos asociados a las protecciones de una turbina eólica, sin embargo no todos son sujetos de este tipo de mantenimiento, algunas protecciones, cuando fallan, solo se les da mantenimiento correctivo.

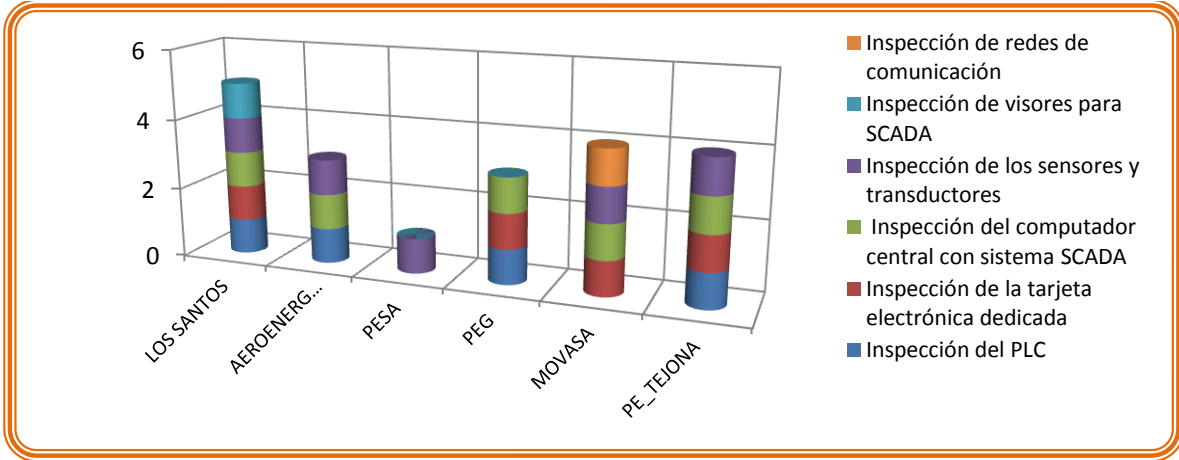
**Control centralizado:**

**Gráfica #94. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con el control centralizado en una turbina**



En este caso más del 85% de los entrevistados apunta que se da mantenimiento preventivo a los elementos asociados con el control central de la turbina, principalmente el 83% opina de los temas de SCADA y Transductores.

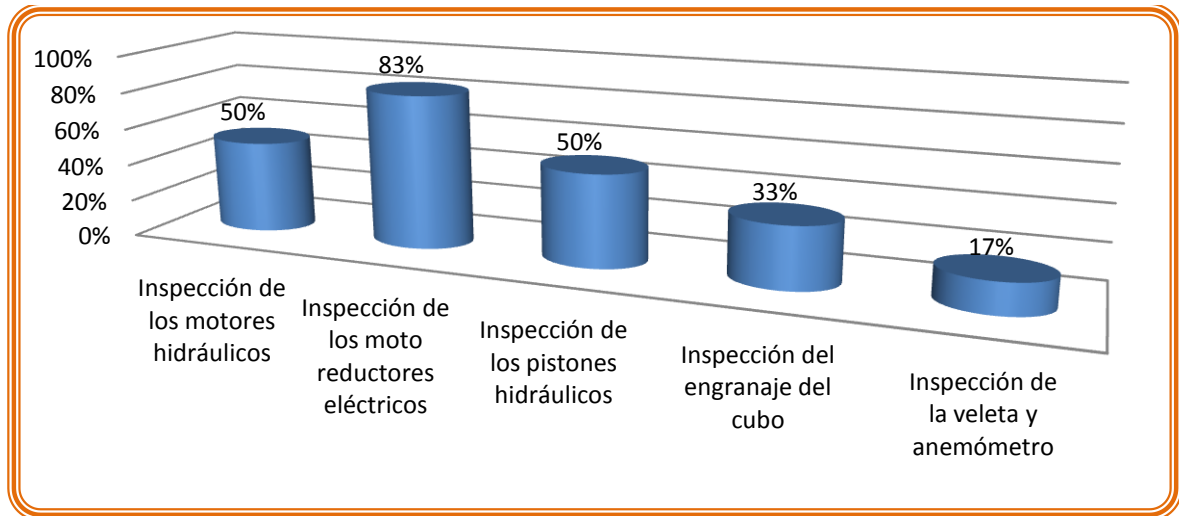
**Gráfica #95. Mantenimiento preventivo de elementos relacionados con el control de una turbina según entrevistados de cada planta**



De acuerdo a la opinión externada por el representante de los Santos se da el mantenimiento preventivo de todos los elementos asociados con el control general de una turbina, opiniones parecidas tienen los representantes de Tejona, MOVASA y PEG.

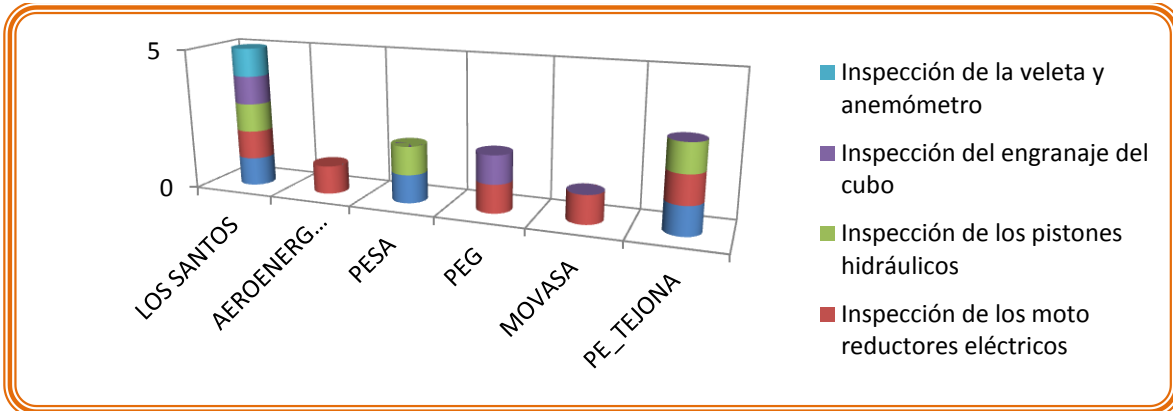
**Sistema orientador:**

**Gráfica #96. Opinión del mantenimiento preventivo sobre elementos asociados con el sistema orientador**



El 83% de los entrevistados opinó que se da mantenimiento preventivo a los motoreductores eléctricos, un 50% a los motores y pistones hidráulicos y un 33% a los engranajes del cubo.

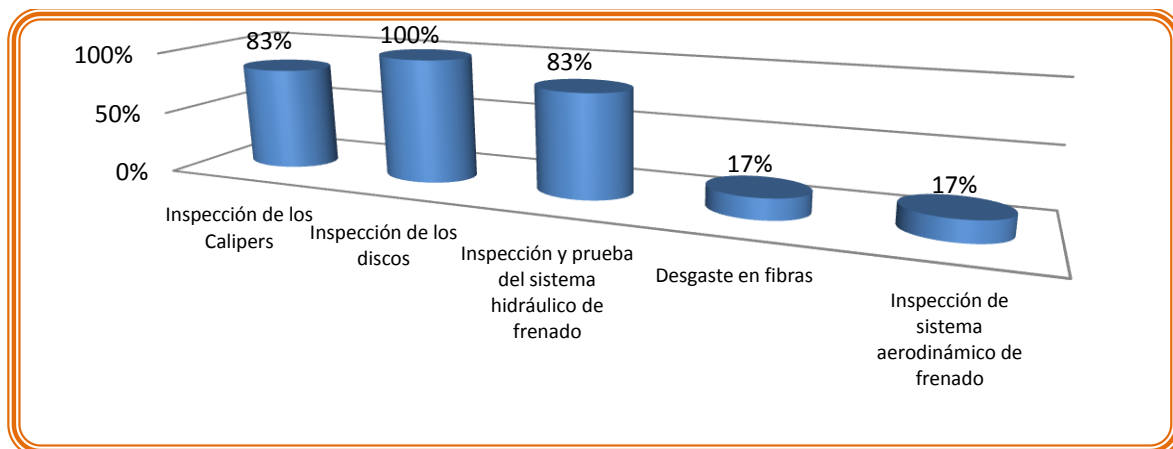
**Gráfica #97. Mantenimiento preventivo de los elementos orientadores según entrevistados de cada planta**



Una vez más el representante de los Santos da opina que se da mantenimiento preventivo a todos los elementos del sistema orientados seguido por el representante de Tejona.

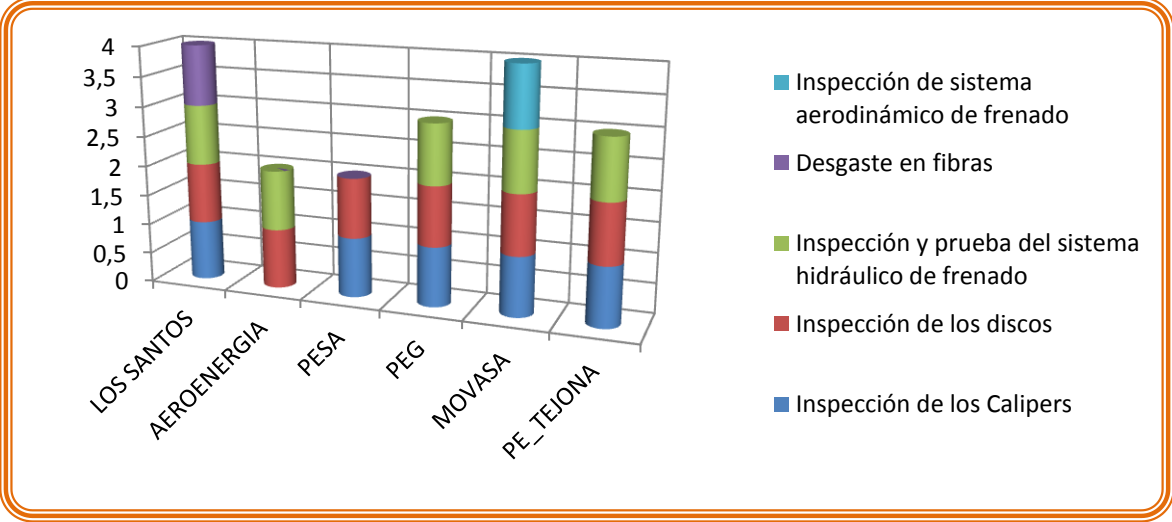
### Sistema de frenado:

**Gráfica #98. Opinión del mantenimiento preventivo sobre Elementos asociados al sistema de frenado**



El 83% de los entrevistados opinan que tanto a los calipers como el sistema hidráulico de frenado se le da mantenimiento preventivo, un 100% a la inspección preventiva de los discos y un 17% a las fibras y al sistema aerodinámico de frenado.

**Gráfica #99. Mantenimiento preventivo de los elementos de frenado según entrevistados de cada planta**



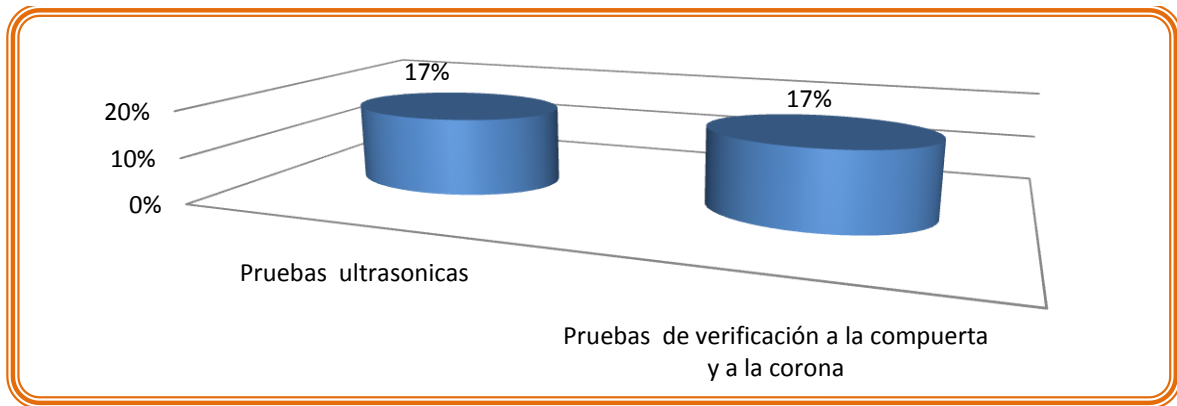
Una gran mayoría opina que se da mantenimiento preventivo a todos los elementos que constituyen el sistema de frenado principalmente, los representantes de los Santos y MOVASA.

### 4.3.3. Mantenimiento Predictivo.

Entiéndase como mantenimiento predictivo toda aquella acción de mantenimiento que monitorea algunos parámetros físicos de un objeto, se comparan con los valores iniciales y haciendo uso de procedimientos estadísticos se toman decisiones sobre su mantenimiento preventivo. Es común que el monitoreo es realizado ejecutando pruebas y mediciones de estos parámetros.

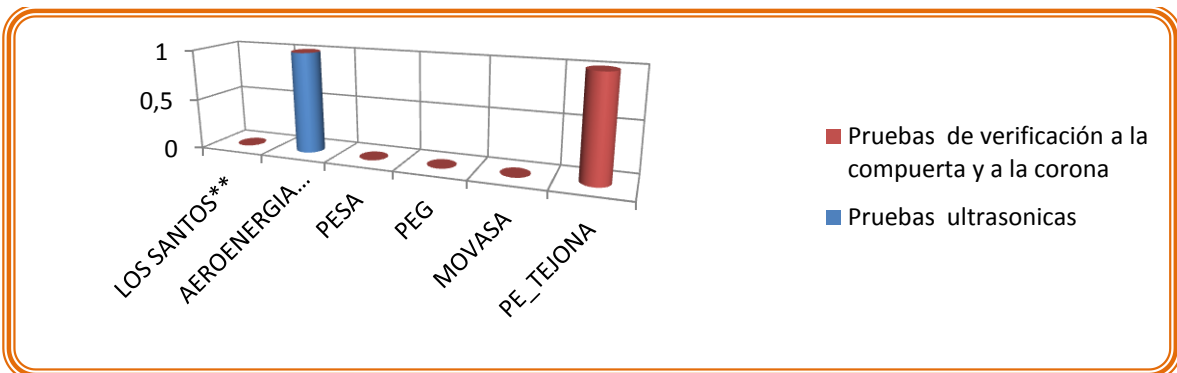
#### Torres:

**Gráfica #100. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo que se realiza a las torres**



Entre las pocas pruebas para mantenimiento predictivo que se realiza a las torres en algunas plantas eólicas, están las ultrasónicas.

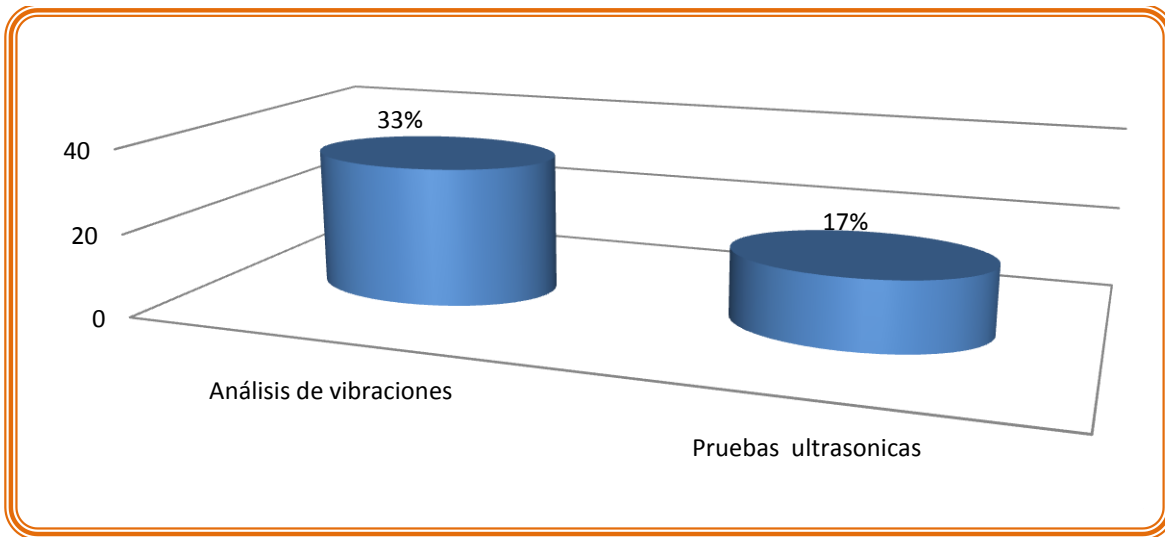
**Gráfica #101. Mantenimientos predictivo a las torres según entrevistados de cada planta**



Parques eólicos en las que se realizan algunas pruebas consideradas como de mantenimiento predictivo.

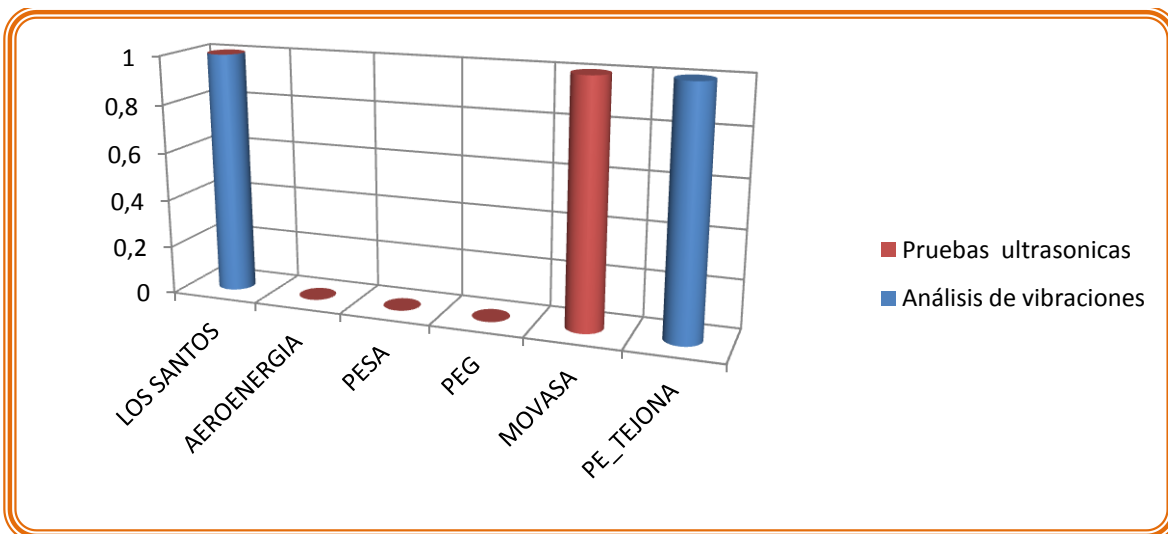
## Rotor:

**Gráfica #102. Opinión del tipo de mantenimiento predictivo que se realiza al rotor**



Apenas un poco más del 33% de las plantas aplican el mantenimiento predictivo a partes del rotor, en este caso las pruebas que se realizan son del tipo sónicas y de vibraciones.

