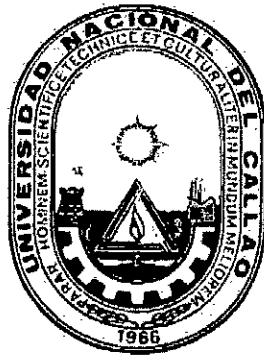


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA
RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO CON
METALES PRECIOSOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTADO POR
LINDER ANTONY JAYO ESQUIVEL**

Callao, Diciembre, 2016

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por el bachiller **JAYO ESQUIVEL LINDER ANTONY**, ante el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** conformado por los siguientes docentes ordinarios:

Ing. CALDERON CRUZ JULIO CESAR : Presidente

Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO : Secretario

Ing. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL : Vocal

Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO : Asesor

Tal como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis N° 02, Folio N° 84, Acta N° 267, de fecha Veintiocho de Diciembre de 2016, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de Abril de 2011, modificado con Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de Setiembre de 2012.

DEDICATORIA

A mis padres, por su esfuerzo en concederme la oportunidad de estudiar y por su constante apoyo a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi Universidad, gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes.

INDICE

CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1 Identificación del problema	10
1.2 Formulación del problema	11
1.2.1 Problema general	11
1.2.2 Problemas específicos	11
1.3 Objetivos de la investigación	12
1.3.1 Objetivo general	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Justificación	12
1.5 Importancia	13
CAPITULO II : MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes de la investigación	14
2.2 Bases epistémicas, científicas y culturales	15
2.2.1 Historia de la Energía Eólica	15
2.2.2 La energía del viento	22
2.2.3 La Ley de Betz y la máxima eficiencia de conversión	25
2.2.4 La distribución de Weibull	28
2.2.5 La rugosidad	29
2.2.6 Rendimiento de aerogeneradores	31
2.2.7 Contexto energético peruano	35
2.2.8 Agentes relevantes del sector energético peruano	37
2.2.9 Política energética peruana	39
2.2.10 Análisis del sector de la energía eólica	41
2.2.11 Descripción de la celda electrolítica	55
2.2.12 Variables de procesos electrolíticos	56
2.3 Definición de términos	61

CAPÍTULO III : VARIABLES E HIPÓTESIS	63
3.1 Variables de la investigación	63
3.2 Operacionalización de variables	64
3.3 Hipótesis general e hipótesis específica	65
3.3.1 Hipótesis general	65
3.3.2 Hipótesis específicas	65
CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA	66
4.1 Tipo de investigación	66
4.2 Diseño de investigación	66
4.2.1 Diseño y construcción del módulo experimental para la transformación de la energía en eléctrica mediante el generador de eje vertical	66
4.2.2 Preparación de las soluciones	74
4.2.3 Aplicación del proceso electrolítico	80
4.3 Población y muestra	84
4.4 Técnica de recolección de datos	85
4.5 Procesamiento de datos	86
4.6 Procedimiento de recolección de datos	86
CAPÍTULO V : RESULTADOS	88
5.1 Construcción del equipo experimental de electrodeposición	88
5.2 Desengrase electrolítico	89
5.3 Cobreado alcalino	90
5.4 Plateado electrolítico	91
CAPÍTULO VI : DISCUSIÓN DE RESULTADOS	93
6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados	93
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	94

CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES	96
CAPÍTULO VIII : RECOMENDACIONES	97
CAPÍTULO IX : REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Panémonas	17
Figura 2.2	Molino griego	18
Figura 2.3	Molino holandés	19
Figura 2.4	Potencia del aerogenerador como función del diámetro	24
Figura 2.5	Velocidad antes y después del aerogenerador	25
Figura 2.6	Curva de eficiencia de Betz	27
Figura 2.7	Curva de distribución de Weibull	28
Figura 2.8	Cp Vs TSR para diferentes tipos de aerogeneradores	34
Figura 2.9	Consumo final de energía	36
Figura 2.10	Visión futura de la matriz energética	40
Figura 2.11	Utilización de la energía eólica en el mundo	44
Figura 2.12	Pronóstico de mercado anual para la energía eólica	46
Figura 2.13	Complementariedad entre energía eólica e hidráulica	52
Figura 2.14	Influencia del tamaño y colocación de los electrodos, así como de la profundidad de inmersión de la pieza en el espesor de la caja de recubrimiento.	59
Figura 2.15	Influencia de la colocación de los electrodos en relación con una pieza cilíndrica sobre la distribución de la capa de recubrimiento	59
Figura 2.16	Influencia de la forma de colgar la pieza sobre la distribución de la capa de recubrimiento en el borde filoso	60
Figura 4.1	Trazado de círculos concéntricos en una cartulina para el diseño del generador de energía hidráulica	68

Figura 4.2	Trazas para el diseño del generador de energía, ángulos de 60°	68
Figura 4.3	Círculos concéntricos con trazas diseñadas para el generador de energía	69
Figura 4.4	Ensamble de los alerones	70
Figura 4.5	Cuerpo del generador	71
Figura 4.6	Ensamble en un eje de madera del cuerpo del generador	71
Figura 4.7	Pruebas de respuesta a los vientos	72
Figura 4.8	Modelo mejorado	73
Figura 4.9	Diagrama de flujo de dorado y plateado electrolítico	80
Figura 4.10	Proceso de desengrase electrolítico	81
Figura 4.11	Instalaciones realizadas para el cobreado alcalino	82
Figura 4.12	Ánodo y cátodo empleados para la prueba experimental	82
Figura 4.13	Cobreado electrolítico en marcha	83
Figura 4.14	Tina de vidrio con solución de sal de plata	83
Figura 4.15	Instalaciones para el recubrimiento electrolítico con plata	84
Figura 5.1	Equipo empleado para el recubrimiento electrolítico	88
Figura 5.2	Instalaciones del polo positivo y el polo negativo	89
Figura 5.3	Resultados del cobreado electrolítico alcalino	90
Figura 5.4	Resultados finales del cobreado electrolítico alcalino	90
Figura 5.5	Ánodo y cátodo empleados para el recubrimiento electrolítico con plata	91
Figura 5.6	Resultado de la prueba experimental realizada	91
Figura 5.7	Resultado final del recubrimiento electrolítico con plata	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Rugosidad y paisaje	30
Tabla 2.2	Coefficientes de rugosidad	31
Tabla 2.3	Descripción general de los distintos aerogeneradores	35
Tabla 2.4	Asignación de la energía requerida por tecnología	53
Tabla 2.5	Fases de la subasta de energía	54
Tabla 3.1	Asignación de la energía requerida por tecnología	64
Tabla 4.1	Formulación y condiciones de operación del cobreado alcalino	76
Tabla 4.2	Formulación y condiciones de operación del plateado electrolítico	78

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de investigación, consiste en la utilización de la energía eléctrica proveniente de una fuente renovable, como es el caso de la energía eólica, con la finalidad de ser acondicionada y luego utilizada en el tratamiento electrolítico de metales preciosos, los cuales demandan el uso de una cantidad pequeña de energía, el cual puede ser suministrado por un generador eólico de eje vertical, el cual posee muchas ventajas respecto al generador clásico de eje horizontal. En primer lugar se ha estudiado las ecuaciones físicas que gobiernan la transformación de la energía del viento (energía eólica), en energía mecánica (movimiento angular de un eje provisto de paletas) y su posterior transformación en energía eléctrica a través de la inducción de las bobinas de un alternador. El equipo (generador eólico de una potencia de 200 w.) construido recientemente, se ha acondicionado el voltaje de trabajo (0-6 voltios), necesarios para la realización del trabajo posterior. Habiendo acondicionado el generador eólico, se ha procedido a realizar experiencias de tratamientos previos del material a electro depositar, como son los engrases y la electrodeposición propiamente dicha tanto en cobre como en plata.

La novedad de este trabajo de tesis consiste en la utilización de un tipo de energía limpia como es la eólica aplicado a los procesos de transformación, lo que permite principalmente dos cosas: En primer lugar

dejar de "contribuir" con el efecto invernadero por el uso de la energía renovable, en segundo lugar, disminuir los costos de operación, puesto que en gran medida, generaría su propia energía para suplir las necesidades del proceso.

ABSTRACT

The development of this research, is the use of electricity from a renewable source, as is the case of wind energy, in order to be conditioned and then used in the electrolytic treatment of precious metals, which demand the use of a small amount of energy, which can be provided by a vertical axis wind generator, which has many advantages over classical generator horizontal axis. First it has studied the physical equations governing the transformation of wind power (wind energy) into mechanical energy (angular movement of an axis provided with blades) and their subsequent transformation into electrical energy through the induction of coils of an alternator. The equipment (wind generator power 200 w.) Recently built, has conditioned the working voltage (0-6 volts) required for the completion of further work. Having conditioning the wind generator, it has come to make experiences of previous treatments of electro deposited material, such as greasing and electrodeposition itself in both gold and silver.

The novelty of this thesis is the use of a type of clean energy such as wind applied to the transformation processes, which mainly allows two things: First stop "contribute" to the greenhouse effect by use renewable energy, secondly, reduce operating costs, since largely generate their own energy to meet the needs of the process.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Uno de los grandes problemas que hoy en día afecta a la humanidad es el calentamiento global, ello como consecuencia del uso indiscriminado de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles son usados en forma directa como fuente de energía en los hornos industriales, automóviles, camiones, calefacción, uso doméstico, etc. y en forma indirecta, transformándolos previamente en otra forma de energía, como es el caso de la energía eléctrica.