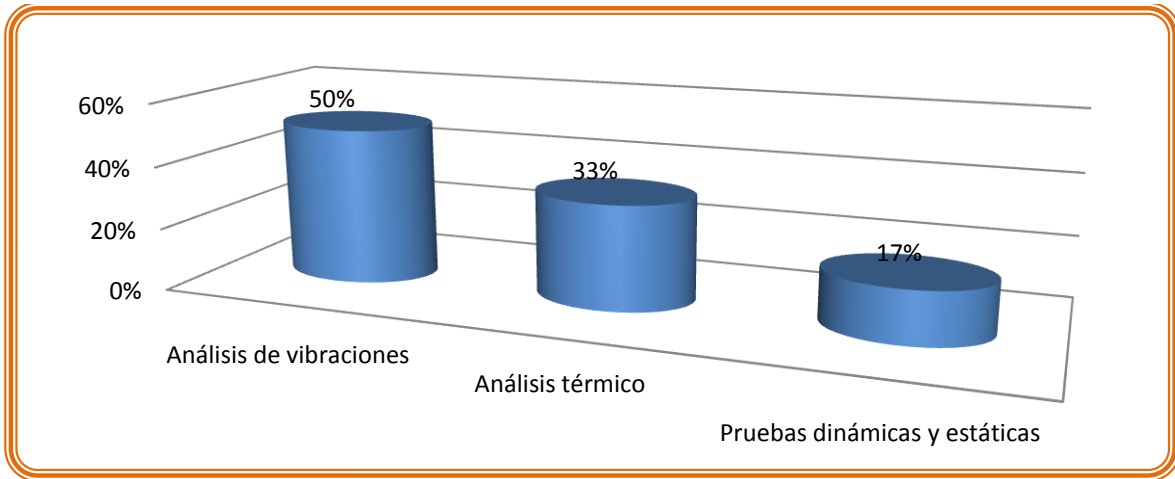
**Gráfica #103. Mantenimiento predictivo aplicado al rotor según entrevistados de cada planta**



Estas pruebas sónicas y de vibraciones a partes del rotor son aplicadas en los parques eólicos de los Santos, Movasa y Tejona.

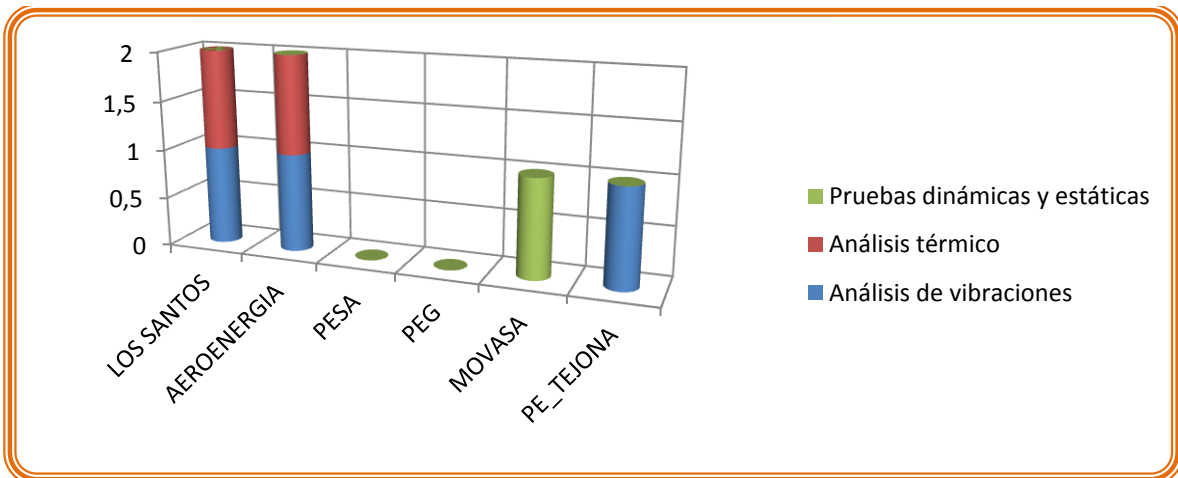
## Generador:

**Gráfica #104. Opinión sobre tipos de mantenimiento predictivo que se aplica al generador**



En el caso del generador el 50% de los entrevistados mencionó que se aplican pruebas para mantenimiento predictivo de vibraciones, mientras que un 33% realiza análisis térmicos de este dispositivo.

**Gráfica #105. Mantenimientos predictivos que se aplican al generador según entrevistados de cada planta**

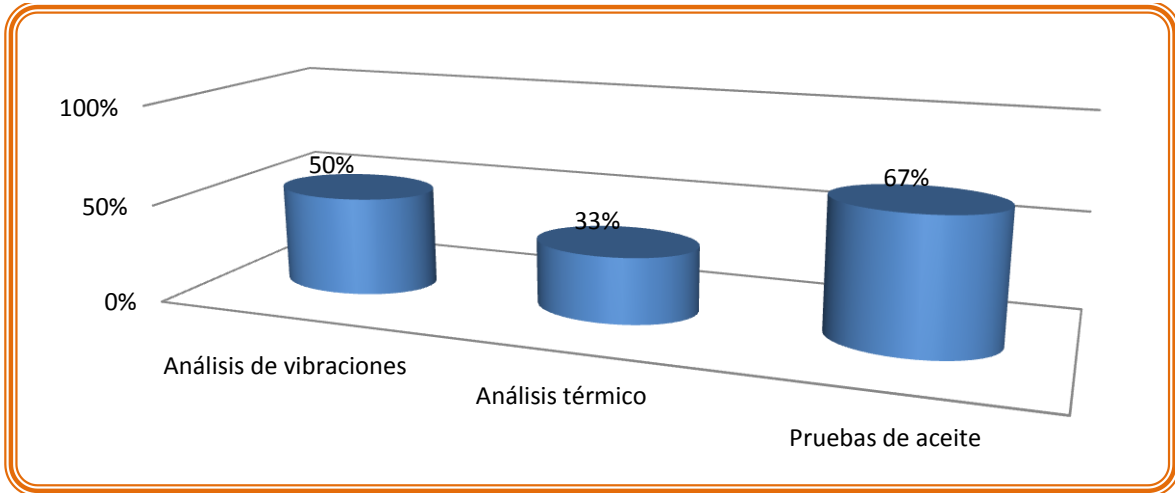


Tanto el representante de Los Santos como el de Aeroenergía dijeron aplicar análisis de vibraciones y térmicos a los generadores, en cambio el de Movasa mencionó que se realizan pruebas estáticas y dinámicas de este dispositivo, el resto de las plantas no aplican acciones predictivas al generador.



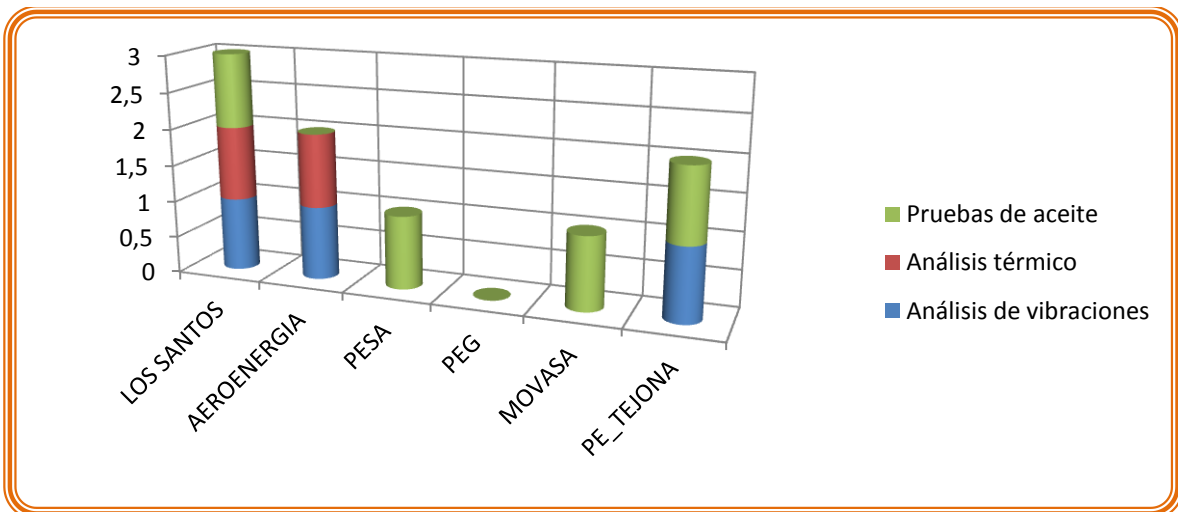
## Transmisiones:

**Gráfica #106. Opinión sobre tipos de mantenimiento predictivo que se realiza a la transmisión**



En la transmisión mecánica el 67% realiza pruebas de aceite, el 50% pruebas de vibraciones y un 33% son análisis térmicos.

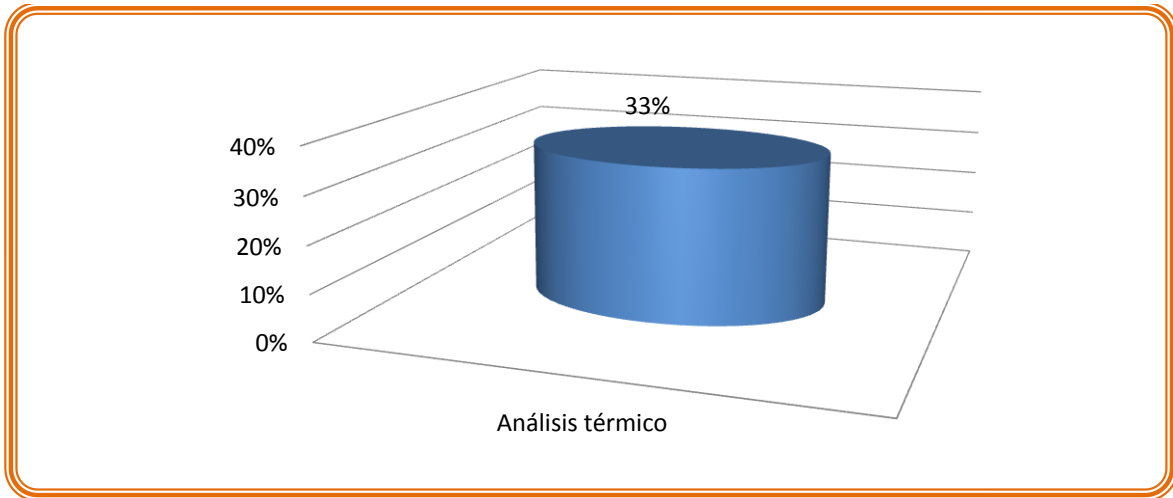
**Gráfica #107. Mantenimiento predictivo aplicados a la transmisión según entrevistados de cada planta**



Para la transmisión mecánica la mayoría de las plantas aplica alguna acción predictiva, excepto PEG que sus turbinas no tienen esta parte.

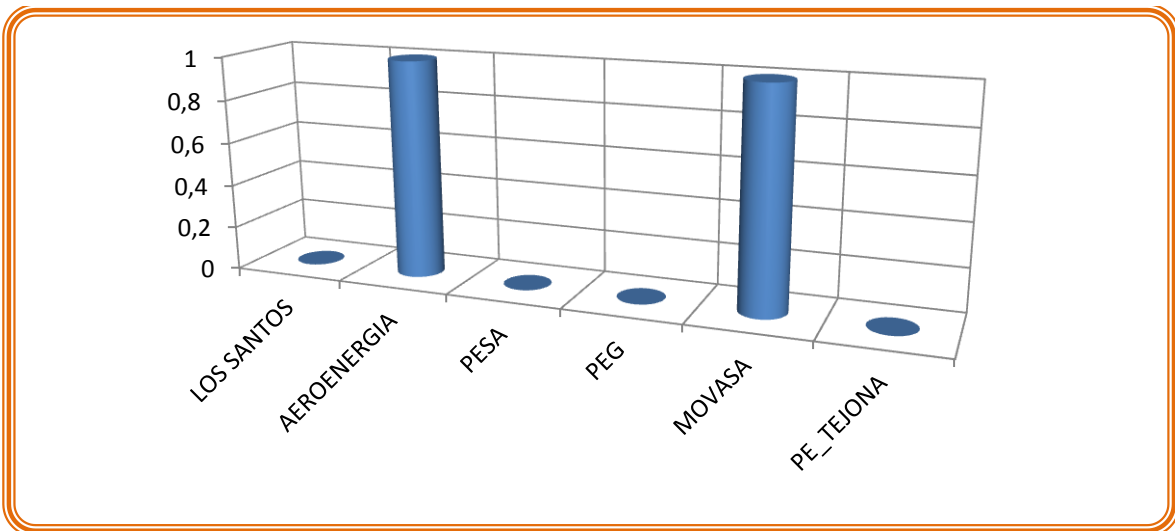
## Inversor y elementos electrónicos de potencia:

**Gráfica #108. Opinión sobre el tipo mantenimiento predictivo aplicado a los elementos de potencia electrónico**



Dos de las seis plantas eólicas realizan análisis térmico del historial de temperatura de los elementos de potencia electrónico.

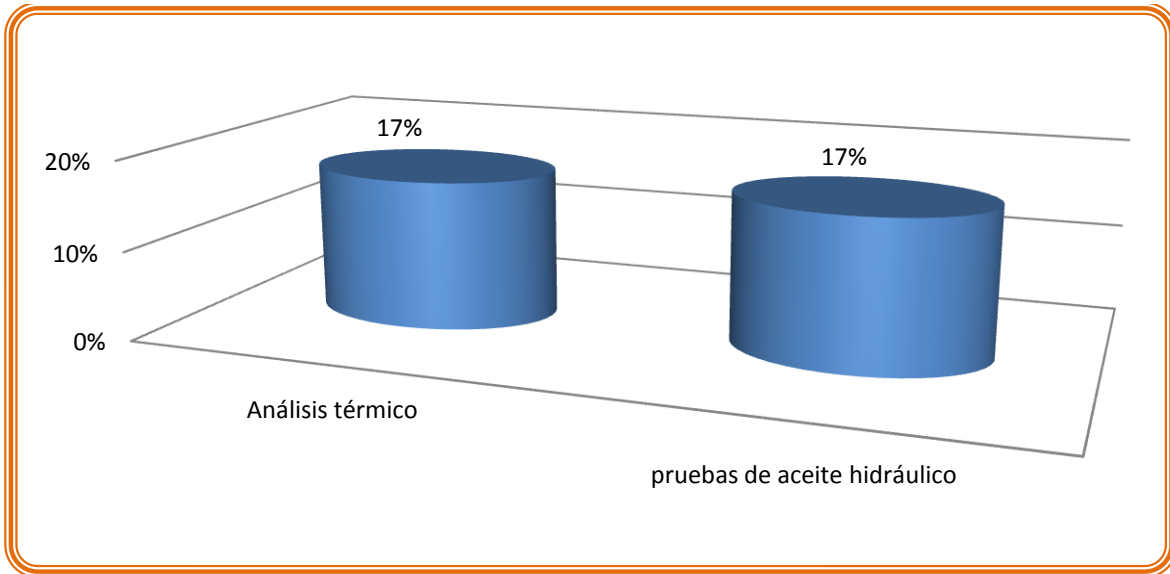
**Gráfica #109. Mantenimiento predictivo aplicado a los elementos de potencia según entrevistados de cada planta**



El análisis térmico de los elementos de potencia electrónico lo realizan en Aeroenergía, Movasa y en ninguna otra planta.

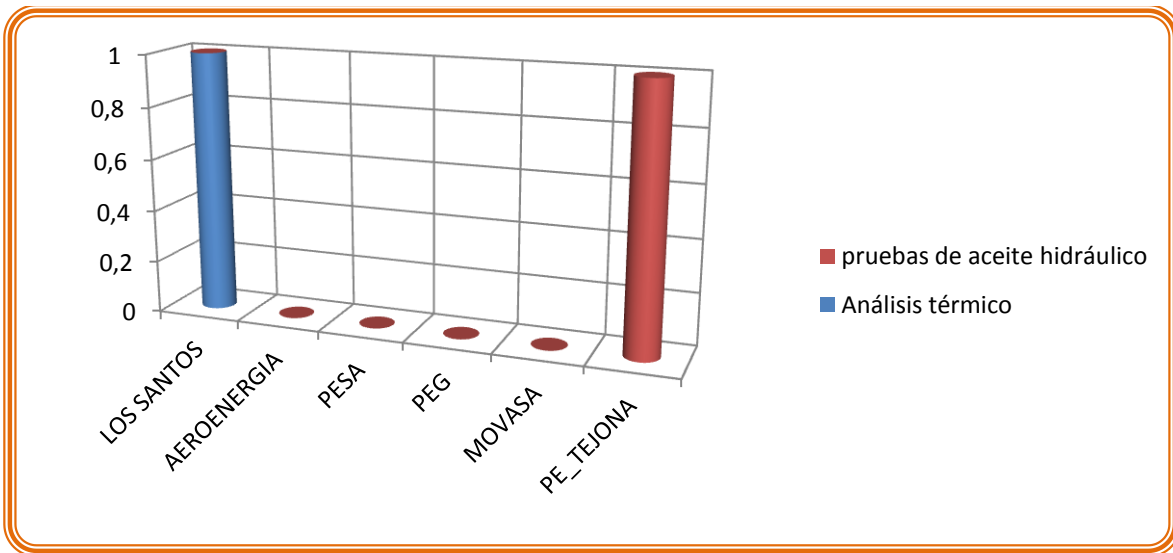
### Sistema de frenado:

Gráfica #110. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de frenado



Acciones predictivas de Análisis térmico y pruebas de aceite se realizan al sistema de frenado en un 17% de plantas eólicas instaladas.