Precisamente esta forma de energía indirecta acondicionada se utiliza en toda la industria de los recubrimientos electrolíticos de metales no ferrosos, dentro de los cuales están los metales preciosos como el oro, la plata, el rodio y otros.

La fuente de energía que se compra de la red, se transforma en energía eléctrica continua de bajo voltaje, luego es utilizada; sin embargo, este tipo de energía, en primer lugar, contribuye al calentamiento global, y en segundo lugar su costo de su utilización es alto debido a que se trata de un tipo de energía industrial, cuyo precio es mayor al del tipo doméstico.

La utilización de un tipo de energía renovable como la energía eólica, resuelve de forma íntegra estos dos problemas, es decir, se deja de emitir dióxido de carbono por la utilización de la energía eléctrica, y en segundo lugar los costos de operación de una planta de recubrimiento electrolítico se minimizan.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Será posible implementar una planta experimental de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos, usando la energía eléctrica acondicionada a partir de la energía eólica?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Será posible acondicionar un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento?
- b. ¿Será posible captar la energía eólica y transformarla a energía continua captada de 12 voltios?
- c. ¿Será posible acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos?
- d. ¿Será posible hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Implementar una planta experimental de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos, usando la energía eléctrica acondicionada a partir de la energía eólica.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Acondicionar un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.
- b. Transformar la energía eólica a energía eléctrica continua captada de 12 voltios.
- c. Acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.
- d. Hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.

1.4. Justificación

Debido al crecimiento industrial de todos los países del mundo y en especial de nuestro país, las necesidades de demanda de energía eléctrica también crecerán.

Nuestro país tiene un potencial limitado de generación de electricidad de fuentes hídricas, por lo cual, necesariamente se

tendrá que hacer uso de los combustibles fósiles para la generación de electricidad.

Una manera de atenuar este problema, es alentando a las pequeñas empresas a utilizar fuentes de energía renovable, que, si bien tienen un costo de instalación relativamente alto, permite recuperar la inversión en poco tiempo; lo que es mejor aún, protegen el ambiente de las posibles emisiones de dióxido de carbono.

1.5. Importancia

La importancia radica principalmente en permitir generar una fuente de energía propia a un costo de operación prácticamente mínima, y además, no solamente puede ser utilizada en la pequeña industria, sino también a nivel domiciliario.

Por otro lado, con este trabajo se demuestra que es posible aprovechar la energía eólica para sustituir paulatinamente el uso de energías proveniente de fuentes no renovables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La energía contenida en el viento puede ser captada mediante generadores de tipo horizontal y los de tipo vertical.

Existe mucha experiencia sobre el uso de los generadores de eje horizontal tipo casero en las comunidades rurales y los de mayor capacidad sobre todo en países como Alemania, España y Estados Unidos.

Respecto a los de eje vertical hay abundante información referida a los esquemas gráficos del diseño del rotor; sin embargo, diseños específicos con las dimensiones respectivas no se disponen.

Un trabajo de diseño y construcción de un generador eólico recientemente fue desarrollado por el Ing. Luis Carrasco, cuyo equipo acondicionado para este caso será utilizado.

En el Portal Energético Internacional, se indica que en la última conferencia Windpower 2008 se han presentado los nuevos aerogeneradores de eje vertical que prometen superar en 50% el rendimiento de los molinos eólicos convencionales (de eje horizontal) y al mismo tiempo, resultan más silenciosos y duraderos. Sus mentores aseguran que requieren menos mantenimiento y menos espacio, generan más electricidad con

menos área de barrido, pueden generar electricidad con vientos muy bajos y con vientos muy altos. Y principalmente no son peligrosas para la vida silvestre.

Una utilización específica de estos generadores eólicos en procesos concretos de ingeniería ha sido muy poco difundida y se espera que este desarrollo sea el inicio de la utilización de este recurso para emplearlo en procesos que demanden poca energía, pues este proceso será totalmente independiente del uso de energía proveniente de la red comercial. Así también, es preciso mencionar que las turbinas eólicas de eje vertical son 10 veces más eficientes que las turbinas tradicionales (Daviri Jo, 2011).

En ese sentido, existe información razonable sobre las turbinas de eje vertical, a pesar de que la mayor información está referida a los generadores de eje horizontal; sin embargo, su uso en aplicaciones a la electroquímica no se tiene antecedentes, por lo cual el desarrollo del presente trabajo tiene carácter innovador, que con una inversión adecuada y con una conciencia ambiental puede ser utilizada por los empresarios que se dedican a este rubro.

2.2. Bases epistémicas, científicas y culturales

2.2.1. Historia de la Energía Eólica

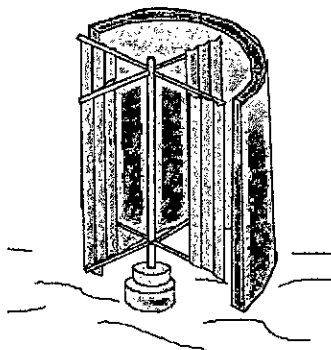
El uso más antiguo de la energía eólica del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios, de 5,000 años de antigüedad, que

muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo. Hasta el siglo XIX, con el perfeccionamiento e introducción de las máquinas de vapor, la navegación dependió casi exclusivamente de este recurso energético. Ya en el siglo XX, con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedó relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros.

Recientemente, sobre todo motivadas por los aumentos de los precios del petróleo de los años 1973 y 1979, se realizaron experiencias y construyeron barcos prototipo que utilizan la energía eólica como medio para ahorrar combustible. En transporte transoceánico, con los diseños actuales, podrían alcanzarse ahorros del orden del 10%.

Las primeras máquinas eólicas de las que se tiene documentación datan del siglo VI d.c. eran de eje vertical (véase la figura 2.1) y se las utilizaba para moler granos y bombear agua en la región de Sijistán, entre Irán y Afganistán.

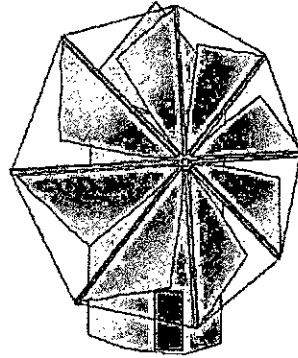
**FIGURA N° 2.1
PANÉMONAS**



Fuente: (Moragues Et Al, 2003)

Existen indicios, aunque no demostrados, que el uso de estos molinos, denominados panémonas, se remontan según distintos autores entre 200 y 500 años antes de nuestra era. Con posterioridad, y especialmente en las islas griegas del Mediterráneo, se desarrollaron molinos de viento de eje horizontal (véase la figura 2.2) cuya principal característica fue la utilización de velas triangulares a modo de palas. Aún hoy son utilizados en la isla griega de Mikonos para moler granos.

**FIGURA N° 2.2
MOLINO GRIEGO**



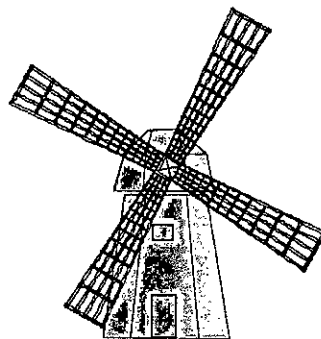
Fuente: (Moragues Et Al, 2003)

Es de destacar que este tipo de diseño permite ajustar la superficie de captación, según la velocidad del viento, arrollando las velas en sus "mástiles".

En el siglo XI d.c. los molinos de viento eran extensivamente utilizados en el Medio Oriente. Recién en el siglo XIII y como consecuencia de las Cruzadas fueron introducidos en Europa. Durante la Edad Media se construyeron muchos molinos llegando al extremo de que los señores feudales se reservaban el derecho de autorizar su construcción, como modo de obligar a sus súbditos a moler los granos en los molinos de su propiedad. Plantar árboles cerca de ellos estaba prohibido pues debía asegurarse a libre incidencia del viento.

En el siglo XIV los holandeses tomaron el liderazgo en el mejoramiento de los molinos y comenzaron a utilizarlos extensivamente para drenar las regiones pantanosas del delta del río Rin. A fines del siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para la elaboración de aceites, papel y procesar la madera en aserraderos. A comienzos del siglo XVI se empezaron a utilizar para el drenaje de "polders", empleándose máquinas de hasta 37 kw. (50 HP) cada una. (Véase la figura 2.3). A mediados del siglo XIX cerca de 9000 molinos operaban en Holanda con diferentes propósitos, algunos de hasta 65 kw. (90 HP). Con la introducción de las máquinas de vapor durante la Revolución Industrial comenzaron a declinar y menos de 1000 máquinas estaban en condiciones de operación a mediados del siglo XX.

**FIGURA N° 2.3
MOLINO HOLANDÉS**



Fuente: (Moragues Et Al, 2003)

En Dinamarca, al finalizar el siglo XIX, cerca de 3000 molinos eran utilizados con fines industriales y cerca de 30.000 en casa y granjas, proveyendo una potencia equivalente a 200 MW.

Como en otras regiones del mundo la aparición de alternativas más baratas de abastecimiento energético hizo que paulatinamente fueran reemplazándose por máquinas térmicas o motores eléctricos alimentados desde las redes.

Procesos similares tuvieron lugar en otras regiones del mundo, haciendo que el uso del recurso eólico quedase relegado a satisfacer necesidades puntuales en medios rurales o comunidades aisladas, sin ninguna participación en el mercado energético.

Como señalamos en la introducción, la toma de conciencia sobre la agotabilidad de los recursos energéticos no renovables (o de los renovables no debidamente utilizados), la creciente preocupación por el impacto sobre el medio ambiente de los combustibles fósiles y la energía nuclear, y las bruscas alzas de los precios del petróleo ocurridos en la década del 70, intensificaron la búsqueda de alternativas de

abastecimiento energético, renaciendo el interés por el recurso eólico.

Los países industrializados focalizaron sus desarrollos en el abastecimiento de energía eléctrica. Los logros alcanzados en el plano de la investigación y desarrollo y, más aún, en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica.

Distinto es el caso de los países no industrializados, o menos desarrollados, donde la falta de sistemas de distribución y la carencia de recursos para afrontar las enormes inversiones necesarias, modifican el enfoque. En muchos de estos países el interés se focaliza en la urgente necesidad de cubrir demandas insatisfechas y potenciar el desarrollo regional. Esto ha motorizado el desarrollo de máquinas eólicas de menor porte que, experiencias mediante, han demostrado ser competitivas.

2.2.2. La energía del viento

El viento es la masa de aire en movimiento, con un contenido energético. La energía cinética asociada viene dada por:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m_{aire} v^2 \quad (1)$$

E_{cin} : Energía cinética en [J]

m_{aire} : Masa del aire [Kg]

v : Velocidad del viento [m/s]

De la ecuación anterior, se puede definir la potencia del viento como:

$$P [W] = \frac{dF_{aire}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm_{aire}}{dt} v^2 \quad (2)$$

P: Potencia del viento [W]

La potencia es definida respecto a la cantidad de aire que circula por un determinado sector del espacio.

A su vez, la masa puede ser expresada como

$$m_{aire} [kg] = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] V [m^3] \quad (3)$$

ρ : Densidad del aire

V: Volumen del aire

Definir la variación de la masa respecto al tiempo, conlleva una variación del volumen del aire que circula por el mismo sector:

$$\frac{dm_{aire}}{dt} = \rho \frac{dV_{aire}}{dt} \quad (4)$$

A su vez, el flujo volumétrico está definido por:

$$F \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{dV_{aire}}{dt} \quad (5)$$

F: Flujo volumétrico de aire

También es válida la siguiente expresión:

$$F \left[\frac{m^3}{s} \right] = A \left[m^2 \right] v \left[\frac{m}{s} \right] \quad (6)$$

A: Sección ortogonal al vector velocidad del aire, en m².

A 15 °C. y presión normal, la densidad del aire es: 1.225 Kg/m³.

Sustituyendo la ecuación (5) en (6), se obtiene:

$$\frac{dm_{aire}}{dt} = \rho \cdot A \left[m^2 \right] v \left[\frac{m}{s} \right] \quad (7)$$

Luego, se obtiene la ecuación que define el comportamiento de la potencia de una masa de aire (viento) que se desplaza con una cierta velocidad por unidad de superficie.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (8)$$

P: potencia en Watts

ρ : Densidad del aire en Kg/m³ (varia con la temperatura, la altura y la y humedad).

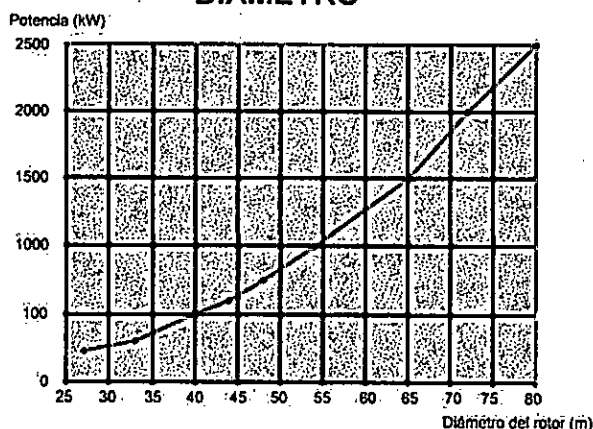
A: superficie en m²

v: Velocidad en m/s

La ultima ecuación expresa que la potencia es función del cubo de la velocidad del viento y proporcional a la superficie de la sección. Se puede afirmar que la potencia tiene un comportamiento cuadrático frente al diámetro del aerogenerador, si se considera la velocidad del viento constante.

La siguiente figura muestra la potencia del aerogenerador como función del diámetro del aerogenerador.

FIGURA N° 2.4
POTENCIA DEL AEROGENERADOR COMO FUNCIÓN DEL DIÁMETRO

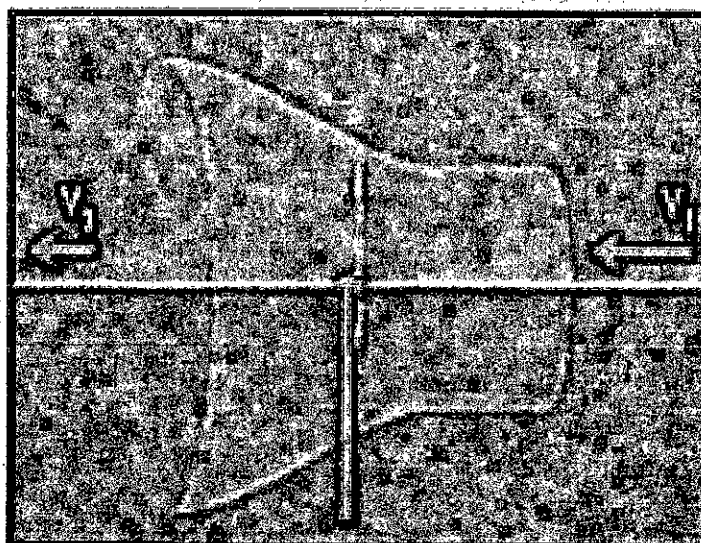


Fuente: (IAE, 2003)

2.2.3. La Ley de Betz y la máxima eficiencia de conversión

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro "Wind Energy", publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en este momento se tiene sobre la energía eólica y los aerogeneradores. Betz, define la potencia captada por un obstáculo que frena el libre movimiento del viento (véase la figura 2.5). Por conveniencia se va a considerar un aerogenerador como un obstáculo.

FIGURA N° 2.5
VELOCIDAD ANTES Y DESPUÉS DEL AEROGENERADOR



Fuente: (winpower.org)

La potencia captada por el aerogenerador se define como la diferencia instantánea de la energía cinética antes y después de pasar por el obstáculo en un tiempo Δt

$$P_{\text{captado}} = \frac{E_{\text{cin}_2} - E_{\text{cin}_1}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \Delta m_{\text{aire}} (v_1^2 - v_2^2) \quad (9)$$

Otra manera de definir la masa de aire que pasa por el aerogenerador se logra considerando el promedio de las velocidades a antes y después del obstáculo.

$$\frac{\Delta m_{\text{aire}}}{\Delta t} = \rho A \frac{(v_1 + v_2)}{2} \quad (10)$$

Sustituyendo la masa del aire con lo expresado en la ecuación (9)

$$P_{\text{captada}} = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (11)$$

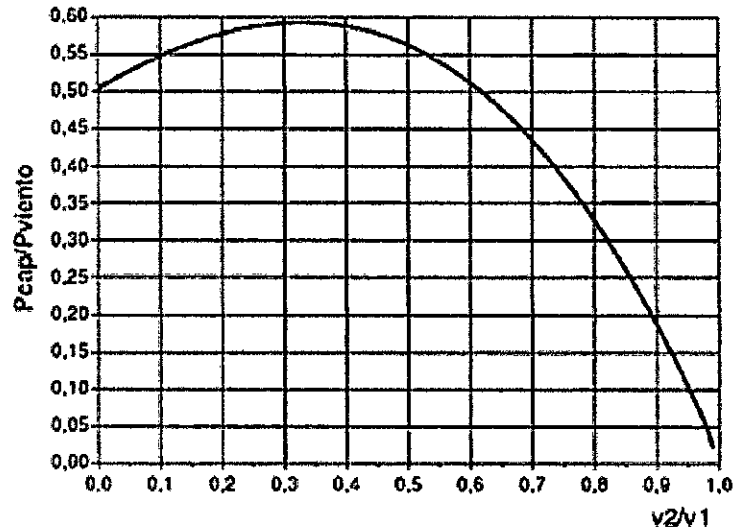
Luego se define la razón entre la potencia captada sobre la potencia del viento definida por la ecuación (11) donde v será v_1

$$\frac{P_{\text{captada}}}{P_{\text{viento}}} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (12)$$

Esta ecuación permite relacionar $\frac{P_{\text{captada}}}{P_{\text{viento}}}$ vs $\frac{v_2}{v_1}$, tal

como se muestra en la figura 2.6.