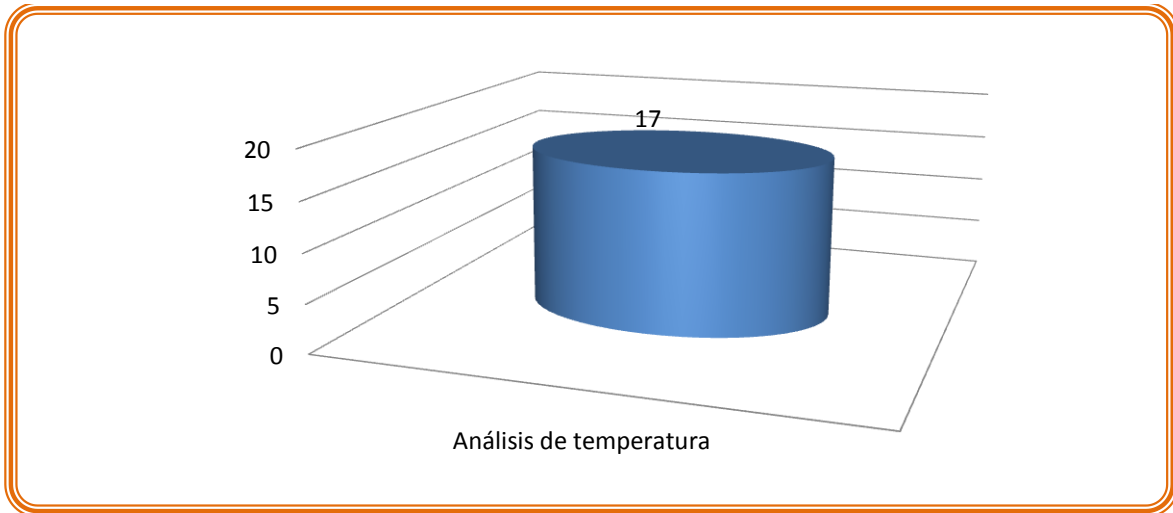
Gráfica #111. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de frenado según entrevistados de cada planta



Tanto Tejona y Los Santos aplican acciones predictivas de mantenimiento al sistema de frenado, en este caso análisis térmico y pruebas de aceite.

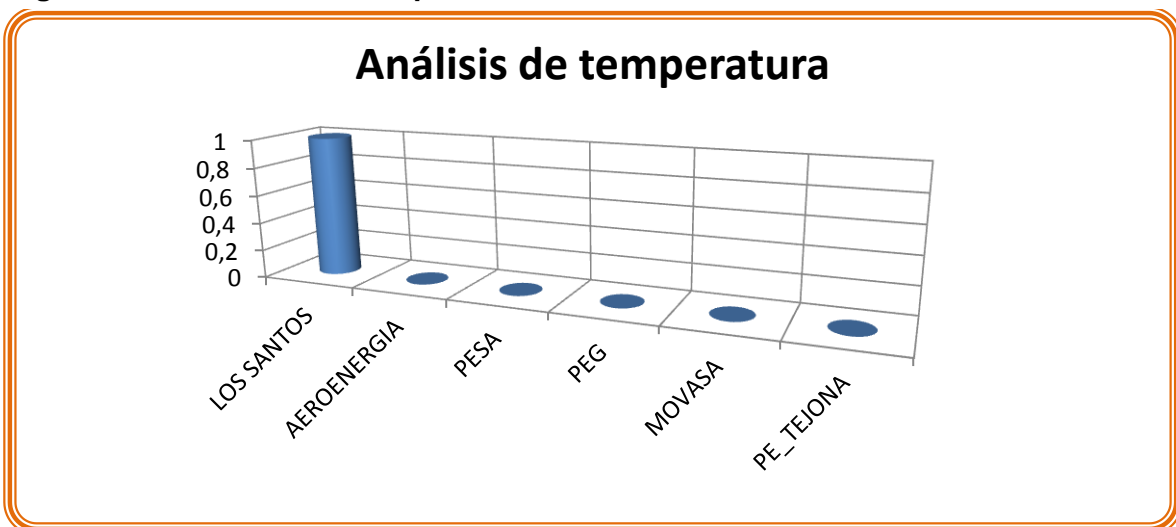
## Control centralizado:

**Gráfica #112. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de control central**



Solamente el 17% de los entrevistados mencionó aplicar la acción predictiva al sistema de control central, en este caso análisis de temperatura.

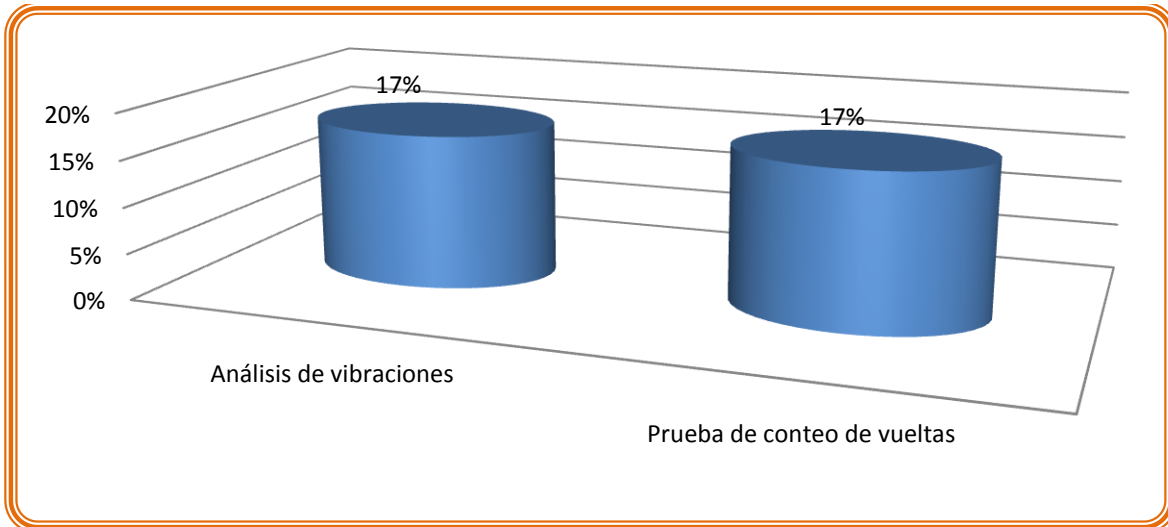
**Gráfica #113. Mantenimientos predictivo aplicado al sistema de control central según entrevistados de cada planta**



La única planta donde se vigila predictivamente la temperatura del sistema de control centralizado es en Los Santos.

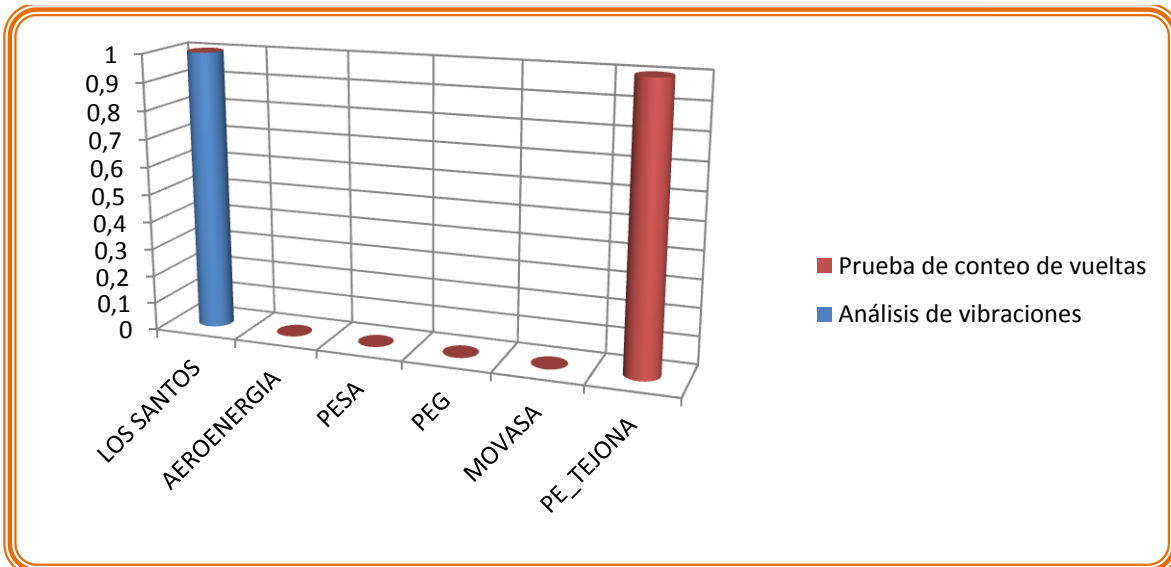
## Sistema orientador:

**Gráfica #114. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de orientación**



Para el sistema de orientación de las turbinas un 17% de los entrevistados indicó realizar estadísticas y análisis predictivos de vibraciones y conteo de vueltas de la corona.

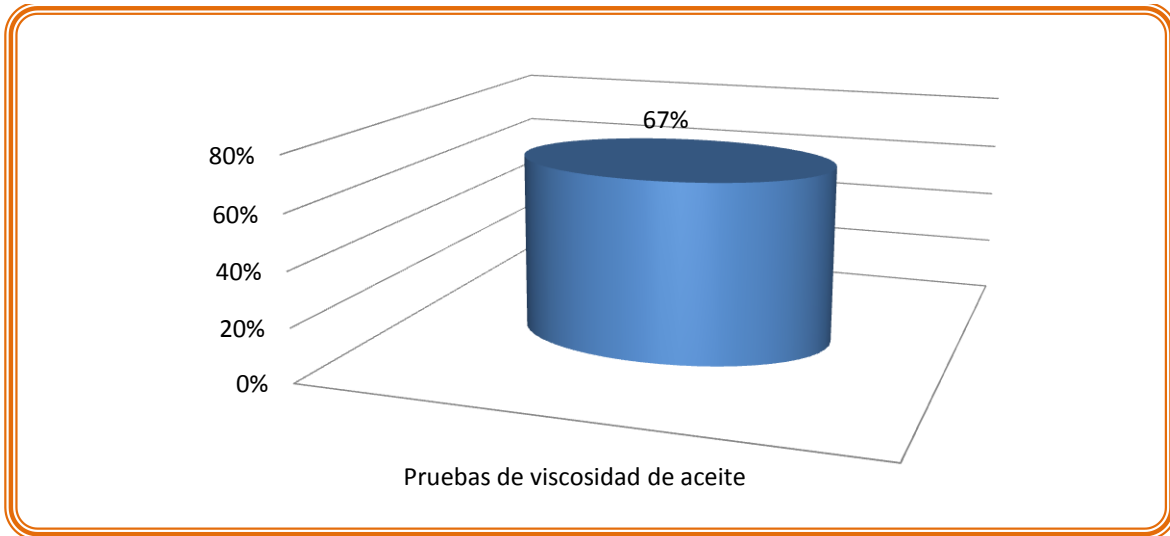
**Gráfica #115. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de orientación según los entrevistados de cada planta**



Las acciones mencionadas son aplicadas por Los Santos y Tejona, no así en las demás plantas.

## Sistemas de lubricación:

**Gráfica #116. Opinión sobre el tipo de mantenimiento predictivo aplicado al sistema de lubricación**



Finalmente en el sistema de lubricación el 67% de las empresas realizan pruebas de viscosidad a los aceites de estos sistemas.

**Gráfica #117. Mantenimiento predictivo aplicado al sistema de lubricación según entrevistados de cada planta**



En este caso tanto el representante de Aeroenergía como el de PEG no opinaron al respecto

#### **4.3.4. Resumen de los resultados más importantes en cuanto a los tipos de mantenimiento aplicados en los sistemas y subsistemas de las turbinas instaladas en los distintos parques eólicos**

##### **4.3.4.1. Resumen sobre mantenimiento Correctivo**

1. El 100% de los entrevistados mencionó que se da mantenimiento correctivo a los tornillos de soporte, El 83% a la pintura, si así lo requieren, no significa que fallen a menudo.
2. Al igual que en una torre se busca dar mantenimiento correctivo a la pintura, estructura y a los tornillos si así lo requieren, no significa que estas partes siempre fallen, si no de atenderlo prontamente si es necesario. En este caso el 83% mencionó que se le da mantenimiento a la pintura, el 100% tanto a estructura de soporte como a los tornillos.
3. Se ve claramente que casi en un 100% de las plantas se da mantenimiento correctivo a todos los elementos del rotor cuando así lo requieren.
4. En los generadores un 67% de los entrevistados indicó que se da mantenimiento correctivo a los cojinetes, bobinados y a los acoples cuando así lo requieran, mientras el 50% indicó que se aplica esta acción al sistema de lubricación.
5. Todos entrevistados de las plantas que tienen turbinas con cajas de transmisión se pronunció positivamente por el mantenimiento correctivo de los elementos asociados a esta, sin embargo algunos dijeron que en el país no existen los materiales para dar correctamente un mantenimiento correctivo a este tipo de elemento y en el caso del representante del ICE dijo que ellos han intentado darle mantenimiento fuera del país, pero que resulta muy caro y como consecuencia cuando una caja de transmisión se daña simplemente la desechan.
6. El 100% comentó favorablemente sobre el mantenimiento correctivo de los distintos elementos de electrónica utilizados en los controles e inversores de potencia, principalmente aquellos que tienen inversores electrónicos, sin embargo adujeron que se necesita capacitación de sus técnicos para que realicen esta labor.
7. La mayoría externó su opinión favorable sobre el mantenimiento correctivo de cada sistema y dispositivo que participa en la protección integral de la máquina, principalmente el 100% sobre las protecciones de velocidad y temperatura, por lo que

aquí algunos entrevistados externaron la necesidad de capacitación en los sensores electrónicos de dirección, velocidad, temperatura, vibración, corriente y tensión.

8. El 83% opinó sobre el mantenimiento correctivo de los sensores y transductores, un 67% por el PLC y el computador central. Entiéndase como control centralizado al elemento o sistema que lleva el control de toda la máquina, en este caso en la mayoría de las turbinas dígame el computador central, el PLC, tarjeta dedicada, sensores y transductores.
9. El 83% opina que se da mantenimiento correctivo a los motoredutores, un 50% a los pistones hidráulicos, mientras que un 33% a los motores hidráulicos.
10. El 100% de los entrevistados mencionó que se debe dar mantenimiento correctivo a los discos de frenado, el 83% a los calipers y en igual proporción al sistema hidráulico de frenado.

#### **4.3.4.2. Resumen sobre mantenimiento preventivo.**

1. Casi el 100% de los entrevistados que se da mantenimiento preventivo a todas las partes de una torre.
2. El 100% opinó que da mantenimiento preventivo a la estructura, pintura y tornillos de la góndola, un 17 % da mantenimiento a su estructura de fibra y a los cojinetes de la guiñada.
3. Más del 83% de los entrevistados opinó sobre la aplicación del mantenimiento preventivo a todos los elementos del rotor principalmente el 100% opinó sobre este tipo de intervención en las aspas, cubo, sistema de dirección y de lubricación.
4. El 83% de los entrevistados opinó que se da la inspección preventiva de cojinetes y bobinados en los generadores, un 67% sobre la verificación de su lubricación, un 33% sobre los anillos rozantes, acoples y AVR, y un 17% sobre las escobillas y el socado de los tornillos de los bornes de potencia.
5. El 83% de los entrevistados opinó que se da mantenimiento preventivo a las transmisiones mecánicas en todas sus partes.
6. El 83% de los entrevistados menciona la importancia del mantenimiento preventivo de los elementos asociados con la electrónica de potencia que poseen las turbinas, aunque en la práctica este tipo de mantenimiento sobre el sistema eléctrico y



electrónico es mínimo en comparación con el mismo mantenimiento sobre los sistemas mecánicos.

7. Más del 85% de los entrevistados mencionó que se da mantenimiento preventivo a todas las protecciones de una turbina, pero también mencionan temas sobre la calibración de protecciones y protección por vibración.
8. En este caso más del 85% de los entrevistados apunta que se da mantenimiento preventivo a los elementos asociados con el control central de la turbina, principalmente el 83% opina de los temas de SCADA y Transductores.
9. El 83% de los entrevistados opinó que se da mantenimiento preventivo a los motoredutores eléctricos, un 50% a los motores y pistones hidráulicos y un 33% a los engranajes del cubo.
10. El 83% de los entrevistados opinan que tanto a los calipers como el sistema hidráulico de frenado se le da mantenimiento preventivo, un 100% a la inspección preventiva de los discos y un 17% a las fibras y al sistema aerodinámico de frenado.

#### **4.3.4.3. Resumen sobre mantenimiento Predictivo.**

1. Entre las pocas pruebas para mantenimiento predictivo que se realiza a las torres en algunas plantas eólicas, están las ultrasónicas.
2. Apenas un poco más del 33% de las plantas aplican el mantenimiento predictivo a partes del rotor, en este caso las pruebas que se realizan son del tipo sónicas y de vibraciones.
3. En el caso del generador el 50% de los entrevistados mencionó que se aplican pruebas para mantenimiento predictivo de vibraciones, mientras que un 33% realiza análisis térmicos de este dispositivo.
4. En la transmisión mecánica el 67% realiza pruebas de aceite, el 50% pruebas de vibraciones y un 33% son análisis térmicos.
5. Dos de las seis plantas eólicas realizan análisis térmico del historial de temperatura de los elementos de potencia electrónico.
6. Acciones predictivas de Análisis térmico y pruebas de aceite se realizan al sistema de frenado en un 17% de plantas eólicas instaladas.
7. Solamente el 17% de los entrevistados mencionó aplicar la acción predictiva al sistema de control central, en este caso análisis de temperatura.