FIGURA N° 2.6
CURVA DE EFICIENCIA DE BETZ



Fuente: (winpower.org)

La curva obtenida anteriormente define un máximo en

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \text{ con una potencia}$$

máxima captada de: $P_{captada} = \frac{16}{27} \cdot P_{viento}$. Como resumen

de esto se define la relación aproximada tal como aparece en la ecuación (12) y se denomina Ley de Betz y representa la máxima cantidad de energía del viento que se puede transformar en energía mecánica rotacional

$$P_{captado} = 0.59 \cdot P_{viento} \quad (13)$$

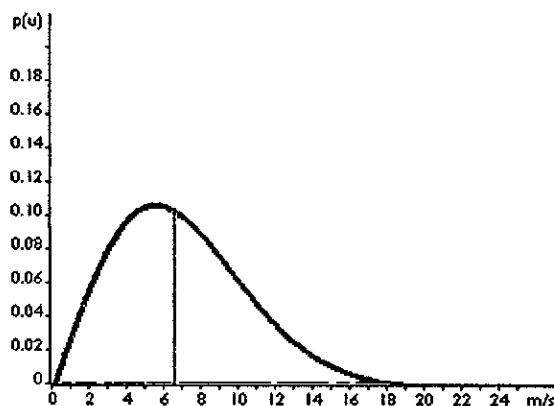
Esta ecuación es un límite teórico ideal ya que no considera los siguientes factores reales de operación:

- Resistencia aerodinámica de las palas.
- La compresibilidad del fluido.
- La interferencia de las palas.

2.2.4. La distribución de Weibull

La curva de distribución de Weibull es la que mejor se adapta a los datos estadísticos de las velocidades de los vientos que se pueden registrar en una zona a lo largo de un año. Tal como se puede apreciar en la Figura 2.7, esta curva indica con que probabilidad se puede observar una determinada velocidad de viento dentro del universo de muestras obtenidas. El área bajo la curva vale 1. El viento promedio se define como aquel que corta el área bajo la curva justo en la mitad. Esto significa que el área a la derecha del viento promedio es igual al área izquierda.

FIGURA N° 2.7
CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL



Fuente: (Montgomery, 2004)

Como se explica a continuación, el viento no nos entrega el promedio de la potencia que este recurso es capaz de aportar. Hay que recordar que la ecuación (4) define la potencia del viento en función de su velocidad al cubo. Esto implica que la función de distribución de la potencia del viento tendrá que sufrir un cambio de variable no lineal al obtenerla de la curva de distribución del viento. Esta alteración deforma significativamente la curva, la cual por ser distribución debe seguir manteniendo la relación del área igual a 1. En consecuencia, la potencia promedio es definida, en base a su curva, respecto a una velocidad del viento distinta a la velocidad del viento promedio. Esto se puede explicar de forma intuitiva considerando que los raros vientos de mayor velocidad pueden aportar una potencia bastante más considerable que vientos más moderados que se verifican más a menudo. Todo esto simplemente, por el factor al cubo que liga la velocidad del viento a la potencia.

2.2.5. La rugosidad

Es importante cuantificar el efecto de la morfología del territorio circundante al aerogenerador sobre la velocidad del viento. Para esto se define la "rugosidad" expresada por la ecuación (14). Esta función se modifica

dependiendo de los obstáculos físicos presentes en el entorno que inciden sobre el desplazamiento del aire (Tabla 2.1).

$$v(z) = v_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)} \quad (14)$$

z : es la altura desde el suelo

v_{ref} : es la velocidad medida a una altura z_{ref}

z_0 : es la longitud de la rugosidad

**TABLA N° 2.1
RUGOSIDAD Y PAISAJE**

Clase de rugosidad	Tipo de paisaje
0	Superficie del agua
0.5	Terreno completamente abierto con una superficie lisa
1	Agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos
1.5	Agrícola con algunas casas y setos (dist. 1250[m])
2	Agrícola con algunas casas y setos (dist. 500 [m])
2.5	Agrícola con muchas casas, arbustos y planta (dist. 250 [m])
3	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola
3.5	Ciudades más grandes con edificios altos
4	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

Fuente: (OMM. Tabla de valores de rugosidad. Aspectos metodológicos de la utilización del viento como fuente de energía, 1984).

TABLA N° 2.2
COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad [m]	Índice de energía (%)
0	0.0002	100
0.5	0.0024	73
1	0.03	52
1.5	0.055	45
2	0.1	39
2.5	0.2	31
3	0.4	24
3.5	0.8	18
4	1.6	13

Fuente: (OMM. Tabla de valores de rugosidad. Aspectos metodológicos de la utilización del viento como fuente de energía, 1984)

2.2.6. Rendimiento de aerogeneradores

Como se vio anteriormente, y en particular en la ecuación (13), no se puede convertir toda la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Este límite se ve ulteriormente disminuido por varios elementos que conllevan distintas pérdidas en el proceso de conversión de la energía eólica en energía eléctrica.

Básicamente se puede expresar lo anterior de la forma siguiente:

$$P_{mec} = C_p \times P_{viento} = C_p \times \frac{1}{2} \rho \cdot A v^3 \quad (15)$$

Donde C_p no puede superar el límite de Betz, y adicionalmente:

$$P_{elect} = C_e \times C_p \times P_{mec.} = C_e \times C_p \times \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (16)$$

Donde C_e es la eficiencia de la maquina eléctrica (aproximadamente 90%. C_p no es constante y varia con la velocidad del viento, la velocidad angular de la turbina y con el ángulo de ataque de los alerones para los aerogeneradores que poseen esta característica. Y todo lo anterior depende fuertemente del bloqueo que el aerogenerador genera sobre el flujo de aire.

Una manera más útil para determinar la eficiencia del aerogenerador es utilizar la relación de velocidad tangencial o TSR. Es un término que sustituye al número de revoluciones por minuto de la turbina, sirve para comparar el funcionamiento de máquinas eólicas diferentes, por lo que también se le suele denominar velocidad específica.

$$TSR = \frac{r_{aero} \times \omega_{aero}}{V_{viento}} \quad (17)$$

r_{aero} = radio del aerogenerador, m

ω_{aero} : Velocidad angular de la turbina e, rad/seg.

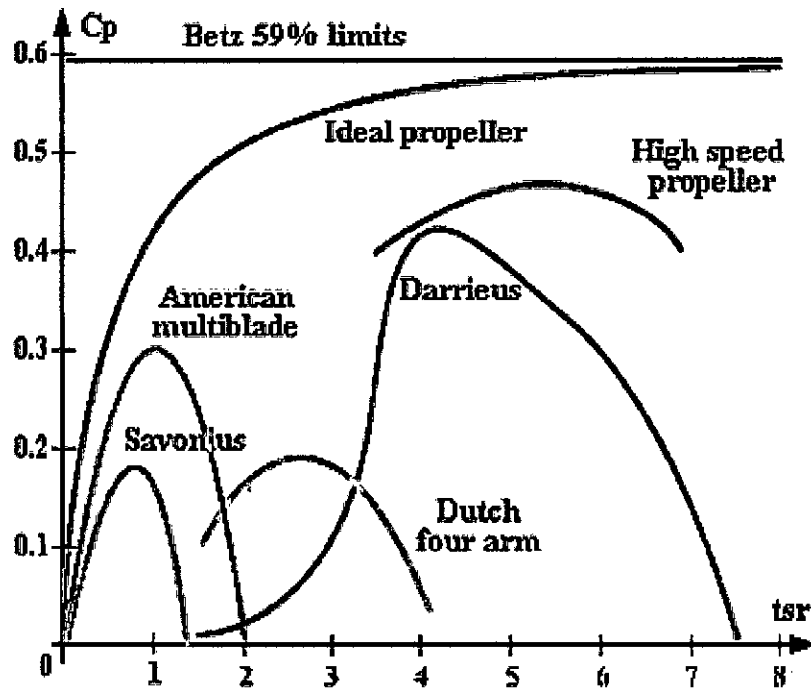
V_{viento} : Velocidad del viento, m/s

El TSR es una buena manera de analizar el comportamiento del C_p de cada tipo de aerogenerador.

El resultado de lo anterior se demuestra en los modelos mas exitosos tal como el Darrieus y los HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) tradicionales.

Los HAWT y los Darrieus tienen la característica de alcanzar una velocidad rotacional muy elevada y esto hace que la variable ω_T se desligue de la velocidad del viento e inclusive que la supere en su componente tangencial. Por esto se logran TSR mayor a 1. Para los otros VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) es difícil lograr una velocidad rotacional independiente y superior a la que impone el viento. Pero esto no implica que se pueden lograr buenos C_p con bajos TSR. Por ejemplo, se podría pensar en mejorar la estructura del Savonius para que la curva que se muestra en la figura N° 2.8, se desplace un poco hacia arriba alcanzando nuevos valores de C_p .

FIGURA N° 2.8
CP VS TSR PARA DIFERENTES TIPOS DE AEROGENERADORES



Fuente: (Funes Ruiz, 2009)

Se puede expresar W_{aero} en función de η :

$$W_{aero} = \frac{2 \times \pi \times \eta}{60} \quad (18)$$

La tabla 2.3, Define los distintos C_p máximos de los distintos aerogeneradores.

TABLA N° 2.3

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISTINTOS AEROGENERADORES

Tipo de aerogenerador	Velocidad de operación	Torque	Complejidad constructiva	Cp	Robustez en %
Eje horizontal					
De moderadas RPM	Moderada	Bajo	Moderada	0.2-0.35	5 - 10
De altas RPM	Alta	Muy bajo	De precisión	0.3-0.45	< 5
Eje vertical					
Panemono	Baja	Medio	En bruto	> 0.1	50
Savonius	Moderada	Medio	Moderada	0.15	100
Darrieus	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.25-0.35	10-20
Geometría variable	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.2-0.35	15-40

Fuente: (IMPSA, 2010)

2.2.7. Contexto energético peruano

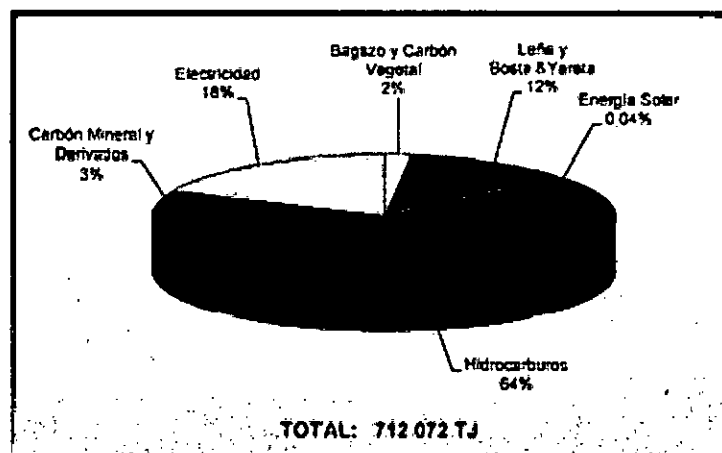
En el año 2012, el consumo final total de energía fue 712 072 TJ, superior en 1% con respecto al año anterior, debido al incremento del consumo de los hidrocarburos líquidos y del gas natural en el Sector Transporte.

La estructura del consumo final de energía, estuvo conformada de la siguiente manera: 28% diesel/DB5; 18% electricidad, 11% leña, 9% gas licuado, 8% gas distribuido, 7% gasohol, 4% turbo, 4% no energéticos de

petróleo y gas, 3% carbón mineral, 2% petróleo industrial, 2% bagazo, 1% bosta & yareta, 1% gasolina motor, completando carbón vegetal y energía solar con porcentajes menores.

El consumo final de bagazo se incrementó en 33% respecto al 2011. Para el caso de la leña, la bosta y la yareta, su reducción se explica por su sustitución por el GLP en el sector residencial, así como por la migración de la población proveniente de zonas rurales hacia zonas urbanas para el 2012. De esta manera, la población rural registró una tasa de crecimiento de -1% durante el 2012, lo que explicaría la caída en el consumo de dichas fuentes de energía, cuyo consumo es básicamente residencial con fines de cocción y calefacción.

**FIGURA N° 2.9
CONSUMO FINAL DE ENERGÍA**



Fuente: (MINEM, 2012)

2.2.8. Agentes relevantes del sector energético peruano

Dentro de los principales agentes relevantes en el sector energético peruano se tiene:

a) Ministerio de Energía y Minas (MINEM):

El Ministerio de Energía y Minas, es el organismo central y rector del sector energía y minas, y forma parte integrante del Poder Ejecutivo. El MEM tiene como finalidad formular y evaluar, en armonía con la política general y los planes del Gobierno, las políticas de alcance nacional en materia del desarrollo sostenible y asuntos ambientales de las actividades minero - energéticas.

b) Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN):

El OSINERGMIN es un organismo público cuya misión es regular, supervisar y fiscalizar, en el ámbito nacional, el cumplimiento de las disposiciones legales y técnicas relacionadas con las actividades de los subsectores de electricidad, hidrocarburos y minería, así como el cumplimiento de las normas legales y técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de dichas actividades.

c) Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI):

El INDECOPI es un Organismo Público Especializado y sus funciones son la promoción del mercado y la protección de los derechos de los consumidores.

d) Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES):

El COES es una entidad privada, sin fines de lucro y con personería de Derecho Público. Está conformado por todos los Agentes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), generadores, transmisores, distribuidores y usuarios libres. Sus decisiones son de cumplimiento obligatorio por los Agentes. Tiene por finalidad coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo del SEIN al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema, el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como planificar el desarrollo de la transmisión del SEIN y administrar el Mercado de Corto Plazo.

e) Centro de Conservación de Energía y del Ambiente

(CENERGÍA):

Es una entidad sin fines de lucro, destinada a promover la eficiencia energética en todas las actividades económicas en el Perú. Elabora estudios para las instituciones normativas y regulatorias del sector energía, así como implementa proyectos destinados a la aplicación de buenas prácticas en el uso de los energéticos en las empresas y realiza estudios de medidas para la prevención y mitigación de los impactos negativos en el ambiente de las actividades productivas y de servicios en el país. CENERGIA es pionera en el desarrollo de actividades productivas y de servicios en el país.

2.2.9. Política energética peruana

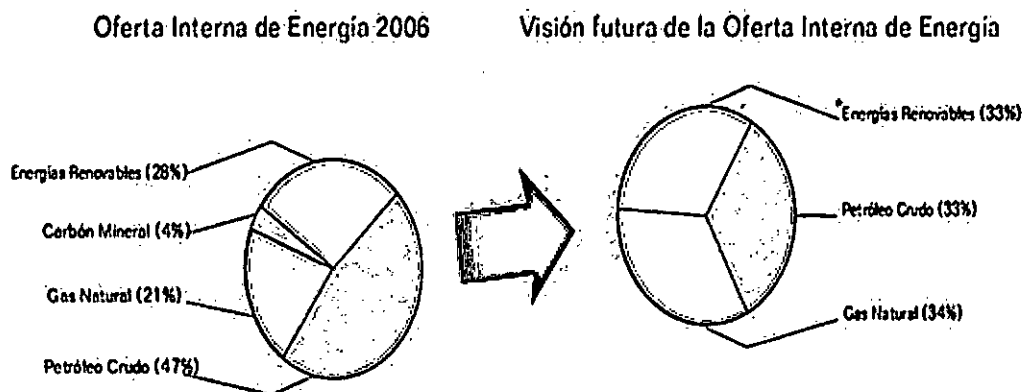
La política energética en el Perú se desarrolla según los siguientes lineamientos principales:

- a. Diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento confiable y oportuno a la demanda de energía, a fin de garantizar el desarrollo sostenible del país.
- b. Promover la inversión privada en el sector energético con reglas claras y estables.

- c. Fomentar y ejecutar las obras de energización en las zonas rurales y aisladas del país para ampliar la cobertura de la demanda y mejorar la calidad de vida de la población.
- d. Fomentar el uso eficiente de la energía.
- e. Promover la integración energética regional.

El objetivo del gobierno peruano es pasar de una matriz energética basada fundamentalmente en hidrocarburos a conseguir la siguiente distribución energética, donde la energía renovable, el petróleo y el gas natural participan a partes iguales:

**FIGURA N° 2.10
VISIÓN FUTURA DE LA MATRIZ ENERGÉTICA**



Fuente: (MINEM, 2012)

La aprobación de sendas leyes sobre la promoción para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y otra sobre el uso eficiente de la energía, muestra la apuesta que el gobierno peruano está llevando a cabo en el sector de las energías renovables y de la eficiencia energética.

2.2.10. Análisis del sector de la energía eólica

a) La energía eólica en el mundo y Europa

El Consejo Global de la Energía Eólica (Global Wind Energy Council, GWEC) acaba de hacer público su último informe anual (Global Wind Report. Annual Market Update). En ese documento, el GWEC actualiza todos los grandes números de la industria eólica global y adelanta sus previsiones para el quinquenio 2014-2018. Según el informe de GWEC, en 2018 el parque eólico global alcanzará los 600.000 megavatios (MW). Más aún asegura que, en 2025, en países como Reino Unido, generar electricidad en un parque eólico marino será más barato que producirla con gas en una central térmica de ciclo combinado.

Global Wind Energy Council (GWEC) prevé sean instalados a lo largo del presente curso (2014) al menos 47.000 MW de nueva potencia eólica (en

2013, y según datos de la Asociación Mundial de la Energía Eólica, el mundo añadió a su parque eólico global 36.254 megas, lo que sitúa la Previsión 2014 muy por encima del Registro 2013). GWEC señala, entre otras cosas, que China encabezará este año la carrera eólica, si bien el mercado estadounidense mostrará una "fuerte recuperación", y los de Canadá y Brasil batirán todas sus marcas precedentes. Este último informe prevé además "centenares de megavatios en Suráfrica", nación que completaría el quinteto top de la Eólica 2014. En 2013, los cinco mercados más dinámicos del mundo han sido los de China, que ha añadido más de 16.000 megas a su parque eólico nacional (hasta situarlo por encima de los 91.000 MW), Alemania (3.238 megas instalados), Reino Unido (1.883), India (1.729) y Canadá (1.599).