8. Para el sistema de orientación de las turbinas un 17% de los entrevistados indicó realizar estadísticas y análisis predictivos de vibraciones y conteo de vueltas de la corona.
9. Finalmente en el sistema de lubricación el 67% de las empresas realizan pruebas de viscosidad a los aceites de estos sistemas.

El mantenimiento en general de estas máquinas se divide claramente en dos tipos, mecánico y eléctrico, sin embargo gran parte de estas intervenciones correctiva, preventiva y el predictiva, es aplicado a la parte mecánica de los diferentes sistemas, el mantenimiento de los sistemas eléctricos se da pero es menos frecuente que el mecánico. En el caso del predictivo no es ejecutado por los técnicos de mantenimiento sino que es contratado y realizado por empresas que se dedican a esta actividad, ya que este tipo de intervención se basa en la realización de pruebas de vibración, termografía y otros que se catalogan como predictivo.

### **4.3.5. Descripción general de los procesos de mantenimiento en cada uno de los sistemas de una turbina eólica.**

Las actividades que se mencionan en cuanto al trabajo que realiza un operario en el mantenimiento de una turbina eólica están basadas tanto en la información dada por las empresas obtenidas en el instrumento de recolección de la datos, descrito en las páginas anteriores, como en el manual de mantenimiento de las turbinas eólicas Vestas V47 instaladas en la planta de generación de Tejona.

#### **4.3.5.1. Revisión de las condiciones de seguridad**

**Antes de cada mantenimiento se revisan las condiciones de seguridad**

- i. Se revisan que las condiciones meteorológicas del lugar que estén dentro de lo seguro.
- ii. Se revisa el estado de los equipos de seguridad, tanto el equipo personal como el equipo que está fijado a las estructuras de la turbina como se indica:
  - A. Dispositivos de protección contra caídas**
    - a. Revisar puntos de anclaje para el cable en la parte superior e inferior
    - b. Revisar cables, grilletes y seguros de grilletes
    - c. Revisar guías del cable en las escaleras
  - B. Equipo de seguridad y protección:**
    - a. Revisar los cinturones y arneses de acuerdo a los lineamientos de seguridad
    - b. Anotar el número de serie y márkelo "Ok" si está en buen estado.
    - c. Revisar las líneas de vida y los dispositivos de amortiguamiento de caídas de acuerdo a los lineamientos de seguridad
    - d. Revisar cascos de seguridad
    - e. Hacer un prueba funcional del seguro de grillete
- iii. Bloquear el rotor
- iv. Desconectar el control remoto
- v. Usar la protección auditiva
- vi. Activar los contactores

#### **4.3.5.2. Descripción actividades del mantenimiento eléctrico, tanto preventivo como correctivo**

##### **4.3.5.2.1 Actividades del proceso de mantenimiento correctivo:**

Según información recolectada en el instrumento diseñado para tal fin.

- Reparación o Sustitución de motores eléctricos.
- Reparación o Sustitución de generadores.
- Sustitución tornillos defectuosos de algún subsistema eléctrico.
- Sustitución PLC.
- Reinstalación de programa del PLC.
- Reparación o cambio de tarjeta de inversor.
- Reparación o cambio de tarjeta de tiristores de arranque inicial.
- Sustitución de contactor.
- Sustitución de sensores y transductores defectuosos.
- Sustitución de transformador de acople.

#### 4.3.5.2.2. Actividades del proceso de mantenimiento preventivo:

Según información recolectada en el instrumento diseñado para tal fin y en base al manual de mantenimiento de las Turbinas Vestas V47 instaladas en Tejona.

##### - Inspección de motores eléctricos.

Figura #1. Motor del sistema hidráulico de control proporcional de una turbina eólica



- a. Revisar los motores de las bombas de los sistemas hidráulicos
- b. Revisar los motoredutores de la guiñada
- c. Revisar los motores de ventilación

##### - Inspección de generadores.

Figura #2. Motor de inducción utilizado como generador



- a. Revisar los bornes de conexión
- b. Revisar cables en el punto de conexión

##### - Inspección de tarjeta de inversor.

Figura #3. Tarjeta electrónica de control del inversor de potencia



- a. Revisar visualmente tarjeta de potencia del inversor

##### - Inspección de tarjeta de tiristores de arranque inicial.

Figura #4. Módulo de control de arranque suave del motor. .generador



- a. Revisar visualmente que no exista calentamiento anormal en los módulos de tiristores

**- Revisión y calibración de sensores y transductores.**

Figura #5. Pánel de visualización y configuración del PLC



- a. Realizar esta actividad en conjunto con la revisión de las variables de seguridad utilizando el PLC

**- Inspección del cableado.**

Figura #6. Cableado de potencia conectado al generador



- a. Poner la turbina en pausa y desconectar la alimentación desactivando el breaker Q8 y esperar un minuto) (anual)
- b. Revisar los cables
- c. Revisar fajillas de los cables
- d. Revisar cables del sistema de aterrizaje

**- Inspección PLC.**

Figura #7. PLC de control maestro en una turbina



- a. Revisar que todo el cableado esté ordenado
- b. Revisar que esté protegido del polvo

**- Inspección de las variables de seguridad utilizando la información mostrada por el PLC**

Figura #8. Técnico configurando los parámetros en el PLC



- a. Registrar velocidad del viento
- b. Registrar temperatura ambiental
- c. Registrar temperatura del aceite
- d. Realizar prueba de todos los botones de paro de emergencia ubicados en:  
El eje principal, Plato de la guiñada, Controlador superior, Controlador inferior

- e. Realizar la prueba de frenado (se debe de aplicar los frenos cuando se oprime un botón de paro de emergencia sin importar el estatus del sistema eléctrico de emergencia)
- f. Realizar prueba de sistema de batería de respaldo (desconectar F32/Q16), Revisar que un minuto después entra en acción el freno
- g. Realizar prueba del sensor de vibraciones
- h. Realizar prueba del PTS5 en el controlador inferior
- i. Realizar prueba del PTS5 en el controlador superior
- j. Realizar prueba de desconexión del breaker Q8

**- Inspección del sistema de sensado de la guiñada**

Figura #9. Sensor de movimiento angular de la guiñada



- a. Guiñar la turbina a 90° del viento (anual)
- b. Bloquear el rotor (anual)
- c. Realizar prueba de paso negativo(anual) (Anotar valores de tensiones de transducción)
- d. Realizar prueba de paso positivo (anual) (Anotar valores de las tensiones de transducción)
- e. Medir las temperaturas del aceite hidráulico(anual) (Anotar las mediciones)
- f. Realizar la prueba de ajuste de desplazamiento positivo(anual). (Anotar valores)
- g. Realizar prueba de desplazamiento negativo (anual). Anotar valores
- h. Realizar prueba de flujo positivo (anual). Anotar valores
- i. Realizar prueba de flujo negativo (anual). Anotar valores
- j. Realizar prueba senoidal (anual)

**- Reajustes de contactores**

Figura #10. Relés/Contactores para el control de distintos elementos en la turbina



- a. Reajustar contactores desde el K601 al K604 (tipo LC1. DWK12)

- **.Finalización**

Figura #11 Batería de respaldo del PLC en un turbina



- a. Cambiar baterías (anual)
- b. Reiniciar contadores (anual)
- c. Modo VDF (anual)
- d. Activar control remoto (anual)
- e. Anotar la versión del software instalada (anual)
- f. Abandonar el modo de servicio, poner la turbina en modo RUN y dejarla en "OVERVIEW" (anual)



#### **4.3.5.3. Descripción de las actividades del mantenimiento mecánico tanto preventivo, correctivo y predictivo:**

En la cual dos de los énfasis que se dan son:

- a. Aplicación de valores de torques según el fabricante.
- b. Juego y desgaste de los rodamientos (Bujes, engranes, superficies de rodamientos).

##### **4.3.5.3.1. Actividades del proceso de mantenimiento Correctivo:**

Según información recolectada en el instrumento diseñado para tal fin.

- Reparación o Sustitución de aspas (Gran parte de las empresas subcontratan todo lo que son grúas).
- Sustitución de Cono.
- Sustitución de corona o guiñada.
- Reparación o Sustitución de Caja multiplicadora.
- Reparación o Sustitución de sistema hidráulico de frenado.
- Reparación o Sustitución de sistema hidráulico de control de pistón proporcional.
- Cambio de rodamientos en cono, caja multiplicadora, generador y motores.
- Reparación o sustitución de la pintura de la torre y la góndola.
- Reparación o sustitución de pintura de transformadores.

#### 4.3.5.3.2. Actividades del proceso de mantenimiento preventivo:

Según el manual de mantenimiento preventivo de las Turbinas Vestas V47 instaladas en la planta de generación de Tejona.

##### - Inspección de cono:

Figura #12. Cono frontal de una turbina eólica



- a. Revisar visualmente los pernos en conexiones de la fibra de vidrio (anual)
- b. Buscar grietas en el cono (anual)
- c. Revisar la soldadura en el soporte frontal del cono (semestral)

##### - Inspección de de aspas:

Figura #13. Aspas o paletas de una turbina de tripala



- a. Buscar grietas en las aspas (anual)
- b. Revisar los pernos de las aspas (cada 4 años)
- c. Revisar de los rodamientos de las aspas (cada 4 años)
- d. Tomar nota de la posición cualquier grieta que obedezca a las tipificadas según manual del Fabricante (anual)
- e. Revisar de cualquier marca de grietas ya existentes (anual)
- f. Anotar si el aspa ya ha sido reparada (anual)

##### - Inspección de cubo y rodamientos de las aspas

Figura #14. Interior y exterior del cubo que soporta las aspas



- a. Revisar los pernos existentes entre el rodamiento del aspa y el cubo según los procedimientos de mantenimiento para este elemento (cada 4 años)
- b. Revisar los sellos exteriores de los rodamientos de las aspas (anual)
- c. Revisar los sellos interiores de los rodamientos de las aspas (anual)
- d. Revisar movimientos de los rodamientos de las aspas (semestral)
- e. Realizar lubricación de rodamientos de las aspas (sin purga) (anual)

- f. Realizar lubricación de rodamientos de las aspas ajustadas a presión (con purga) (anual)
- g. Desmontar y montar los contenedores de grasa aplicando los procedimientos recomendados (semestral) (anual)
- h. Lubricar el buje frontal del casquillo transversal, así como el casquillo mismo(anual)

**- Inspección de bielas y brazos del sistema de paso:**

Figura #15. Brazos de la biela que controla el ángulo de las aspas



- a. Revisar que no exista ninguna grieta en el cono o en los pernos de montaje de este además revisar que el montaje esté correctamente ajustado antes de entrar en él.
- b. Revisar los pernos de las placas de sujeción
- c. Revisar los juegos de los rodamientos de los brazos transversales y bielas  
Anotar valor
- d. Revisar los juegos de los rodamientos entre manivelas y bielas  
Anotar valor
- e. Medir el juego entre el buje y el casquillo transversal  
Anotar valor
- f. Revisar capa de cromo en casquillo del brazo transversal
- g. Revisar la superficie deslizante del tubo de anti .rotación
- h. Revisar juego entre las zapatas deslizantes y el tubo
- i. Lubricar los rodamientos en las bielas
- j. Lubricar los rodamientos de las bielas en el transversal
- k. Lubricar tubo de anti .rotación
- l. Lubricar el casquillo del brazo transversal y del buje frontal

**- Inspección de corona o guiñada, lubricación de los engranes y verificación de tolerancias:**

Figura #16. Sección de la corona de rodamiento en la turbina



- a. Revisar el juego en los ejes de los piñones de la guiñada (Semestral)
- b. Revisar los sellos inferiores en busca de fugas (anual)

**- Inspección del sistema de rodamientos de la guiñada:**

Figura #17. Sección de la corona de rodamiento en la turbina



- a. Revisar los topes (piezas de bronce) para placas de deslizamiento radial (No exceder el torque máximo) (anual)
- b. Revisar los pernos para los topes para placas grandes de deslizamiento axial (No exceder el torque máximo) (anual)
- c. Revisar y ajustar el juego radial (anual)
- d. Revisar las placas de deslizamiento axial  
Verificar que la tolerancia no se exceda (anual)
- e. Ajustar el paquete de resortes (anual)
- f. Revisar el cable y la escalera de la góndola de acuerdo al procedimiento establecido (anual)
- g. Lubricar a través de los dos tubos en las placas deslizantes (anual)
- h. Lubricar la superficie deslizante de la parte alta de la guiñada con una capa muy delgada de grasa. (anual)
- i. Lubricar los engranajes de la guiñada con una brocha (anual)

**- Inspección del eje principal:**

Figura #18. Eje principal del rotor de una turbina eólica



- a. Revisión de los rodamientos principales
- b. Lubricar los rodamientos principales

**- Inspección de sistema de barra de reacción:**

Figura #19. Barra de reacción para la conexión mecánica de la caja de transmisión al eje del generador



- a. Inspeccionar visualmente la conexión entre la horquilla y el rodamiento
- b. Revisar el juego en los rodamientos de enlace y anotar los valores.
- c. Revisar los bujes espaciadores

**- Inspección de caja multiplicadora:**

Figura #20. Caja de transmisión multiplicadora para una turbina eólica



- a. Revisar el nivel de ruido (anual)
- b. Revisar el nivel de aceite (anual)
- c. Revisar fugas (anual)
- d. Revisar partículas metálicas en el aceite (anual)
- e. Extraer muestra de aceite (anual)
- f. Revisar pernos en las cubiertas de los rodamientos (anual)
- g. Lubricar y cambiar el aceite según el procedimiento establecido (anual)
- h. Cambiar el filtro del aceite (anual)

**- Inspección del sistema hidráulico de la transmisión:**

Figura #21. Sección exterior del pistón hidráulico de control del ángulo de paso de las aspas



- a. Cambiar el filtro del aceite (anual)
- b. Realizar inspección de fugas (anual)
- c. Revisar mangueras del enfriador de aceite (anual)

**- Inspección de sistema hidráulico de frenado:**

Figura #22. Vista de perfil de sistema de frenado de una turbina eólica



- a. Medir el espesor del revestimiento de las pastillas de los frenos
- b. Revisar los calipers de los frenos (anual)
- c. Revisar los discos de los frenos (anual)
- d. Purgar el sistema de frenos (anual)

- **Inspección de sistema hidráulico de control de pistón proporcional:**

Figura #23. Sistema hidráulico de control proporcional en una turbina eólica



- a. Revisar nivel de aceite (anual)
- b. Cambiar de aceite (anual)
- c. Cambiar de filtro (anual)
- d. Cambiar del filtro de aire (anual)
- e. Inspeccionar fugas (anual)
- f. Inspeccionar la bomba: (anual)  
Anotar la presión de arranque y paro de la bomba
- g. Inspeccionar y ajustar las válvulas de alivio (anual)  
Anotar valor de presión antes y después del ajuste
- h. Inspeccionar el manómetro digital y anotar valor de desviación (anual)
- i. Inspeccionar la presión de sobrecarga en el acumulador del sistema de paso (anual)  
Anotar el valor antes y después del ajuste
- j. Inspeccionar el valor de la presión del sistema de frenos (anual)  
Anotar la presión antes y después del ajuste
- k. Inspeccionar el valor de la presión del presostato del sistema de frenos (anual)  
Anotar la presión antes y después del ajuste
- l. Inspeccionar el valor de la presión del sistema de precarga del freno (anual)  
Anotar la presión antes y después del ajuste
- m. Inspeccionar el valor de la presión del presostato del sistema de precarga del freno(anual)  
Anotar la presión antes y después del ajuste

**- Inspección del sistema de paso de las aspas:**

Figura #24. Vista interna de la corredera del pistón hidráulico del control del ángulo de las aspas



- a. Se debe limpiar el aceite y la grasa en las placas protectoras del pistón del sistema de paso y lubricar nuevamente al finalizar el procedimiento listado
- b. Revisar la barra de paso en la caja de engranes (anual)

Revisar las tolerancias entre el casquillo del rodamiento de paso y la barra de paso y anotar el valor del juego (anual)

- c. Revisar los anillos guía de la caja del rodamiento de paso y anotar el valor (anual)
- d. Medir juego en el rodamiento plano en la barra del pistón del cilindro hidráulico y anotar el valor (anual)
- e. Medir el juego en el rodamiento plano de contacto angular del montaje del cilindro y revisar el alineamiento del cilindro hidráulico y anotar el valor (anual)
- f. Revisar si hay fugas en el cilindro hidráulico (anual)  
Verificar temperaturas según el ámbito establecido
- g. Revisar la barra del pistón para ver si hay daños (anual)
- h. Revisar tubos y mangueras para determinar la existencia de fugas (anual)
- i. Lubricar los anillos guía en la caja del rodamiento de paso y el riel de deslizamiento del dispositivo anti-rotación (anual)
- j. Lubricar el rodamiento de paso (anual)
- k. Lubricar el montaje del cilindro hidráulico (anual)

**- Inspección del generador y los motores:**

Figura #25. Motor/Generador de una turbina eólica Vestas



- a. Revisar los elementos de hule (anual)
- b. Revisar los rodamientos (anual)
- c. Lubricar los rodamientos frontal y trasero (anual)

**- Inspección la góndola:**

Figura #26. Góndola o Nacelle de una turbina eólica Vestas



- a. Inspeccionar visualmente pernos, accesorios y la cubierta de la góndola (anual)
- b. Revisar si existen grietas en los elementos de hule del amortiguador de vibraciones (anual)
- c. Revisar el mecanismo de cierre y las bisagras de la puerta trasera (anual)
- d. Revisar la cadena de seguridad en la puerta trasera (anual)
- e. Revisar el aislamiento de sonido (anual)
- f. Revisar el riel en la parte interior del techo (anual)
- g. Revisar el riel en la parte exterior del techo (anual)

**- Inspección de la torre:**

Figura #27. Torre de soporte de una turbina eólica Enercon E44



- a. Buscar grietas en la soldadura en el marco de la puerta (anual)
- b. Inspeccionar visualmente las escaleras y plataforma (anual)
- c. Revisar el tratamiento superficial (anual)
- d. Revisar los pernos de sujeción en la base (anual)

**- Inspección de transformador:**

Figura #28. Transformador de acople a la red distribución en el parque eólico de AEROENERGIA



- a. Inspeccionar la pintura



- **Inspección de la grúa:**

**Figura #29. Grúa para el alzado de cargas en la góndola de una turbina V650**



- a. Revisar el funcionamiento del freno
- b. Ajustar el freno conforme a procedimiento establecido
- c. Revisar el clutch deslizante con carga nominal conforme a procedimiento establecido
- d. a procedimiento establecido
- e. Revisar el desgaste en la cadena conforme a procedimiento establecido
- f. Revisar suspensión, bloqueo de la grúa y gancho de carga
- g. Revisar los cables de alimentación eléctrica
- h. Lubricación de la cadena de carga

**4.3.5.3.3. Actividades del proceso de mantenimiento predictivo**

Según información recolectada en el instrumento diseñado para tal fin.

En este tipo de mantenimiento se realizan pruebas que utilizan equipo especializado, pero que en general son pruebas subcontratadas a laboratorios dedicados exclusivamente a este campo.

- Pruebas de viscosidad de los aceites utilizado en los sistemas hidráulicos en la turbina.
- Pruebas y análisis de vibraciones normales y ultrasónicas de algunas partes de la turbina (caja de transmisión, rotor, generador, corona, turbina en general).
- Pruebas y análisis térmicos de las partes en que se produce fricción (rodamientos) y calor por efecto eléctrico (motores, generadores, cables).
- Pruebas estadísticas de funcionamiento de algunos transductores.

## 4.4. PROPUESTA DE CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DOCENTE.

### 4.4.1 Módulo: Mantenimiento de Sistemas Eólicos de generación eléctrica.

#### Presentación. \* [11]

Como resultado de la investigación del estado del arte de la tecnología eólica en el país, se determina la necesidad de capacitar en esta área eólica a los egresados del programa de Electromecánica para transferirles conocimiento en estos sistemas de generación eólicos. Ello implica un aspecto primordial: La capacitación del personal docente.

#### Perfil del (la) participante:

- Docente del Subsector Electricidad y Electrónica.
- Técnico en Electricidad, Electrotecnia, Electrónica o Electromecánica.
- Ingeniero Electricista, en Electrónica, en Electromecánica, o en Mantenimiento Industrial.

**Duración:** 60horas. (8 días hábiles a 7.5 horas por día)

#### Módulo: Mantenimiento de Sistemas Eólicos de generación eléctrica.

#### Objetivo General:

Proporcionar el conocimiento fundamental sobre el desarrollo, la aplicación y el mantenimiento de los sistemas de generación eólica en Costa Rica mediante la exposición de información y de conceptos asociados a la tecnología eólica, para que el participante complemente sus conocimientos en esta rama de la generación eléctrica.

Objetivo específico	Contenido	Duración (hrs.)
1. Ilustrar el entorno mundial y Nacional en el desarrollo y aplicación de la energía eólica	Oferta y Demanda energética global y local Energías Renovables y Sostenibles <ul style="list-style-type: none"><li>- Definiciones.</li><li>- Aplicaciones.</li><li>- Disponibilidad de recursos</li><li>- Producción global y nacional.</li><li>- Proyección futura. Concepto</li></ul>	2
2. Exponer los principios y aplicaciones de la energía eólica.	Energía eólica: <ul style="list-style-type: none"><li>- Historia antigua y reciente de los sistemas eólicos</li><li>- Principio general.</li><li>- Aplicaciones.</li><li>- Tipos de turbinas eólicas(Familias)</li><li>- Ventajas.</li><li>- Desventajas.</li><li>- Barreras para su desarrollo.</li></ul>	4

<b>Objetivo específico</b>	<b>Contenido</b>	<b>Duración (hrs.)</b>
3. Analizar el camino que sigue la energía solar para transformarse en recurso eólico disponible en una región.	<p>El recurso eólico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El Sol como fuente de energía.</li> </ul> <p>Conceptos y generalidades sobre el origen de la radiación solar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incidencia de la energía solar sobre la tierra</li> <li>- Transferencia de energía solar hacia las masas de gases atmosféricos.</li> <li>- Naturaleza de la energía eólica.</li> <li>- Energía cinética del viento .</li> <li>- Estimación de la disponibilidad del recurso eólico en Costa Rica.</li> </ul>	4
4. Analizar las fases de desarrollo de un proyecto eólico comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primera Fase : Preselección de un Sitio para una Planta Eólica eléctrica *[12]</li> <li>- Segunda Fase: Estudio de Prefactibilidad</li> <li>- Tercera Fase : Estudio de Factibilidad</li> <li>- Cuarta fase : Estudio de Impacto Ambiental</li> <li>- Quinta etapa : Proceso de Construcción: Tiempo y Condiciones Necesarios</li> <li>- Sexta etapa Operación y Mantenimiento: Capacitación del Personal</li> </ul>	8
5. Describir de manera general la constitución y el funcionamiento de los distintos tipos de sistemas eólicos.	<p>Sistemas de generación Eólicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas eólicos comerciales conectados a red: Constitución, funcionamiento, aplicaciones, ventajas y desventajas.</li> <li>- Pequeños sistemas eólicos conectados a red con posibilidad de respaldo</li> <li>- Pequeños sistemas eólicos híbridos (Eólico. .FV, Eólico. .micro hidro, otros)</li> </ul>	4
6. Explicar el principio de funcionamiento de una turbina eólica comercial perteneciente a un parque eólico.	<p>Generación de energía eléctrica a partir del viento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El rotor</li> <li>- El tren de potencia.</li> <li>- La caja multiplicadora</li> <li>Tipos</li> <li>- El generador</li> <li>Tipos</li> <li>- Tipos de acople de la potencia generada al sistema interconectados(directo. .transformador, inversor. .transformador)</li> <li>- Subsistemas de una turbina <ul style="list-style-type: none"> <li>Hidráulica de control proporcional</li> <li>Pistón hidráulico de control del ángulo de aspas</li> <li>Sistema de control de posicionamiento al viento de la Turbina.</li> <li>Sistemas de electrónico de arranque motorizado de la turbina.</li> <li>Sensores y transductores de velocidad, avance Angular, Temperatura, vibración, tensión, corriente, Control con PLC maestro. .esclavo en una turbina</li> <li>Control centralizado de un parque eólico</li> </ul> </li> </ul>	6

Objetivo específico	Contenido	Duración (hrs.)
7. Exponer los tipos de mantenimiento aplicados a los sistemas y subsistemas de turbinas eólicas comerciales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de mantenimiento               <ul style="list-style-type: none"> <li>Correctivo</li> <li>Preventivo</li> <li>Predictivo</li> </ul> </li> <li>- Aplicación de los tipos de mantenimiento a los distintos sistemas y subsistemas de turbinas comerciales               <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas y subsistemas mecánicos                   <ul style="list-style-type: none"> <li>Rodamientos</li> <li>Cajas de transmisión multiplicadoras</li> <li>Ejes de transmisión de potencia mecánica</li> <li>Motoreductores hidráulicos y eléctricos</li> <li>Engranajes</li> <li>Estructuras</li> <li>Sistemas de lubricación</li> <li>Sistemas hidráulicos</li> <li>Pistón de control proporcional</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Sistemas y subsistemas eléctricos/electrónicos               <ul style="list-style-type: none"> <li>Motores</li> <li>Generadores</li> <li>Bombas hidráulicas</li> <li>Mini gruas</li> <li>Sensores y transductores</li> <li>Sistemas de control con PLC</li> <li>Tarjetas electrónicas para la administración de potencia eléctrica</li> <li>Cableado de potencia</li> <li>Relés auxiliares y contactor de bypass</li> </ul> </li> </ul>	12
8. Realizar un trabajo de campo en dos plantas eólicas con turbinas diferentes en relación a sus tecnologías y roles de mantenimiento.	<p>Visita a dos plantas de generación eólica con diferentes tecnologías de turbina.</p> <p>Formato de presentación del trabajo de campo(Plantilla)</p> <p>Establecimiento del plan para realizar el trabajo de campo en las dos plantas a visitar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anotación de las características de la ubicación de la planta eólica y la posición de las turbinas en el parque           <ul style="list-style-type: none"> <li>Clima</li> <li>Altura sobre el nivel del mar</li> <li>Intervalo de tiempo anual cuando hay más viento</li> <li>Intervalo de tiempo anual cuando no hay viento</li> <li>Si hay bosque o no</li> <li>Accesibilidad a la planta(Vías por las que se puede llegar)</li> <li>Tipo de relieve</li> <li>Posición geométrica de las turbinas respecto al relieve</li> <li>Dirección de la turbina en el momento de la visita</li> <li>Distancia entre turbinas, la menor y la mayor</li> <li>Disposición de la casa de máquinas</li> </ul> </li> </ul>	20

Objetivo específico	Contenido	Duración (hrs.)
8.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anotación de las características de las turbinas en cada planta: <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de torres</li> <li>Cantidad de aspas</li> <li>Forma del tren de Potencia</li> <li>Tipo de caja multiplicadora si la tiene</li> <li>Tipo de generador</li> <li>Tipo de motoreductores</li> <li>Tipo de sistema de control del ángulo de aspas</li> <li>Tipo de sistema de control del direccionamiento o posicionamiento de la turbina eólica</li> <li>Si tiene o no Inversor de potencia</li> <li>Tipo de transformador de acople a la red</li> </ul> </li> <li>- Anotación de los procedimientos de seguridad para realizar los tipos de mantenimiento en una turbina eólica <ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de las condiciones atmosféricas del lugar</li> <li>Revisión de equipos de seguridad personal y anclado en la estructura de la turbina</li> <li>Conexión y desconexión de las unidades</li> <li>Frenado del rotor</li> <li>Coordinación con otros compañeros de labor</li> </ul> </li> <li>- Realización y entrega del informe del trabajo de campo</li> </ul>	

## 4.5. Referente de fabricantes de turbinas eólicas

### 4.5.1. Turbinas de fabricantes de grandes aerogeneradores

#### Turbinas Enercon \* [13]

Características técnicas de la turbina **Enercon E44/900**



Figura #30. Rotor de la turbina eólica Enercon E44

---

#### Datos generales

Área de barrido : 1520.5 m<sup>2</sup>

- 
- Densidad de potencia : 0.02 m<sup>2</sup>/kW
- Número de palas : 3
- Limitación de potencia : Pitch

#### Rotor

- Velocidad mínima del rotor : 12 vuelta/min
- Velocidad máxima del rotor : 34 vuelta/min
- Vitesse maximale de vent : 34 m/s
- Fabricante : Enercon

#### Torre

- Altura mínima de la góndola : 45 m
- Altura máxima de la góndola : 65 m
- Fabricante : SAM

#### Generador

- Tipo: SYNC. .RT
- Potencia nominal : 950 kW
- Voltaje : 400 VAC
- Frecuencia : 60 Hz
- Clase de protección: IP54
- Número de polos : 72
- Velocidad rotacional: 34 rpm
- Corriente nominal : 1371 A
- Factor de potencia : 1
- Factor de potencia resultante: 1
- Corriente resultante: 1371 A

## Turbinas Vestas \* [14]

### Características técnicas de la turbina Vestas V47/650



#### Datos generales

- Area de barrido: 1520.5 m<sup>2</sup>
- Densidad de potencia: 0.03 m<sup>2</sup>/kW
- Número de aspas: 3

Figura #31. Rotor de la turbina eólica Vestas V47

#### Peso

- Góndola: 20 tons
- Torre : 28 tons
- Rotor : 4,5 tons
- Total : 52,5 tons

#### Torre

- Altura mínima de la góndola : 40 m
- Diámetro 3m

#### Rotor

- V47. .660 kW
- Diámetro: 47 m 47 m
- Velocidad rotacional del rotor: 28.5 rpm 26/20 rpm

#### Generador

- Tipo: Asíncrono de deslizamiento variable
- Potencia nominal : 660 kW
- Voltaje : 690 VAC
- Frecuencia : 50 Hz
- Clase de protección: IP54
- Número de polos : 4
- Velocidad rotacional: 1515. .1650 rpm
- Corriente nominal : 628 A
- Factor de potencia : 0.88
- Factor de potencia resultante: 0.98
- Corriente resultante: 564 A

## Turbinas Aerogeneradores Canarios, S.A. \* [15]

### Características técnicas de la turbina ACSA – A27/225 KW



Figura #32. Turbina eólica ACSA – A27

#### Datos generales

- Area de barrido: 573 m<sup>2</sup>
- Densidad de potencia: 0.03 m<sup>2</sup>/kW
- Número de aspas: 3

#### Peso

- Góndola: 7,9 tons
- Torre : 12 tons
- Rotor : 2,8 tons
- Total : 17.7 tons

#### Torre

- Altura mínima de la góndola : 31,5 m
- Diámetro 3m

#### Rotor

- A27. .2250 kW
- Diámetro: 27m
- Velocidad rotational del rotor: 43 rpm 32/20 rpm

#### Generador

- Tipo: Asíncrono doblemente alimentado
- Potencia nominal : 225 kW
- Voltaje : 400 VAC
- Frecuencia : 60 Hz
- Clase de protección: IP54
- Número de polos : 6. .8
- Velocidad rotational: 1515. .1650 rpm
- Corriente nominal : 400 A
- Factor de potencia : 0.81
- Factor de potencia resultante: 0.94
- Corriente resultante: 564 A



## Turbinas Gamesa \* [16]

### Características técnicas de la turbina Gamesa G52. .850KW

---

#### Datos generales

##### #33. Turbina eólica

- Area de barrido: 2123 m<sup>2</sup>
- Densidad de potencia: 0.03 m<sup>2</sup>/kW
- Número de aspas: 3

#### Peso

- Góndola: 23 tons
- Torre : 12 tons
- Rotor : 90 tons
- Total : 125 tons

#### Torre

- Altura mínima de la góndola : 44 m
- Diámetro 3m

#### Rotor

- VG52. .850 kW
- Diámetro: 52m
- Velocidad rotacional del rotor: 14,6 rpm 30,8 rpm

#### Generador

- Tipo: Asíncrono doblemente alimentado
- Potencia nominal : 850 kW
- Voltaje : 690 VAC
- Frecuencia : 60 Hz
- Clase de protección: IP54
- Número de polos : 4
- Velocidad rotacional: 900:1.750 rpm
- Corriente nominal : 650 A
- Factor de potencia : 1
- Factor de potencia resultante: . .0,95 a 0,95
- Corriente resultante: 715 A



G52. .850KW

#### **4.6. Tablas o cuadros de la información recolectada**

**Ver anexo #1**

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **C. CONCLUSIONES:**

1. El 45% de los operarios que trabajan en las plantas eólicas son clasificados por los entrevistados como personal técnico calificado, esta es una población importante que necesitan ser capacitado de acuerdo a estos informantes.
2. El 100% de las plantas tiene personal cuya formación es en electricidad y un 83% en mecánica, sin embargo la mayor cantidad de mantenimiento se da en los sistemas mecánicos, por tanto para especializar técnicos que el INA gradúe en el mediano y largo plazo en el área eólica, deberían ser los egresados del programa de electromecánica o de otros programas que tengan similitud en cuanto a los temas de mecánica.
3. Para especializar estas personas, los informantes propusieron varios temas que deberán ser analizados para que sean tomados en cuenta en un diseño de servicio de capacitación para este sector de generación eléctrica.
4. Se realizó una identificación no formal de las competencias que en este momento están siendo aplicadas en las plantas de generación (El técnico mantenedor de sistemas eléctricos en turbinas eólicas comerciales, el técnico mantenedor de sistemas mecánicos en turbinas eólicas comerciales y el operador de plantas de generación eólica). Se partió de la premisa que un puesto de trabajo es una competencia y la realidad actual, es que en este sector del mantenimiento eléctrico se aplican tres puestos de trabajo. Si en el futuro se quiere una identificación exacta de estas competencias se deben aplicar los procedimientos curriculares precisos para obtenerlas.
5. En tecnología eólica la tendencia actual, es la instalación de turbinas que no tengan caja de transmisión multiplicadora para eliminar el mantenimiento mecánico que se da a estas. En todas las plantas el control de una turbina en general está directamente relacionado con la electrónica y los PLC's, por lo que deben reforzarse los temas en la currícula que tengan relación con estas tendencias.

## D. RECOMENDACIONES

1. El Proceso de Gestión Tecnológica del Núcleo debe de realizar el traslado correspondiente al Proceso de Planeamiento y Evaluación (PPE) de los resultados de esta investigación para que la analicen y posteriormente tomen las decisiones que correspondan.
2. El Proceso de Gestión Tecnológica debe considerar una segunda etapa de investigación sobre los sistemas de generación eólica en Costa Rica, enfocado a los sistemas de generación pequeños menores a 50Kw, es importante para el núcleo eléctrico tener un panorama amplio en este tema al incluir los sistemas de generación que principalmente se están instalando en las casas.
3. Para los informantes del estudio es una necesidad certificar a los técnicos que ya están trabajando en este tipo de tecnología, para lo cual el INA debería contratar a un experto para que diseñe la prueba de certificación y luego la aplique a las personas que trabajan en mantenimiento de las distintas plantas de generación eólica en el país.
4. El INA debe formar en temas eólicos a los egresados del programa de electromecánica o programa afín, de tal forma que la capacitación sea como un complemento para aquellos técnicos que así lo desean, por tanto es necesario diseñar el(los) módulos que sean necesarios para complementar en sistemas de generación eólico a esta población.
5. En el futuro para capacitar personal que esté interesado en estas tecnologías desde cero, El Proceso de Planeamiento y Evaluación y las Regionales correspondientes, deben considerar y tomar en cuenta a personas interesadas de las zonas de mayor potencial eólico. Estas personas se capacitarían en el programa de formación en electromecánica, que solamente se imparte en el Centro F. J. Orlich o en cualquier programa similar o afín y luego se les terminaría de formar en los módulos de complementación que se diseñen.