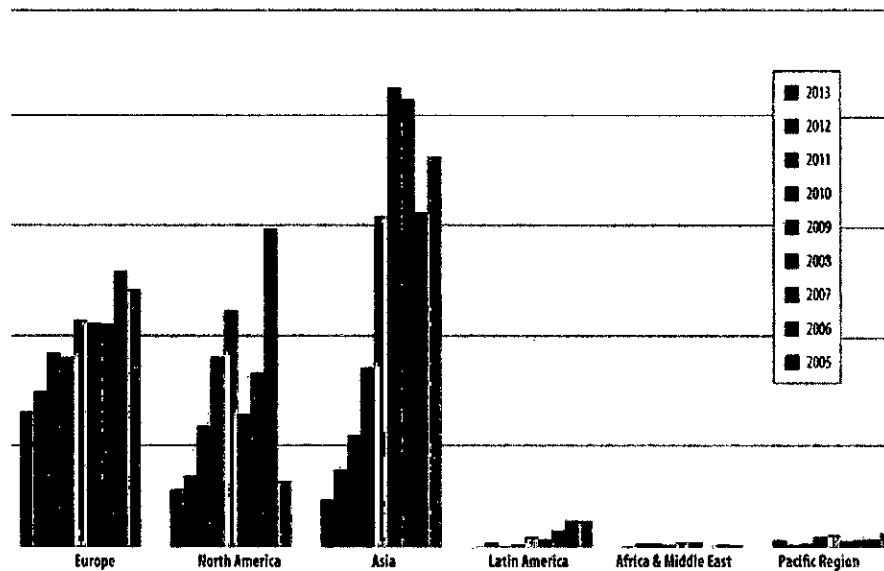
En la siguiente figura podemos ver cuáles han sido los principales mercados, por regiones, durante la última década. Se observa como Europa registra un crecimiento constante, típico de una economía madura a la que aún le queda bastante capacidad por instalar, pues la eólica marina gozará de muy buena salud en los siguientes años. Norteamérica registra

saltos año a año dependiendo de las rachas de Estados Unidos, mientras que Asia, sobre todo China y de forma secundaria India, se ha embalado, liderando el mercado mundial por goleada.

La gran incógnita es si América Latina (Sur y Centroamérica) será capaz de arrancar por fin. Se trata de una región con unas necesidades de electricidad inmensas, economías muy pujantes y nada menos que 600 millones de habitantes que hablan español o una lengua prima hermana: portugués.

Un mercado perfecto para las empresas españolas, no en vano Gamesa tiene intereses comerciales en toda la región, destacando Brasil y México como principales mercados.

**FIGURA N° 2.11
UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNDO**



(Global Wind Energy Council GWEC, 2014)

En 2018, habrá 600.000 megavatios eólicos instalados en todo el mundo en lo que se refiere estrictamente a las previsiones, el secretario general del Consejo Global, Steve Sawyer, ha señalado que las economías emergentes van a desempeñar "un rol creciente en el mercado global", lo que, unido al previsible vigor de la eólica china y a la recuperación en Estados Unidos, se traducirá en la cuasi duplicación de la potencia eólica instalada en los próximos cinco años. Así, en 2018, y según las previsiones del GWEC, el mundo rondará los 600.000

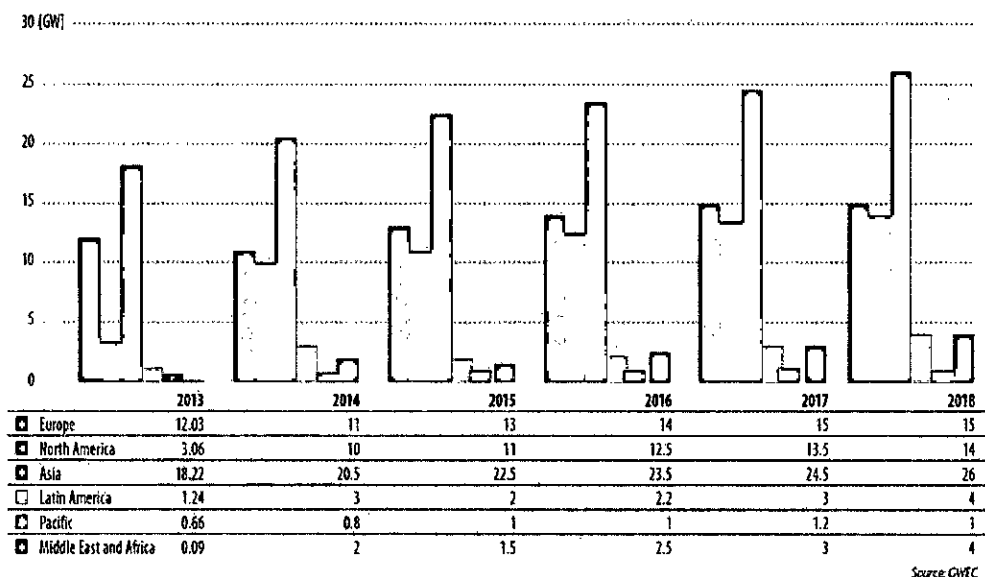
MW eólicos instalados. La distribución de esa potencia sería tal y como sigue: 120 gigas en Asia; alrededor de 68 GW en Europa; 61 gigavatios en el norte de América (la incertidumbre regulatoria que se avecina, sobre todo en Estados Unidos, convierte esta en "la parte más difícil de este pronóstico", según el GWEC); 14 GW en Latinoamérica (si bien solo una nación, Brasil, podría alcanzar esta cifra si se materializan sus planes gubernamentales); África y Oriente Medio, 13 gigas; y la región del Pacífico, cinco gigas (5.000 megavatios, MW).

b) Incertidumbre en España, buenas previsiones en Latinoamérica

El informe se detiene poco en España: "The future of the Spanish wind market at present is very uncertain" (el futuro del mercado eólico español es muy incierto en la actualidad). Mejores son las expectativas, como se ha visto, en Latinoamérica. Según este Market Update del GWEC, "la energía eólica está alcanzando masa crítica en un cierto número de mercados de la región (...). En el medio-largo plazo -explica el informe-, la demanda de seguridad energética y de diversidad de fuentes de suministro animará el

despliegue de la energía eólica en Latinoamérica". La industria eólica y su cadena de suministro "están firmemente establecidas en Brasil" y las perspectivas inmediatas para el mercado eólico brasileño son "prometedoras" (en 2014, Brasil añadirá, según el GWEC, 4.000 MW a su parque eólico nacional). Chile podría sumar 1.850 MW en el quinquenio todo (450 de ellos está previsto sean conectados en 2014) y le seguirían algo a la zaga Argentina (2.000 MW en fase casi germinal de promoción) y Uruguay (otros 350).

**FIGURA N° 2.12
PRONÓSTICO DE MERCADO ANUAL PARA LA ENERGÍA EÓLICA**



Fuente: (Global Wind Energy Council GWEC, 2014)

c) La clave, la Política de cambio climático

La previsión global del GWEC, en todo caso, parece optimista, pues duplicar la potencia instalada en solo cinco años no es precisamente un crecimiento flaco. El Consejo se muestra no obstante cauto: "sin una política climática global fuerte, el crecimiento del mercado probablemente no volverá a presentar tasas del 20 ó del 25%, como las registradas durante las dos últimas décadas". Para que la industria eólica pueda desarrollar todo su potencial -insiste Sawyer-, "es esencial que los gobiernos se tomen muy en serio, y pronto, el cambio climático". En resumen, el informe anual del Global Wind Energy Council hace una fotografía de la situación eólica presente en más de ochenta países, 24 de los cuales ya cuentan con más de mil megavatios eólicos instalados, y señala las tendencias para el quinquenio 2014-2018.

d) Energía eólica en el Perú

La energía del viento ha sido ampliamente utilizada en el Perú como alternativa para que los campesinos extraigan agua del subsuelo. Piura, Chiclayo, Ica, Arequipa, Puno y los valles del desierto de Lurín presentan condiciones ideales para el funcionamiento

de estos equipos. Los vientos alcanzan velocidades promedios de 6 a 9 metros por segundo, lo que gráficamente equivale a que el aire levanta polvo y hojas de papel o que en estanques se formen crestas en la superficie del agua. En Piura cada máquina bombea entre 40 a 60 metros cúbicos por día, una persona del medio rural requiere 125 litros por día; una hectárea de algodón 165 metros cúbicos semanales.

En Arequipa, en el margen del río Chili, miles de aspas giran entre el sol y el viento irrigando ingeniosamente más de 450 hectáreas de cultivos. Se han realizado estudios para determinar el potencial de utilización de la energía eólica principalmente en Piura, Arequipa y recientemente en Puno como alternativa de solución a los problemas de sequía que se presentan en esa región. Las velocidades registradas alcanzan 18 Km. /h. y a 70 - 100 metros por encima del nivel del suelo se registran velocidades variables con un promedio de hasta 30 km/hr.

Estas velocidades del viento son suficientes para justificar el bombeo con energía eólica cuando la

profundidad a que se halla el agua no es excesiva, y puede permitir la generación de electricidad a pequeña escala por medio del viento en zonas aisladas. Existen aportes muy interesantes, científicos y de aplicaciones específicas que han sido desarrolladas principalmente por el Ing. Oscar A. Almenara y por el Ing. Julio Escobar Aguirre, para el caso específico del Perú acerca de la energía eólica y las zonas y diferentes formas de aprovechamiento. Transcribiremos a continuación algunos de los más significativos aportes realizados y publicados: Por ejemplo, el Ing. Oscar A. Almenara afirma: "Como la velocidad del viento en lugares apropiados es del orden de 20 - 25 km/hr., es decir de 5.57 a 7 m/seg. Vemos que se puede recuperar 0.062 kw/m^2 , o lo que es lo mismo que se necesitan 16 m^2 de asta de molino para producir un kw. Se ve pues que se trata de una energía muy diluida.