## VI. FUENTES CONSULTADAS

- [1] **“Evaluación del Mecanismo de Desarrollo Limpio en Costa Rica”, Tesis de graduación, Benjamin Landreau**, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Mondes de Oca, Noviembre del 2006  
<http://www.mituramb.ucr.ac.cr/descargas/Proyectos%20Finales%20de%20Graduacion/I%20Promocion/Evaluacion%20del%20Mecanismo%20de%20Desarrollo%20Limpio%20en%20Costa%20Rica%20.%20Benjamin%20Landreau.pdf>
- [2] P. .GFST. .02: Identificación de Necesidades y Requerimientos en la Formación Profesional. Edición 03, 25/06/2009
- [3] I. .GFST. .05: Formulación, implementación y evaluación de Proyectos para actividades de I+D+i, Edición 05.
- [4] FR. .GFST. .48. Idea de Proyecto. Edición 01(18/02/2010)
- [5] DI . . GFST. .07 Guía para la Elaboración de Informes Finales Proyectos I +D+ i, San José, Noviembre 2010.
- [6] ISO/IEC INTE 01. .01. .11. .09, CTN 176 “Gestión de la I+D+i: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i” ICS: 03.100.40 Primera edición. INTECO, 2009. .06. .19
- [7] CTN 176, INTE 01. .01. .12. .09 “Gestión de la I+D+i: Requisitos de un proyecto de I+D+i” Primera edición. INTECO, 2009. .11. .13
- [8] Instituto Nacional de Aprendizaje, PLAN ESTRATEGICO INSTITUCIONAL, 2008. .2010.
- [9] Norma Técnica de Competencia Laboral Regional y Diseño a Curricular para la Calificación de: “ Un Instalador y Mantenedor de Sistemas de Generación Eólica de Baja Tensión”.  
[http://ceccsica.org/programas.\\_accion/laboral/index.html](http://ceccsica.org/programas._accion/laboral/index.html)
- [10] Manual de procedimientos y actividades de mantenimiento de la turbina Vestas V47, ICE. .TEJONA
- [11] Proyecto de investigación sobre energía solar, Hilda Ugarte Medina, INA, 2011
- [12] Mejores prácticas, Dr. Heman Snell, Asesor internacional. México, 2008
- [13] [http://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_2\\_enercon\\_e44.\\_900.php](http://www.thewindpower.net/turbine_es_2_enercon_e44._900.php)
- [14] [http://www.iufmrese.cict.fr/concours/2002/CG\\_2002STI\\_lycee/Pour\\_en\\_savoir\\_plus/Vestas\\_V47.pdf](http://www.iufmrese.cict.fr/concours/2002/CG_2002STI_lycee/Pour_en_savoir_plus/Vestas_V47.pdf)
- [15] <http://www.waterlinecompanies.com/225%20Brochure.pdf>
- [16] [http://html.rincondelvago.com/energia-eolica\\_13.html](http://html.rincondelvago.com/energia-eolica_13.html)
- [17] .GFST. .02: Identificación de Necesidades y Requerimientos en la Formación Profesional. Edición 03, 25/06/2009
- [18] GFST. .05: Formulación, implementación y evaluación de Proyectos para actividades de I+D+i

- [19] FR. .GFST. .48. Idea de Proyecto. Edición 01(18/02/2010)
- [20] ISO/IEC INTE 01. .01. .11. .09, CTN 176 “Gestión de la I+D+i: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i” ICS: 03.100.40 Primera edición. INTECO, 2009. .06. .19
- [21] CTN 176, INTE 01. .01. .12. .09 “Gestión de la I+D+i: Requisitos de un proyecto de I+D+i” Primera edición. INTECO, 2009. .11. .13
- [22] Plan Nacional de Desarrollo 2011. .2014 “María Teresa Obregón Zamora”
- [23] Plan Estratégico Institucional 2011. .2016 Dr. Alfonso Carro Zúñiga.
- [24] “V Plan Nacional de Energía 2008. .2021”
- [24] Glosario de los servicios de capacitación y formación profesional en el ina.
- [25] Wikipedia, Enciclopedia Libre. <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- [27] Revista mensual Ambien. .Tico, del proyecto Actualidad Ambiental en Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. <http://www.una.ac.cr/ambi/ambientico/amb31.html>
- [28] Fundación Cientec. <http://www.cientec.or.cr/ciencias/energia/articulo3.html#eolica>
- [29] Potencial de energía eólica en Costa Rica. ANA CECILIA MUÑOZ.  
Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.  
Walter Fernández, Jorge A. Gutiérrez y Eladio Zárate.  
Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias, Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.  
(<http://meteorol.imn.ac.cr/publicaciones/revista/Ana%20Cecilia%203%20%20final%2020030702.pdf>)
- [30] .Manuales sobre Energía Renovable. Eólica. Bun . . Ca. <http://www.bun.ca.org/publicaciones/EOLICA.pdf>

## VII. ANEXOS

### Anexo #1. TABULACIÓN DE LOS DATOS RECOLECTADOS

#### I. Datos de la Organización

**Tabla #6**  
**Datos de COOPESANTOS (LOS SANTOS)**

Nombre de la empresa	COOPESANTOS (LOS SANTOS)
Dirección exacta	San Marcos de Tarrazú, 150m Oeste del Liceo de Tarrazú
Nombre del informante clave	Olger Robles Solano
Departamento o área	Operación y Mantenimiento del Sistema de Generación
Puesto que ocupa	Encargado de operación y mantenimiento del PELS
Teléfono	2546-2525
Fax	2544-1415
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:olgerr@coopasantos.com">olgerr@coopasantos.com</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica

**Tabla #7**  
**Datos de AEROENERGIA SA.**

Nombre de la empresa	AEROENERGIA SA.
Dirección exacta	6Km camino a Nuevo Arenal desde Tilarán, Guancaste
Nombre del informante clave	Henry Cortez Brenes
Departamento o área	Gerencia de mantenimiento
Puesto que ocupa	Gerente de planta
Teléfono	2692-2051
Fax	2692-2061
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:hcortes@gecoenergia.com">hcortes@gecoenergia.com</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica

**Tabla #8**  
**Datos de PLANTAS EOLICAS SRL (PESA)**

Nombre de la empresa	PLANTAS EOLICAS SRL (PESA)
Dirección exacta	2Km NorOeste de Parcelas de Quebrada Azul, Tejona
Nombre del informante clave	Jorge Ernesto González
Departamento o área	Mantenimiento
Puesto que ocupa	Encargado del departamento de electrónica
Teléfono	2692-2021
Fax	2692-2022
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:egonzalez@mesoamericaenergy.com">egonzalez@mesoamericaenergy.com</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica

**Tabla #9**  
**Datos de SUEZENERGYCA (PEG)**

Nombre de la empresa	SUEZENERGYCA (PEG)
Dirección exacta	8Km al NorOeste de Guayabo, Bagaces
Nombre del informante clave	Luis Francisco Ortega(SUEZENERGY) y Edgardo Camacho(ENERCON)
Departamento o área	Mantenimiento
Puesto que ocupa	Encargado de mantenimiento
Teléfono	2673-1100
Fax	
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:luis.ortega@suezenergy.com">luis.ortega@suezenergy.com/</a> <a href="mailto:edgardo.camacho@enercon">edgardo.camacho@enercon</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica



**Tabla #10****Datos de MOVASA SA.**

Nombre de la empresa	MOVASA SA.
Dirección exacta	Tierras Morenas, Tilarán
Nombre del informante clave	José Barahona/ Eddier Savallos
Departamento o área	Gerencia de mantenimiento
Puesto que ocupa	Gerente de planta y supervisor de mantenimiento
Teléfono	2692-2208
Fax	2692-1160
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:jose.barahona@enel.com">jose.barahona@enel.com</a> / <a href="mailto:eddie.saballos@enel.com">eddie.saballos@enel.com</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica

**Tabla #11****Datos de ICE (TEJONA)**

Nombre de la empresa	ICE (TEJONA)
Dirección exacta	De la entrada de Aguilares 4Km al Norte, Tilarán
Nombre del informante clave	Oscar Jiménez Chévez
Departamento o área	Operación
Puesto que ocupa	Operador de planta eólica
Teléfono	2692-1080
Fax	
Dirección de correo Electrónico	<a href="mailto:osjimene@ice.go.cr">osjimene@ice.go.cr</a>
Actividad principal a la que se dedica	Producción de energía eléctrica

## II. Situación del mercado de la energía eólica

**Tabla #12**

**Servicios que presta la organización relacionados con la tecnología eólica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Investigación	Extensión	Capacitación	Asesoría	Desarrollo de proyectos	Medición de vientos
LOS SANTOS	1	0	0	0	1	
AEROENERGIA	0	0	0	1	1	
PESA	0	0	0	0	1	
PEG	1	1	0	0	1	1
MOVASA	1	1	1	0	1	
PE_TEJONA	1	1	1	1	1	
Porcentaje(%)	67%	50%	33%	33%	100%	17
frecuencia	4	3	2	2	6	1

**Tabla #13**

**Áreas en las que se enfoca la investigación en energía eólica:**

UNIDAD PRODUCTIVA	Ubic. nvs. proyectos	Topografía	Meteorología	Tecnologías nuevas.
LOS SANTOS	1	1	1	0
AEROENERGIA	0	0	0	0
PESA	0	0	0	0
PEG	0	0	1	0
MOVASA	1	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	0	0
Porcentaje(%)	50%	17%	33%	17%
frecuencia	3	1	2	1

**Tabla #14**

**Segmento del mercado que atiende?**

UNIDAD PRODUCTIVA	Residencial	Comercial	Industrial	Interés social	Cliente único
LOS SANTOS	1	1	1	1	0
AEROENERGIA	0	0	0	0	1
PESA	0	0	0	0	1
PEG	0	0	0	0	1
MOVASA	0	0	0	0	1
PE_TEJONA	1	1	1	1	0
Porcentaje(%)	33%	33%	33%	33%	67%
frecuencia	2	2	2	2	4

**Tabla #**  
**Participación en el desarrollo de proyectos de energía eólica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Estudios previos al sitio	Selección emplazamiento	Estudios pre-y/o factibilidad	Trámites de permisos	Gestión del financiamiento	Gestión Ambiental	Venta de equipo/materiales	Diseño	Instalación	Mantenimiento	Administración
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
AEROENERGIA	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
PESA	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
PEG	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
MOVASA	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
PE_TEJONA	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Porcentaje(%)	100%	67%	100%	67%	83%	83%	0%	83%	50%	83%	100%
frecuencia	6	4	6	4	5	5	0	5	3	5	6

**Tabla #15**  
**Modalidad de ejecución de proyectos**

UNIDAD PRODUCTIVA	Con recurso propio	Mediante contratación	BOT (Construir, Operar y Transferir)
LOS SANTOS	1	1	0
AEROENERGIA	1	0	1
PESA	1	1	0
PEG	0	0	1
MOVASA	1	0	0
PE_TEJONA	1	0	1
Porcentaje(%)	83%	33%	50%
frecuencia	5	2	3

**Tabla #16**  
**Proyectos a futuro en el tema de energía eólica que tiene la organización**

UNIDAD PRODUCTIVA	Ampliación	Proyecto nuevo	Renovación de parque eólico	Capacidad de futuro proyecto en MW
LOS SANTOS	1	0	0	5
AEROENERGIA	1	1	0	9
PESA	0	0	1	21
PEG	0	1	0	50
MOVASA	0	1	0	60
PE_TEJONA	1	0	0	15
Porcentaje(%)	50%	50%	17%	
frecuencia	3	3	1	
Total				160,0

**Tabla #17****Potencial que visualiza para el desarrollo de esta tecnología en el país**

UNIDAD PRODUCTIVA	Alto	Bajo	Mediano	Ninguno
LOS SANTOS	1	0	0	0
AEROENERGIA	1	0	0	0
PESA	0	0	1	0
PEG	1	0	0	0
MOVASA	1	0	0	0
PE_TEJONA	1	0	0	0
Porcentaje(%)	83%	0%	17%	0
frecuencia	5	0	1	0

**Tabla #18****Segmento de mercado con mayor potencial de demanda de servicios a futuro**

UNIDAD PRODUCTIVA	Residencial	Comercio	Industria	Generadoras Públicas	Generadoras Privadas
LOS SANTOS	1	0	0	0	0
AEROENERGIA	0	1	0	0	0
PESA	0	0	0	1	0
PEG	1	0	1	0	0
MOVASA	0	0	0	1	0
PE_TEJONA	1	1	1	1	1
Porcentaje(%)	50%	33%	33%	50%	17%
frecuencia	3	2	2	3	1

### III. Sobre el Recurso Humano y las necesidades de capacitación.

**Tabla #19**

**Cantidad y Perfil del recurso humano participa en la prestación de servicios relacionados con la energía eólica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Ingenieros	Técnicos	Trabajadores calificados	Otros				% Personal de mantenimiento
				Seguridad	Operadores de planta	Asistentes	Técnicos especializados	
LOS SANTOS	3	4	4	4	5			72,7
AEROENERGIA	3	4	4		4			72,7
PESA	3	2	10		5	8		80,0
PEG	2	8	0		4		2	80,0
MOVASA	1	4	5		4			90,0
PE_TEJONA	2	7	1		4	2		80,0
Total	14	29	24	4	26	10	2	

**Tabla #20**

**Cantidad de operarios de mantenimiento en cada planta instalada y promedio de turbinas atendidas por un operario o ingeniero en cada planta**

UNIDAD PRODUCTIVA	# Turbinas/operario	# Turbinas/Ingeniero	# de Operarios por ingeniero	# de operarios por planta
LOS SANTOS	2	5	3	8
AEROENERGIA	1	3	3	8
PESA	5	19	4	12
PEG	7	28	4	8
MOVASA	4	32	9	9
PE_TEJONA	4	15	4	8
Promedio	3,7	17,0	4,4	8,8

**Tabla #21**  
**Especialidad del personal técnico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Electricidad	Electrónica	Electromecánica	Mecánica	Telemática
LOS SANTOS	1	1	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	1	0	
PESA	1	0	0	1	
PEG	1	1	1	1	
MOVASA	1	0	0	1	
PE_TEJONA	1	1	1	1	
Porcentaje(%)	100%	67%	67%	83%	17%
frecuencia	6	4	4	5	1

**Tabla #22**  
**Este personal requiere capacitación?**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No
LOS SANTOS	1	0
AEROENERGIA	1	0
PESA	1	0
PEG	0	1
MOVASA	1	0
PE_TEJONA	0	1
Porcentaje(%)	67%	33%
frecuencia	4	2

**Tabla #23**  
**Áreas en las que se requiere capacitación?**

UNIDAD PRODUCTIVA	Electricidad	Electrónica	Mecánica	Hidráulica	Otros							
					Telemática	Trabajo en alturas	Manejo de cargas	Media Tensión	Seguridad Ocupacional	Protecciones eléctricas	Cajas multiplicadoras	Generadores
LOS SANTOS	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
AEROENERGIA	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
PESA	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOVASA	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
PE_TEJONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentaje(%)	33%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
frecuencia	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Tabla #24**

**Considera que el mercado requiere personas capacitadas en esta área laboral?**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Respuesta condicionada	Condición
LOS SANTOS	1	0		
AEROENERGIA	0	1	1	Solamente si se complementa al técnico Electromecánico que gradúa el INA
PESA	0	1	1	Capacitar a los egresados de colegios vocacionales o del INA en temas eólicos
PEG	1	0	0	
MOVASA	1	0	1	Siempre y cuando se desarrollen más proyectos eólicos
PE_TEJONA	1	0	1	Cuando se aplica el mantenimiento, temporalmente se contrata mano de obra adicional
Porcentaje(%)	67%	33%	67%	
frecuencia	4	2	4	

**Tabla #25**

**De acuerdo al nivel de calificación/escalafón del personal en su empresa, cuál sería el qué deberían tener estas personas?**

UNIDAD PRODUCTIVA	Personal trabajador calificado	Personal Técnico	Personal trabajador especializado
LOS SANTOS	0	1	0
AEROENERGIA	0	1	0
PESA	0	1	0
PEG	1	1	1
MOVASA	1	1	1
PE_TEJONA	0	1	1
Porcentaje(%)	33	100	50
frecuencia	2	6	3

## Requerimientos de capacitación o formación especializada para desempeñarse en energía eólica (para la figura sugerida).