La velocidad del viento en un determinado lugar depende de varios factores: rumbo, altura sobre el suelo y configuración del terreno. El rumbo tiene poca importancia, pues es fácil disponer un mecanismo para que el molino presente el frente a la dirección

más favorable del viento. Una formula usual en molinos pequeños es adaptando una cola orientadora en la parte posterior. En este caso Jacobs, encontró que con molinos de dos aspas la cola determina una inestabilidad muy grande del aparato, lo que se eliminó introduciendo la hélice de 3 aspas. Debe también adaptarse al molino un medio de seguridad para el caso de vientos huracanados, que puede ser el cambio en el paso de la hélice, solución costosa o simplemente, un mecanismo movido por el viento y que hace girar el conjunto de la hélice reduciendo el frente de ataque y consecuentemente su eficiencia. Por otro lado, la velocidad del viento varía con la altura en forma exponencial de acuerdo a:

$$\frac{v}{v_0} = \left[\frac{h}{h_0} \right]^k \quad (19)$$

En esta fórmula v y v_0 son las velocidades a las alturas respectivas h y h_0 . El exponente k depende esencialmente de la pendiente y rugosidad del terreno, en una distancia que puede extenderse a algunos cientos de metros por delante del pie del molino y depende también del rango de alturas. Por ejemplo, Frenkel, encuentra que en un determinado

punto, en el rango de 25m. - 10m., k varia de 0.138 a 0.366, mientras que en el rango de 40m. - 25m. Varía de 0.079 a 0.148, para distintos rumbos del molino y consecuentemente, para distintos perfiles de terreno.

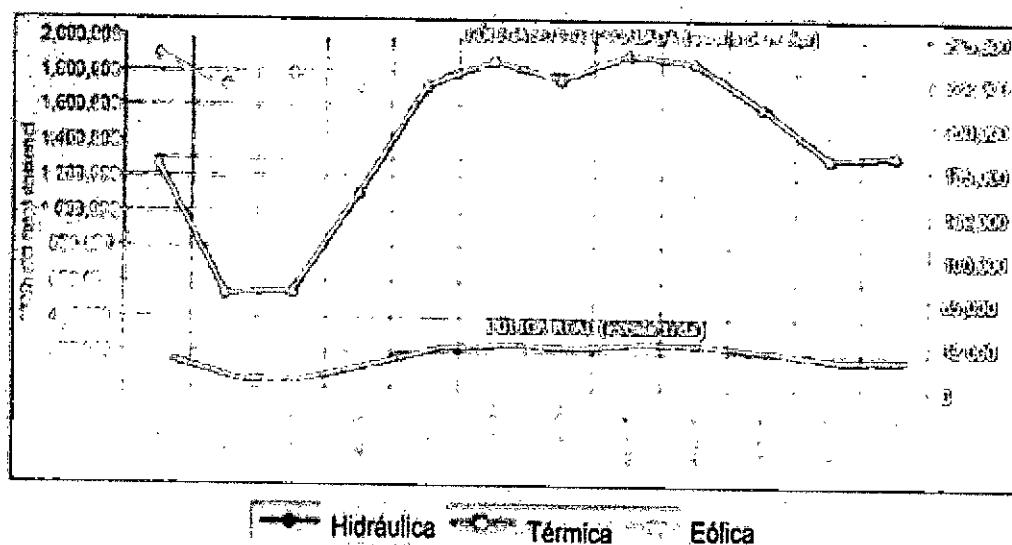
e) Situación Actual de la energía eólica en el Perú:

Aunque la capacidad instalada hasta el momento en el país andino alcanza apenas el megavatio, el país dispone de un potencial eólico superior a los 22 GW. Y según el Atlas Eólico del Perú los departamentos de Ica y Piura, situados en la costa, son las regiones que cuentan con el mayor potencial aprovechable, con 9.144 MW y 7.554 MW respectivamente, existiendo registros de viento de 5 a 7 m/s.

La demanda de energía eléctrica del país está registrando altas tasas de crecimiento. Por otro lado, la generación de energía eléctrica es fundamentalmente hidroeléctrica, por lo que depende del régimen de lluvias y además también existe una importante participación del gas natural. Respecto al gas natural, la red que abastece de gas natural al país no es suficiente para satisfacer la alta demanda existente, aunque el gobierno está trabajando ya en la ampliación del gasoducto.

Teniendo en cuenta la situación actual, el país necesita diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento energético y la energía eólica, debido a su alto potencial en el país, se configura como una excelente oportunidad. Además, existen estudios que indican que el régimen de generación hidroeléctrica y el régimen de vientos se complementan a lo largo del año. Tal y como muestra la siguiente figura, existe una alta producción hidroeléctrica de diciembre a mayo y un régimen estable de recurso eólico favorable de mayo a noviembre.

**FIGURA N° 2.13
COMPLEMENTARIEDAD ENTRE ENERGÍA EÓLICA E HIDRÁULICA**



Fuente: (Energía Eólica S.A., 2014)

El objetivo de la Ley 1.002 es la promoción de la inversión para la generación de electricidad con energías renovables y por lo tanto de la energía eólica. La Ley prevé la subasta de 500 MW. La adjudicación es por orden de mérito en función que no supere la tarifa máxima de adjudicación, y hasta completar la participación de cada tecnología indicada en las bases para cubrir el total de la energía requerida. La energía requerida se distribuye entre las fuentes renovables de acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 2.4:

**TABLA N° 2.4
SIGNACIÓN DE LA ENERGÍA REQUERIDA POR TECNOLOGÍA**

Energía	Tecnología biomasa	Tecnología eólica	Tecnología solar	Total
MWh/año	813	320	181	1314

fuente: (MINEM, 2008)

La adjudicación será por cada tecnología y es el OSINERGMIN quien fijará una tarifa máxima de adjudicación para cada tecnología a través del proceso de adjudicación de la prima que se determina por el mecanismo llamado subasta de energía entre los inversionistas para cubrir el cupo de energías

renovables. Este mecanismo se ha diseñado para garantizar a los inversores una rentabilidad no menor al 12%.

Aquellas tecnologías que no alcance su cupo de energía requerida se cubrirá con la siguiente tecnología de menor precio. El primer proceso de adjudicación por subasta comenzó a desarrollarse en 2009 y a principios de 2010 se publicará la resolución de la licitación. Las fases de la subasta de energía son:

**TABLA N° 2.5
FASES DE LA SUBASTA DE ENERGÍA**

Fases de la Subasta de Energía	
Bases de la Subasta	Ministerio Energía y Minas MEM
Aviso de la Subasta	Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería OSINERGMIN
Registro de participantes	OSINERGMIN
Convocatoria y venta de bases	OSINERGMIN
Tarifa Máxima de Adjudicación para cada tecnología	OSINERGMIN
Presentación de ofertas	OSINERGMIN
Calificación y publicación de la relación de postores en la Subasta	OSINERGMIN
Adjudicación por orden de mérito	OSINERGMIN

Fuente: (MINEM, 2008)

En el caso concreto de la energía eólica, la potencia asignada es de 100 MW. El MEM ha llegado otorgar unas 60 concesiones temporales para estudios de generación eólica, lo que equivale a más de 9 GW de potencia.

Uno de los aspectos más importantes de las tecnologías de energía eólica es su integración en la red. En el caso peruano existe un primer estudio que indicaba que la potencia máxima admisible de energía eólica en la red alcanzaba los 375 MW, aunque una revisión posterior del informe por parte del COES establece la capacidad eólica en 640 MW.

2.2.11. Descripción de la celda electrolítica

Los recubrimientos electrolíticos son procesos cuyo objetivo es recubrir un objeto metálico con capas delgadas de otros metales de fuerte adherencia, mediante electrolisis en soluciones acuosas a fin de dar al objeto:

- Una mejora en su apariencia
- Protección contra la corrosión
- Un mayor valor agregado
- Mayor resistencia a la fricción

Los procesos electrolíticos requieren una serie de procesos y equipos para llevar adelante el proceso de recubrimiento de los materiales.

Entre los equipos principales se tiene los siguientes:

- El rectificador
- La celda electrolítica
- Los electrolitos
- Los electrodos
- Las barras conductoras
- Los pulidores, etc.

Entre los principales procesos tenemos:

- El decapado
- El pulido
- El desengrasado
- El recubrimiento electrolítico
- El lavado y secado

2.2.12. Variables de procesos electrolíticos

Las variables más importantes a considerar en la operación de las celdas electrolíticas son las siguientes:

a) Voltaje:

Es la cantidad adecuada de potencial que debe aplicarse a la celda; el exceso puede conllevar a depósitos granulosos y oscuros, denominado

“quemado”; mientras que su defecto se refleja en la falta de depósito o depósitos muy pobres y con poco brillo. El voltaje puede controlarse directamente del rectificador de corriente. El voltaje de aplicación a la celda electrolítica puede calcularse teóricamente a partir de la reacción principal que ocurre en la celda.

b) Densidad de corriente:

Está definida como el valor de corriente eléctrica por unidad de área superficial de cátodo. Está relacionada con la velocidad de electrodeposición por unidad de área. Existe una densidad de corriente adecuada para que la electrodeposición del metal sea compacta, brillante, de buena apariencia, etc. Este valor figura como una de las condiciones de operación y depende de cada sistema electrolítico.