**Tabla # 26**  
**Requerimientos de capacitación en electrónica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Diagnóstico de la tarjeta del inversor	Diagnóstico de elementos de potencia del inversor	Diagnóstico de sensores y transductores	Reparación de tarjetas electrónicas
LOS SANTOS	1	1	1	1
AEROENERGIA	1	0	1	0
PESA	1	1	1	0
PEG	1	1	1	1
MOVASA	0	0	1	1
PE_TEJONA	1	1	1	1
Porcentaje(%)	83%	67%	100%	67%
frecuencia	5	4	6	4

**Tabla #27**  
**Requerimientos de capacitación en motores eléctricos**

UNIDAD PRODUCTIVA	Diagnóstico	Reparación
LOS SANTOS	1	1
AEROENERGIA	1	1
PESA	1	0
PEG	0	1
MOVASA	1	0
PE_TEJONA	1	1
Porcentaje(%)	83%	67%
frecuencia	5	4

**Tabla #28**  
**Requerimientos de capacitación en control eléctrico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inversor_variador de frecuencia	Contactores	Motoreductores
LOS SANTOS	0	1	0
AEROENERGIA	0	1	0
PESA	1	1	0
PEG	0	1	1
MOVASA	1	1	0
PE_TEJONA	0	1	0
Porcentaje(%)	33%	100%	17%
frecuencia	2	6	1



**Tabla #29**  
**Requerimientos de capacitación en PLC**

UNIDAD PRODUCTIVA	Configuración de parámetros	Configuración de redes de comunicación SCADA	Tarjetas controladoras
LOS SANTOS	0	1	0
AEROENERGIA	0	1	0
PESA	0	1	0
PEG	1	1	0
MOVASA	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	0
Porcentaje(%)	50%	100%	17%
frecuencia	3	6	1

**Tabla #30**  
**Requerimientos de capacitación en control hidráulico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tecnología	Teoría
LOS SANTOS	1	0
AEROENERGIA	1	0
PESA	1	1
PEG	1	0
MOVASA	1	1
PE_TEJONA	1	0
Porcentaje(%)	100	33
frecuencia	6	2

**Tabla #31**  
**Requerimientos de capacitación en aceros y otros**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tratamiento térmico	Anticorrosión	Pruebas de flexión y tensión	Elementos de fijación
LOS SANTOS	1	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	0	0
PESA	1	1	0	0
PEG	0	1	0	0
MOVASA	1	1	1	0
PE_TEJONA	1	1	1	0
Porcentaje(%)	83%	100%	50%	17%
frecuencia	5	6	3	1

**Tabla #32****Requerimientos de capacitación en generadores**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tecnología	Teoría de generadores	Mantenimiento
LOS SANTOS	1	1	0
AEROENERGIA	1	0	0
PESA	1	1	0
PEG	0	0	0
MOVASA	0	1	1
PE_TEJONA	1	0	0
Porcentaje(%)	67%	50%	17%
frecuencia	4	3	1

**Tabla #33****Requerimientos de capacitación en transmisiones mecánicas**

UNIDAD PRODUCTIVA	Lubricación	Pruebas de aceites	Tecnologías (cajas)	Tecnologías de aceites	Mantenimiento
LOS SANTOS	1	1		0	0
AEROENERGIA	1	0	1	0	0
PESA	1	1	1	0	0
PEG	0	0	1	1	0
MOVASA	1	1	1	0	1
PE_TEJONA	1	1	1	0	0
Porcentaje(%)	83%	67%	83%	17%	17%
frecuencia	5	4	5	1	1

**Tabla #34****Modalidad de capacitación.**

UNIDAD PRODUCTIVA	Charlas	Seminarios	Talleres	Cursos (Mod)	Programas	Asistencias técnicas	Actualización virtual
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	0	1
AEROENERGIA	0	0	0	1	0	0	0
PESA	0	0	1	0	0	1	0
PEG	0	1	0	1	0	0	0
MOVASA	0	0	1	1	0	0	0
PE_TEJONA	1	1	1	1	1	1	0
Porcentaje(%)	33%	50%	67%	83%	33%	33%	17%
frecuencia	2	3	4	5	2	2	1

## IV. Sobre los proyectos realizados

**Tabla #35**

### Tipo de sistemas Eólicos instalados

UNIDAD PRODUCTIVA	Conectados a red	Comerciales	Autónomos
LOS SANTOS	1	1	0
AEROENERGIA	1	1	0
PESA	1	1	0
PEG	1	1	0
MOVASA	1	1	0
PE_TEJONA	1	1	0
Porcentaje(%)	100%	100%	0%
frecuencia	6	6	0

**Tabla #36**

### Ubicación geográfica de proyectos instalados

UNIDAD PRODUCTIVA	Brunca	Cartago	Chorotega	Heredia	Huetar norte	Huetar atlántica	Occidental	Oriental	Pacífico Central
LOS SANTOS	0	1	0	0	0	0	0	0	0
AEROENERGIA	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PESA	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PEG	0	0	1	0	0	0	0	0	0
MOVASA	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PE_TEJONA	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Porcentaje(%)	0%	17%	83%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
frecuencia	0	1	5	0	0	0	0	0	0

**Tabla #37**

### Capacidad de proyectos instalados (potencia eléctrica)/Capacidad por unidad generadora?

UNIDAD PRODUCTIVA	Cantidad de proyectos	Capacidad de cada proyecto en ( MW)	Capacidad de cada generador en (KW)	N° de Turbinas
LOS SANTOS	1	12,75	850	15
AEROENERGIA	1	6,4	750	9
PESA	1	21	410	58
PEG	1	49,5	900	55
MOVASA	1	24	750	32
PE_TEJONA	1	20	660	30
Total	6	133,65	4320	199

## V. Sobre la Tecnología de componentes Utilizados.

**Tabla #38**  
**Tecnología en las torres de soporte**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tipos		Fijación		Dimensiones	
	Celosías	Tubulares	Autosopos rtada	Con tensores	Altura(m)	Diámetro máximo( m)
LOS SANTOS	0	1	1	0	39	3
AEROENERGIA	0	1	1	0	40	3
PESA	1	0	1	0	24	6
PEG	0	1	1	0	45	4
MOVASA	0	1	1	0	44	3,3
PE_TEJONA	0	1	1	0	45	3
Porcentaje(%)	17%	83%	100%	0		
frecuencia	1	5	6	0		

**Tabla #39**  
**Tecnología en el Rotor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tipo de eje		Capacidad			Número de aspas	
	Eje Horizontal	Eje Vertical	Capacidad < 500kw	Capacidad entre 500kw y 1000kw	Capacidad > 1000kw	3 Aspas	Más de 3 aspas
LOS SANTOS	1	0	0	1	0	1	0
AEROENERGIA	1	0	0	1	0	1	0
PESA	1	0	1	0	0	1	0
PEG	1	0	0	1	0	1	0
MOVASA	1	0	0	1	0	1	0
PE_TEJONA	1	0	0	1	0	1	0
Porcentaje(%)	100%	0%	17%	83%	0%	100%	0%
frecuencia	6	0	1	5	0		

**Tabla #40**  
**Tecnología en el generador sincrónico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Rotor bobinado	Rotor con imanes permanentes	# de polos en el estator
LOS SANTOS	0	0	0
AEROENERGIA	0	0	0
PESA	0	0	0
PEG	1	0	72
MOVASA	0	0	0
PE_TEJONA	0	0	0
Porcentaje(%)	17%	0%	
frecuencia	1	0	

**Tabla #41**  
**Tecnología en el generador asincrónico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Rotor bobinado	Rotor jaula de ardilla	Doblemente alimentado	# Mínimo de polos en el estator	# Máximo de polos en el estator
LOS SANTOS	1	0	1	4	4
AEROENERGIA	1	0	1	4	6
PESA	0	1	0	4	6
PEG	0	0	0	0	0
MOVASA	0	1	0	4	6
PE_TEJONA	1	0	1	3	3
Porcentaje(%)	50%	33%	50%		
frecuencia	3	2			

**Tabla #42**  
**Características de los generadores**

UNIDAD PRODUCTIVA	Excitación			Regulación de potencia			
	Autoexcitado	Independiente	Mixta	Control en la excitación	Control en el inversor de potencia	Control de ángulo de aspas(Pitch)	Control Stall(Aspas con ángulo fijo)
LOS SANTOS	0	0	1	1	0	1	0
AEROENERGIA	0	1	0	0	0	0	1
PESA	0	0	1	0	1	1	0
PEG	0	0	1	0	1	1	0
MOVASA	1	0	0	0	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	0	1	0	1	0
Porcentaje(%)	33%	17%	50%	33%	33%	67%	33%
frecuencia	2	1	3	2	2	4	2

**Tabla #43**  
**Capacidad de los generadores**

UNIDAD PRODUCTIVA	< 500kw	Entre 500kw y 1000kw	> 1000kw	Valor en Kw
LOS SANTOS	0	1	0	850
AEROENERGIA	0	1	0	750
PESA	1	0	0	410
PEG	0	1	0	900
MOVASA	0	1	0	750
PE_TEJONA	0	1	0	660
Porcentaje(%)	17%	83%	0%	
frecuencia	1	5	0	

**Tabla #44**  
**Tecnología en el sistema de transmisión**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tipo		Engranajes			
	Directo	Caja multiplicadora	Rectos	Helicoidales	Relación de velocidades	Mixto
LOS SANTOS	0	1	0	1	62,5	0
AEROENERGIA	0	1	0	1	68	0
PESA	0	1	1	0	0	1
PEG	1	0	0	0	1	0
MOVASA	0	1	1	0	68	0
PE_TEJONA	0	1	1	0	56	0
Porcentaje(%)	17%	83%	50%	33%		17%
frecuencia	1	5	3	2		1

**Tabla #45**  
**Tecnología en el sistemas de direccionamiento de la unidad**

UNIDAD PRODUCTIVA	De la turbina		Angulo de ataque de las aspas			
	Motoredutores eléctricos	Motores hidráulicos	Motoredutores eléctricos	Motores hidráulicos	Pistones hidráulicos	control Stall(Aspas con ángulo fijo)
LOS SANTOS	1	0	0	1	0	0
AEROENERGIA	1	0	0	0	0	1
PESA	0	1	0	0	1	0
PEG	1	0	1	0	0	0
MOVASA	1	0	0	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	0	0	1	0
Porcentaje(%)	83%	17%	17%	17%	33%	33%
frecuencia	5	1	1	1	2	2

**Tabla #46****Tecnología en en el sistema de acondicionamiento de potencia eléctrica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Electrónica de potencia		Tensiones de entrada y de salida en los módulos de electrónica de potencia	
	Tiristores	IGBT's	Tensión máxima de entrada	Tensión de salida
LOS SANTOS	0	1	800	690
AEROENERGIA	1	0	690	690
PESA	0	1	480	480
PEG	0	1	600	400
MOVASA	1	0	600	600
PE_TEJONA	1	0	660	660
Porcentaje(%)	50%	50%		
frecuencia	3	3		

**Tabla #47****Tecnología en el transformador de acople a la red**

UNIDAD PRODUCTIVA	Ubicación			Tipo		Tensión		
	En la góndola	Fuera de la torre	Al pie y dentro de la torre	Enfriado por aceite	Seco	Tensión de entrada (V)	Tensión de salida (kV)	Relación de transformación
LOS SANTOS	0	1	0	1	0	69	34,5	50
AEROENERGIA	0	1	0	1	0	69	34,5	50
PESA	0	1	0	1	0	48	34,5	72
PEG	0	1	0	1	0	40	34,5	86
MOVASA	0	1	0	1	0	60	34,5	57,5
PE_TEJONA	0	1	0	1	0	66	34,5	52,3
Porcentaje(%)	0%	100%	0%	100%	0%			
frecuencia	0	6	0	6	0			



**Tabla #48****Tipo de bus de interconexión a la red de distribución en el sitio**

UNIDAD PRODUCTIVA	Primario común de baja tensión	Primario común de media tensión
LOS SANTOS	0	1
AEROENERGIA	0	1
PESA	0	1
PEG	0	1
MOVASA	0	1
PE_TEJONA	0	1
Porcentaje(%)	0	100
frecuencia	0	6

**Tabla #49****Tecnología en el sistemas de protección**

UNIDAD PRODUCTIVA	De velocidad fuera de rango	De transitorios de tensión	De baja tensión	De sobre corriente	De sobre temperatura	De corrosión
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	0
AEROENERGIA	1	1	1	1	1	0
PESA	1		1	1	1	0
PEG	1	1	1	1	1	0
MOVASA	1	1	1	1	1	0
PE_TEJONA	1	1	1	1	1	0
Porcentaje(%)	100%	83%	100%	100%	100%	0
frecuencia	6	5	6	6	6	0

**-Sistema de lubricación en caja transmisora, cubo y aspas**

**Tabla #50**  
**Tecnología en la lubricación de la transmisión**

UNIDAD PRODUCTIVA	Grasa	Aceite	Manual	Manual monitoreada	Automática
LOS SANTOS	0	1	0	1	0
AEROENERGIA	0	1	1	0	0
PESA	0	1	1	0	1
PEG	0	0	0	0	0
MOVASA	0	1	0	0	1
PE_TEJONA	1	1	0	0	1
Porcentaje(%)	17%	83%	33%	17%	50%
frecuencia	1	5	2	1	3

**Tabla #51**  
**Tecnología en la lubricación de Cubo y Aspas**

UNIDAD PRODUCTIVA	Grasa	Aceite	Manual	Manual monitoreada	Automática	Ninguna
LOS SANTOS	1	0	0	1	0	0
AEROENERGIA	1	0	1	0	0	0
PESA	1	0	1	0	0	0
PEG	1	0	1	0	0	0
MOVASA	0	0	0	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	1	0	0	0
Porcentaje(%)	83%	0%	67%	17%	0%	17%
frecuencia	5	0	4	1	0	1

## VI. Técnicas de intervención.

-Cuáles intervenciones corresponde realizar al personal técnico

### 1. Mantenimiento Correctivo

**Tabla #52**  
**Mantenimiento correctivo aplicado a las Torres**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tornillos de soporte	Cables de fijación	Pintura	Estructura	Escalera
LOS SANTOS	1	0	1	0	0
AEROENERGIA	1	0	1	1	1
PESA	1	0	0	1	1
PEG	1	0	1	0	1
MOVASA	1	0	1	0	0
PE_TEJONA	1	0	1	1	1
Porcentaje(%)	100%	0%	83%	50%	67%
frecuencia	6	0	5	3	4

**Tabla #53**  
**Mantenimiento correctivo aplicado a la Góndola(Nacelle)**

UNIDAD PRODUCTIVA	Pintura	Estructura de soporte	Tornillos de soporte	Reparaciones a la fibra	Cojinetes de la guiñada
LOS SANTOS	1	1	1	1	
AEROENERGIA	1	1	1		
PESA	1	1	1	1	1
PEG	1	1	1		
MOVASA	0	1	1		
PE_TEJONA	1	1	1		
Porcentaje(%)	83%	100%	100%	33%	17%
frecuencia	5	6	6	2	1

**Tabla #54**  
**Mantenimiento correctivo aplicado al Rotor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Palas/aspas	Cubo	Control de aspas	Engranajes	Lubricación	Acoples	Rodamiento principal
LOS SANTOS	1	1	1	1	0	1	
AEROENERGIA	1	1	1	1	1	1	
PESA	1	1	1	1	1	1	
PEG	1	1	1	1	1	0	
MOVASA	1	1	1	1	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	1	1	1	1	
Porcentaje(%)	100	100	100	100	83	83	0,17
frecuencia	6	6	6	6	5	5	

**Tabla #55**  
**Mantenimiento correctivo aplicado al Generador:**

UNIDAD PRODUCTIVA	Anillos rozantes	Escobillas	Cojinetes	bobinados	AVR	Sistema de Lubricación	Acoples	Sistema de enfriamiento del generador
LOS SANTOS	0	0	0	0	0	0	0	
AEROENERGIA	0	0	1	1	0	1	1	
PESA	0	0	1	0	1	0	1	
PEG	1	1	0	1	0	0	0	
MOVASA	0	0	1	1	0	1	1	1
PE_TEJONA	0	0	1	1	0	1	1	
Porcentaje(%)	17%	17%	67%	67%	17%	50%	67%	17%
frecuencia	1	1	4	4	1	3		

**Tabla #56**  
**Mantenimiento correctivo aplicado a la Transmisión mecánica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Engranajes de la caja transmisora	Acoples	Sistema de Lubricación	Rodamientos	Soportes de la caja
LOS SANTOS	1	1	0		
AEROENERGIA	1	1	1		
PESA	1	1	1	1	
PEG	0	0	0		
MOVASA	1	1	1		1
PE_TEJONA	1	1	1		
Porcentaje(%)	83%	83%	67%	17%	17%
frecuencia	5	5	4	1	1

**Tabla #57**  
**Mantenimiento correctivo aplicado al Inversor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Tarjeta controladora	Tarjeta de potencia	Capacitores de alisado	Transformador de acople	Disyuntor termomagnético	Celda UFI (interruptor en vacío)	IGBT's de nueva tecnología para rectificar
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	1	
AEROENERGIA	1	1	0	0			
PESA	1	1	1	1			
PEG	1	1	1	1			1
MOVASA	1	1	1	0			
PE_TEJONA	1	1	1	1			
Porcentaje(%)	100%	100%	83%	67%	17%	17%	17%
frecuencia	6	6	5	4	1	1	

**Tabla #58**  
**Mantenimiento correctivo aplicado a las Protecciones**

UNIDAD PRODUCTIVA	Supresor de sobre tensión	De sobrecorriente	De velocidad fuera de rango	De alta temperatura	Sensores de humo	De vibración y frecuencia
LOS SANTOS	0	0	1	1	1	
AEROENERGIA	1	1	1	1		
PESA	0	1	1	1		
PEG	1	1	1	1		
MOVASA	1	1	1	1		1
PE_TEJONA	1	1	1	1		
Porcentaje(%)	67%	83%	100%	100%	17%	17%
frecuencia	4	5	6	6	1	1

**Tabla #59**  
**Mantenimiento correctivo aplicado Control centralizado**

UNIDAD PRODUCTIVA	PLC	Tarjeta electrónica dedicada	Computador central con sistema SCADA	Sensores y transductores	Redes de comunicación
LOS SANTOS	1	0	0	1	
AEROENERGIA	0	0	1	0	
PESA	1	1	0	1	
PEG	1	0	1	1	
MOVASA	0	1	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	1	1	
Porcentaje(%)	67%	50%	67%	83%	17%
frecuencia	4	3	4	5	1

**Tabla #60**  
**Mantenimiento correctivo aplicado al Sistema orientador**

UNIDAD PRODUCTIVA	Motores Hidráulico	Moto reductores eléctricos	Pistones Hidráulicos	Engranaje del cubo
LOS SANTOS	1	1	0	1
AEROENERGIA	0	1	1	0
PESA	1	0	1	1
PEG	0	1	0	0
MOVASA	0	1	0	0
PE_TEJONA	0	1	1	0
Porcentaje(%)	33%	83%	50%	33%
frecuencia	2	5	3	2

**Tabla #61**  
**Mantenimiento correctivo aplicado al Sistema de frenado**

UNIDAD PRODUCTIVA	Calipers	Discos	Sistema hidráulico de frenado	reparaciones menores	Sistema manual de frenado	Sistema aerodinámico de frenado
LOS SANTOS	1	1	1	1		
AEROENERGIA	0	1	1			
PESA	1	1	0		1	
PEG	1	1	1			
MOVASA	1	1	1			1
PE_TEJONA	1	1	1			
Porcentaje(%)	83%	100%	83%	17%	17%	17%
frecuencia	5	6	5	1	1	1

## 2. Mantenimiento Preventivo.

**Tabla #62**  
**Mantenimiento preventivo aplicado a las Torres**

UNIDAD PRODUCTIVA	Ajuste del torque de tornillos de soporte	Verificación de estado de los cables de fijación	Inspección de pintura	Inspección de estructura	Verificación de estado de los cables de seguridad
LOS SANTOS	1	0	1	1	
AEROENERGIA	1	0	1	1	1
PESA	1	0	1	1	
PEG	1	0	1	1	
MOVASA	1	0	1	1	
PE_TEJONA	1	0	1	1	1
Porcentaje(%)	100%	0%	100%	100%	33%
frecuencia	6	0	6	6	

**Tabla #63**  
**Mantenimiento preventivo aplicado a la Góndola(Nacelle)**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección pintura	Inspección estructura de soporte (bastidor o rack)	Inspección y ajuste de tornillos de soporte	Inspección a la estructura de fibra	Inspección de cojinete de guiñada
LOS SANTOS	1	1	1	1	
AEROENERGIA	1	1	1		
PESA	1	1	1		1
PEG	1	1	1		
MOVASA	1	1	1		
PE_TEJONA	1	1	1		
Porcentaje(%)	100%	100%	100%	17%	17%
frecuencia	6	6	6	1	1



**Tabla #64**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Rotor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección aspas	Inspección cubo	Verificación de sistema de dirección	Verificación de sistema de lubricación	Inspección, engrasado de engranajes y rodamientos	Inspección de acoples
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	1	1	1	0
PESA	1	1	1	1	1	0
PEG	1	1	1	1	0	0
MOVASA	1	1	1	1	0	0
PE_TEJONA	1	1	1	1	0	0
Porcentaje(%)	100%	100%	100%	100%	50%	17%
frecuencia	6	6	6	6	3	1

**Tabla #65**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Generador**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección de anillos rozantes	Inspección y ajuste de escobillas	Inspección y ajuste de cojinetes	Inspección de bobinados	Verificación del AVR	Verificación de sistema de Lubricación	Inspección de acoples	Inspección y torquedo de bornes de cableado de potencia
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	1	1	1
AEROENERGIA	0	0	1	1	0	0	0	
PESA	0	0	1	0	0	1	0	
PEG	1	0	0	1	0	0	0	
MOVASA	0	0	1	1	0	1	1	
PE_TEJONA	0	0	1	1	1	1	0	
Porcentaje(%)	33%	17%	83%	83%	33%	67%	33%	17%
frecuencia	2	1	5	5	2	4		

**Tabla #66**  
**Mantenimiento preventivo aplicado a la Transmisión mecánica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección de caja transmisora	Inspección de acoples	Verificación de sistema de lubricación
LOS SANTOS	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	1
PESA	1	1	1
PEG	0	0	0
MOVASA	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	1
Porcentaje(%)	83%	83%	83%
frecuencia	5	5	5

**Tabla #67**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Inversor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección de tarjeta controladora	Inspección de tarjeta de potencia	Inspección de capacitores de filtrado de rizo	Inspección de transformador de acople	Inspección y prueba de sensores de tensión y corriente
LOS SANTOS	1	1	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	0	0	1
PESA	0	0	1	1	
PEG	1	1	1	1	
MOVASA	1	1	1	1	
PE_TEJONA	1	1	1	1	
Porcentaje(%)	83%	83%	83%	83%	33%
frecuencia	5	5	5	5	2

**Tabla #68**  
**Mantenimiento preventivo aplicado a las Protecciones**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección del supresor de sobre tensión	Inspección de la protección por sobrecorriente	Inspección de la protección por velocidad fuera de rango	Inspección de la protección por alta temperatura	Inspección de sensores de humo	Calibración de protecciones	De vibración y frecuencia
LOS SANTOS	1	1	1	1	1		
AEROENERGIA	1	1	0	1		1	
PESA	0	1	1	0			
PEG	1	1	1	1			
MOVASA	1	1	1	1			1
PE_TEJONA	1	1	1	1			
Porcentaje(%)	83%	100%	83%	83%	17%	17%	17%
frecuencia	5	6	5	5	1	1	

**Tabla #69**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Control centralizado**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección del PLC	Inspección de la tarjeta electrónica dedicada	Inspección del computador central con sistema SCADA	Inspección de los sensores y transductores	Inspección de visores para SCADA	Inspección de redes de comunicación
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	
AEROENERGIA	1	0	1	1		
PESA	0	0	0	1		
PEG	1	1	1	0		
MOVASA	0	1	1	1		1
PE_TEJONA	1	1	1	1		
Porcentaje(%)	67%	67%	83%	83%	17%	17%
frecuencia	4	4	5	5	1	1

**Tabla #70**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Sistema orientador**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección de los motores hidráulicos	Inspección de los motores reductores eléctricos	Inspección de los pistones hidráulicos	Inspección del engranaje del cubo	Inspección de la veleta y anemómetro
LOS SANTOS	1	1	1	1	1
AEROENERGIA	0	1	0	0	
PESA	1	0	1	0	
PEG	0	1	0	1	
MOVASA	0	1	0	0	
PE_TEJONA	1	1	1	0	
Porcentaje(%)	50%	83%	50%	33%	17%
frecuencia	3	5	3	2	1

**Tabla #71**  
**Mantenimiento preventivo aplicado al Sistema de frenado**

UNIDAD PRODUCTIVA	Inspección de los Calipers	Inspección de los discos	Inspección y prueba del sistema hidráulico de frenado	Desgaste en fibras	Inspección de sistema aerodinámico de frenado
LOS SANTOS	1	1	1	1	
AEROENERGIA	0	1	1		
PESA	1	1	0		
PEG	1	1	1		
MOVASA	1	1	1		1
PE_TEJONA	1	1	1		
Porcentaje(%)	83%	100%	83%	17%	17%
frecuencia	5	6	5	1	1

### 3. Mantenimiento Predictivo.

**Tabla #72**  
**Mantenimiento predictivo aplicado a las Torres**

UNIDAD PRODUCTIVA	Pruebas ultrasónicas	Pruebas de verificación a la compuerta y a la corona
LOS SANTOS**	0	0
AEROENERGIA***	1	0
PESA	0	0
PEG	0	0
MOVASA	0	0
PE_TEJONA	0	1
Porcentaje(%)	17%	17%
frecuencia	1	1

**Tabla #**  
**Mantenimiento predictivo aplicado al Rotor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis de vibraciones	Pruebas ultrasónicas
LOS SANTOS	1	0
AEROENERGIA	0	0
PESA	0	0
PEG	0	0
MOVASA	0	1
PE_TEJONA	1	0
Porcentaje(%)	33	17
frecuencia	2	1

**Tabla #73**  
**Mantenimiento predictivo aplicado al Generador**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis de vibraciones	Análisis térmico	Pruebas dinámicas y estáticas
LOS SANTOS	1	1	0
AEROENERGIA	1	1	0
PESA	0	0	0
PEG	0	0	0
MOVASA	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	0
Porcentaje(%)	50%	33%	17%
frecuencia	3	2	1

**Tabla #74****Mantenimiento predictivo aplicado a la Transmisión mecánica**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis de vibraciones	Análisis térmico	Pruebas de aceite
LOS SANTOS	1	1	1
AEROENERGIA	1	1	0
PESA	0	0	1
PEG	0	0	0
MOVASA	0	0	1
PE_TEJONA	1	0	1
Porcentaje(%)	50%	33%	67%
frecuencia	3	2	4

**Tabla #75****Mantenimiento predictivo aplicado al Inversor**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis térmico
LOS SANTOS	0
AEROENERGIA	1
PESA	0
PEG	0
MOVASA	1
PE_TEJONA	0
Porcentaje(%)	33%
frecuencia	2

**Tabla #76****Mantenimiento predictivo aplicado al Sistema de frenado**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis térmico	pruebas de aceite hidráulico
LOS SANTOS	1	0
AEROENERGIA	0	0
PESA	0	0
PEG	0	0
MOVASA	0	0
PE_TEJONA	0	1
Porcentaje(%)	17%	17%
frecuencia	1	1

**Tabla #77**  
**Mantenimiento predictivo aplicado al Control centralizado**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis de temperatura
LOS SANTOS	1
AEROENERGIA	0
PESA	0
PEG	0
MOVASA	0
PE_TEJONA	0
Porcentaje(%)	17
frecuencia	1

**Tabla #78**  
**Mantenimiento predictivo aplicado al Sistema orientador**

UNIDAD PRODUCTIVA	Análisis de vibraciones	Prueba de conteo de vueltas
LOS SANTOS	1	0
AEROENERGIA	0	0
PESA	0	0
PEG	0	0
MOVASA	0	0
PE_TEJONA	0	1
Porcentaje(%)	17%	17%
frecuencia	1	1

**Tabla #79**  
**Mantenimiento predictivo aplicado al Sistemas de lubricación**

UNIDAD PRODUCTIVA	Pruebas de viscosidad de aceite
LOS SANTOS	1
AEROENERGIA	0
PESA	1
PEG	0
MOVASA	1
PE_TEJONA	1
Porcentaje(%)	67%
frecuencia	4

## VII. Seguridad personal

**Tabla #80**

**Equipos o dispositivos de protección contra caídas con que cuenta la instalación**

UNIDAD PRODUCTIVA	Puntos de anclaje	Cables de sujeción	Grilletes y seguros	Guías de cable en escaleras (Línea de vida vertical fija)	Plataforma de acceso
LOS SANTOS	1	0	1	1	
AEROENERGIA	1	1	0	1	
PESA	1	1	0	1	
PEG	1	1	0	1	
MOVASA	1	1	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	0	1	
Porcentaje(%)	100%	83%	33%	100%	17%
frecuencia	6	5	2	6	1

**Tabla #81**

**Equipo de seguridad y protección del personal**

UNIDAD PRODUCTIVA	Arneses	Líneas de vida al arnés	Dispositivos para amortiguar caídas	Guantes	Casco de seguridad	Calzado	Anteojos	Equipo de rescate para alturas	Estrobos	Línea retráctil	Uniforme con materiales retardantes al fuego	Radio de comunicaciones, Mascarilla, extintores
LOS SANTOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
AEROENERGIA	1	1	1	0	1	1	1	0	1			
PESA	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1		
PEG	1	1	1	1	1	1	1	1	0		1	
MOVASA	1	1	1	1	1	1	1	1	0			1
PE_TEJONA	1	1	0	1	1	1	1	1	0			
Porcentaje(%)	100%	100%	83%	83%	100%	100%	100%	67%	33%	17%	17%	17%
frecuencia	6	6	5	5	6	6	6	4	2			



## VIII. Documentos Utilizados como referencia para la ejecución del mantenimiento

**Tabla #82**  
**Manual de procedimiento general**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Cuáles
LOS SANTOS	1	0	Manual de mantenimiento de la máquina G52
AEROENERGIA	1	0	Manual NM-750
PESA	1	0	Manual de procedimientos
PEG	1		Eléctrico, Mecánico, Visual y de engrase
MOVASA	1	0	Manual de operación y mantenimiento
PE_TEJONA	1	0	Protocolo de mantenimiento
Porcentaje(%)	100%	0%	0
frecuencia	6	0	0

**Tabla #83**  
**Manual de mantenimiento de cada subsistema**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Cuáles
LOS SANTOS	1	0	Está en el mismo manual general
AEROENERGIA	1	0	En el manual NM-750
PESA	1	0	Está en el mismo manual de procedimientos
PEG	1	0	Está en los mismos manuales de procedimiento
MOVASA	1	0	Uno para cada subsistema
PE_TEJONA	1	0	Protocolo para cada subsistema
Porcentaje(%)	100%	0%	0
frecuencia	6	0	0

**Tabla #84**  
**Catálogo de componentes**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Cuáles
LOS SANTOS	1	0	Está en el mismo manual general
AEROENERGIA	0	1	Datos obtenidos en cada mantenimiento
PESA	0	1	Datos que se obtienen al dar mantenimiento correctivo
PEG	0	1	La referencia es el elemento a cambiar
MOVASA	1	0	Uno para cada subsistema
PE_TEJONA	1	0	Catálogo por subsistema
Porcentaje(%)	50%	50%	0
frecuencia	3	3	0

**Tabla #85**  
**Anuencia a realizar actividades en articulación con el INA**

UNIDAD PRODUCTIVA	Sí	No	Respuesta Condicionada
LOS SANTOS	1	0	0
AEROENERGIA	1	0	0
PESA	1	0	0
PEG	1	0	0
MOVASA	1	0	0
PE_TEJONA	1	0	0
Porcentaje(%)	100%	0%	0%
frecuencia	6	0	0

## IX. Gestión Ambiental

### -Generación de residuos en el proceso de mantenimiento y su tratamiento

**Tabla #86**  
**Plan de gestión de residuos en la unidad productiva**

UNIDAD PRODUCTIVA	Si	No	Respuesta condicionada
LOS SANTOS	1	0	0
AEROENERGIA	1	0	0
PESA	1	0	0
PEG	1	0	0
MOVASA	1	0	0
PE_TEJONA	1	0	0
Porcentaje(%)	100%	0%	0%
frecuencia	6	0	0

**Tabla #87**  
**Tipos de residuos que se generan en la unidad productiva**

UNIDAD PRODUCTIVA	Plásticos	Metales	Orgánicos	Químicos
LOS SANTOS	1	1	0	1
AEROENERGIA	1	1	1	1
PESA	1	1	1	1
PEG	0	1	0	1
MOVASA	1	1	1	1
PE_TEJONA	1	1	1	1
Porcentaje(%)	83%	100%	67%	100%
frecuencia	5	6	4	6

**Tabla #88****Tratamiento de los residuos en la unidad productiva**

UNIDAD PRODUCTIVA	Reutilización	Reciclaje interno	Reciclaje externo	Sistema de tratamiento de aguas residuales
LOS SANTOS	1	0	1	
AEROENERGIA	1	0	1	
PESA	1	1	1	1
PEG	0	0	1	
MOVASA	1	1	1	
PE_TEJONA		1	1	
Porcentaje(%)	67%	50%	100%	17%
frecuencia	4	3	6	1

**-Medidas para reducción o compensación de la huella de carbono****Tabla #89****Programa de siembra de árboles, plantas o zonas verdes con fines ambientales**

UNIDAD PRODUCTIVA	Plantación forestal	Reforestación de cuencas	Inventarios de especies forestales y fauna
LOS SANTOS	1	1	0
AEROENERGIA	1	0	0
PESA	0	0	1
PEG	0	0	0
MOVASA	1	0	0
PE_TEJONA	1	0	0
Porcentaje(%)	67%	17%	17%
frecuencia	4	1	1

**Tabla #90**  
**Programas para reducción de la huella de carbono**

UNIDAD PRODUCTIVA	Transporte	Consumo de energía eléctrica	Requerimientos de ISO14000
LOS SANTOS	1	1	
AEROENERGIA	0	0	1
PESA	1	1	
PEG	1	1	
MOVASA	1	1	
PE_TEJONA	1	1	
Porcentaje(%)	83%	83%	17%
frecuencia	5	5	1

**Tabla #91**  
**Normas que se aplican en los sistemas de generación eólico**

UNIDAD PRODUCTIVA	Eléctricas	Mecánicas	Seguridad personal	Normativa del fabricante	Cuales
LOS SANTOS	1	1	1	1	NFPA 70(NEC); ASTM y ANSI (Z87+, Z359); OSHA(1910.146, 1926.502)
AEROENERGIA	1	1	1	1	NFPA 70(NEC);ASTM; ISO14001
PESA	1	1	1	1	NFPA 70(NEC); ASTM; OSHA18000; 5S's
PEG	1	1	0	1	DIN; OSHA18001; ISO14001
MOVASA	1	1	1	1	NFPA 70(NEC); OSHA18001; ISO14001
PE_TEJONA	1	0	1	1	NFPA 70(NEC);Catálogo del fabricante; OSHA
Porcentaje(%)	100%	83%	83%	100%	
frecuencia	6	5	5	6	

## Tabla # 92

### Observaciones entrevistador:

LOS SANTOS:	El Ingeniero Olger Robles Solano opina que las personas que se capaciten en el área de mantenimiento de sistemas eólicos debe saber que para hacer un proyecto eólico primero se debe tener un historial de un año mínimo y por tanto tener conocimiento de equipo de recolección de datos meteorológicos. Esto involucra saber sobre tipos de sensores meteorológicos, en este momento según su opinión y conocimiento no hay técnicos en esta área y se requieren para que calibren estos instrumentos , además hace la observación laboral
AEROENERGIA	Para el Ingeniero Henry Cortés los temas más importantes y críticos en las que se debe capacitar a un técnico en el área de sistemas eólicos son electrónica, hidráulica, variables meteorológicas(altura, velocidad del viento, humedad relativa y cómo se relacionan entre ellas para producir ciertos fenómenos atmosféricos), conocimientos que serian la base de inicio para cualquier capacitación en sistemas eólicos. Además de tener nociones de escalas de viento similar a las escalas sísmicas. Termina afirmando que todo técnico electromecánico que quiera trabajar en sistemas eólicos debe tener habilidad de trabajar en grandes alturas, por tanto en un SFCP que se diseñe debe tener como requisito para poner llevarlo, tener esta cualidad que debería poder probarse.
PESA:	El ingeniero Jorge Ernesto González opina que las personas a las que se debe capacitar en sistemas eólicos, tienen que ser los que el INA egresa con título de electromecánico y debería complementárseles en los temas de variables meteorológicas calibración de instrumentos de recolección de datos meteorológicos, Seguridad ante descargas eléctricas atmosféricas(rayería), Electricidad, Mecánica, Trabajo en alturas, Hidráulica, Metales, Aerodinámica, Trabajo con fibra de vidrio, Tecnología de materiales, Operar grúas y montacargas, Seguridad personal, Arco eléctrico, Manejo de cargas, Baja y Media tensión, Protocolos de seguridad de acuerdos a los procedimientos internos, Conceptos básicos de computación, Telemática(redes de comunicación, virtuales y físicas). Una observación importante que realiza es la necesidad que existe de certificar en el tema de mantenimiento de sistemas eólicos a los técnicos que ya están trabajando en las plantas existentes en el país.

## Tabla # 92

### Observaciones entrevistador:

PEG:	Hay que acotar que este proyecto es modalidad BOT, el cual estará en administración privada durante dieciocho años, hasta el momento llevan tres años operándolo faltando quince años para que el ICE lo reciba. Hay que agregar que la empresa que lo administra SUEZENERGY contrató el mantenimiento a la empresa que vendió e instaló el equipo, en este caso ENERCON de Alemania y por tanto todo lo que es reparación de equipo dañado lo realizan en este país, a saber tarjetas electrónicas, dispositivos meteorológicos, partes mecánicas entre otros. Otra observación importante es que ellos tienen su cuadrilla de técnicos y según el Ingeniero Edgardo Camacho de ENERCON la mayoría son técnicos especializados.
Tejona	Según la información que nos brindó el Técnico-Operador de planta Oscar Cheves, es que los técnicos de mantenimiento de la planta Tejona, se formaron mediante el aprendizaje paralelo con los Daneses que vendieron e instalaron las turbinas. En el momento de la entrega del parque eólico por parte de los Daneses, ya ellos tenían capacitados a los técnicos que tomarían la responsabilidad y que hasta el momento se mantienen. Para don Oscar la atención directa del mantenimiento de las turbinas se da por tres grupos de personas que son los técnicos eléctricos, mecánicos y los operadores de planta.