Para aplicar el valor de densidad de corriente que aparece en las condiciones de operación para la celda en particular, es necesario obtener el valor del área superficial del material sobre la cual se va a electro depositar.

Este valor se halla multiplicando por el valor de la densidad de corriente y el resultado es la intensidad de corriente que debe utilizarse. El mismo que debe leerse

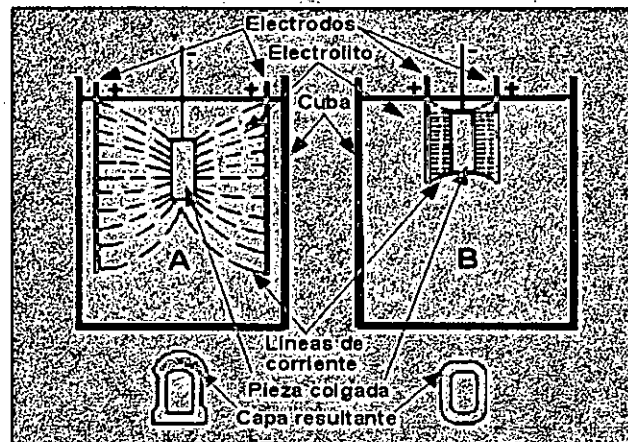
en el amperímetro de la fuente de corriente o de lo contrario en el amperímetro que debe instalarse en serie.

La distribución real de la densidad de corriente puede ser muy diferente de unas zonas a otras de la pieza colocada en el baño, y con ello producirse una capa de grosor diferente (e incluso defectuoso), en cada una, si no se tienen en cuenta ciertos factores geométricos que garanticen la igualdad de la densidad de corriente en todas las áreas de la pieza. Entre esos factores geométricos están:

- Similitud entre el relieve de la pieza y forma de los electrodos.
- Posición de los electrodos con respecto a la pieza.
- Distancia entre los electrodos y la pieza.
- Profundidad de inmersión en el baño.
- Modo en que se cuelgan las piezas dentro del baño.

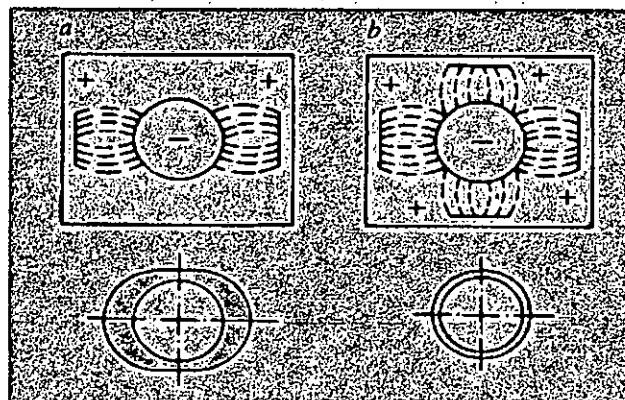
En las figuras 2.14, 2.15 y 2.16 se muestran esquemas que ilustran la influencia de algunos de estos factores en la continuidad de la capa depositada.

FIGURA N° 2.14
INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y COLOCACIÓN DE LOS ELECTRODOS,
ASÍ COMO DE LA PROFUNDIDAD DE INMERSIÓN DE LA PIEZA EN
EL ESPESOR DE LA CAPA DE RECUBRIMIENTO



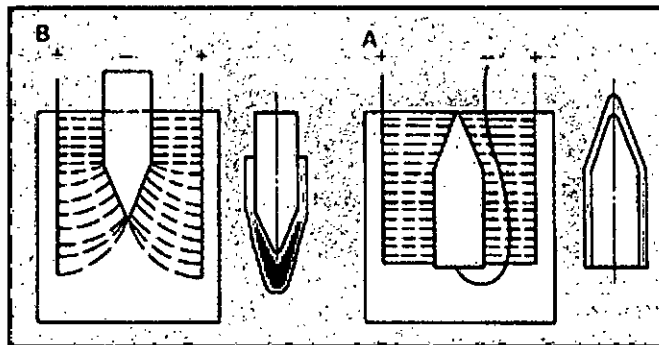
fuente: (Técnicas de Acabados de Materiales, 2012).

FIGURA N° 2.15
INFLUENCIA DE LA COLOCACIÓN DE LOS ELECTRODOS EN
RELACIÓN CON UNA PIEZA CILÍNDRICA SOBRE LA DISTRIBUCIÓN
DE LA CAPA DE RECUBRIMIENTO



fuente: (Técnicas de Acabados de Materiales, 2012)

FIGURA N° 2.16
INFLUENCIA DE LA FORMA DE COLGAR LA PIEZA SOBRE LA
DISTRIBUCIÓN DE LA CAPA DE RECUBRIMIENTO EN EL BORDE
FILOSO



Fuente: (Técnicas de Acabados de Materiales, 2012)

c) Temperatura:

Por lo general, el calentamiento de las soluciones electrolíticas mejora su conductividad y el proceso electrolítico se desarrolla mejor; no obstante, es necesario tener cuidado con las soluciones cianuradas por el peligro de las emanaciones de gas cianhídrico asimismo con las soluciones que utilizan abrillantamiento debido a que tienen sus propias condiciones de operación.

d) Agitación:

La agitación de la solución electrolítica en el transcurso de la electrodeposición conduce a que la solución pueda renovarse continuamente alrededor de los

electrodos y mejorar el transporte de las especies iónicas; también ayuda a la eliminación rápida de los gases que se forma en los electrodos; de esta manera la celda optimiza en gran medida su comportamiento. La agitación puede efectuarse manualmente para procesos cortos y en forma mecánica para procesos continuos

2.3. Definición de términos

Para un mejor entendimiento, definiremos los siguientes términos:

Energía Eólica: Es la energía mecánica generada por las variaciones de la temperatura del aire que genera las corrientes respectivas y que dicha energía solar se convierte en energía cinética.

Generador Eólico: Dispositivo que está compuesto de bobinas que permite transformar la energía rotacional en energía eléctrica.

Electrolito: es una solución que contiene los compuestos químicos necesarios que permiten el trabajo de electrodeposición metálica. En esta, es indispensable tener la sal que provee el catión de metal con que se desea realizar el recubrimiento. Así, si se desea que el recubrimiento sea plata, la solución debe contener iones plata; pero la sal que aporta iones plata debe ser aquella que permita la electrodeposición en las mejores condiciones de operación y costo.

Tanque o recipiente que contiene el electrolito: Deben ser de material inerte a la acción de este último y la forma que tienen depende de las necesidades de operación de recubrimiento.

Ánodo: electrodo en el que ocurren reacciones de oxidación. Pueden ser solubles o inertes de acuerdo a las necesidades.

Cátodo: Electrodo donde ocurre las reacciones de reducción; es el objeto que debe ser recubierto.

Cables de conducción eléctrica: son los que introducen o extraen electrones a la celda electrolítica.

Fuente de corriente eléctrica continua: aparato que funciona como una bomba de electrones, lo extrae del ánodo y lo suministra al cátodo. Esta función lo puede cumplir:

- Un transformador rectificador.
- Una batería o acumulador eléctrico.

Barras de conducción eléctrica: conductores eléctricos de los cuales se cuelgan los ánodos y cátodos, generalmente son de cobre electrolítico.

Bomba filtro: equipo que permita filtrar la solución electrolítica para eliminar el polvo o materiales disgregados que afectan a la operación de electrodeposición.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

Variables de la investigación

a) Variable dependiente

Y: Implementación de una pequeña planta de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos usando energía eólica como fuente de energía.

b) Variables Independientes

X1: Acondicionamiento de un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.

X2: Transformación de la energía eólica a energía eléctrica continua de 12 voltios

X3: Acondicionamiento de la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.

X4: Hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.

1. Operacionalización de variables

TABLA N° 3.1
ASIGNACIÓN DE LA ENERGÍA REQUERIDA POR TECNOLOGÍA

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores
Implementación de una pequeña planta de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos usando energía eólica como fuente de energía.	Funcionalidad del módulo experimental.	Materiales base recubiertos con el metal precioso plata y con el cobre.
Variables Independientes	Dimensiones	Indicadores
Condicionamiento de un generador eólico para transformar la energía mecánica en viento.	Diseño de los alerones de tipo vertical.	Verificación de la captación del viento de todo tipo de velocidad y dirección.
Transformación de la energía mecánica a energía eléctrica continua de 12 voltios.	Captación de la energía eólica.	Verificación del incremento de la carga de batería.
Condicionamiento de la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.	Disminución del voltaje de salida del acumulador.	Rangos de voltaje comprendido entre 0 y 4 voltios.
Realizar un estudio comparativo de los costos operativos de la energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.	Costos operativos de operación.	Tasa de ahorro por disminución de los costos operativos.

fuente: (Elaboración propia, 2016)

3.3. Hipótesis general e hipótesis específica

3.3.1. Hipótesis general

Es posible implementar una pequeña planta de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos usando energía eólica como fuente de energía.

3.3.2. Hipótesis específicas

- a. Es posible hacer el condicionamiento de un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.
- b. Es posible hacer la transformación de la energía eólica a energía eléctrica continua de 12 voltios.
- c. Es posible acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.
- d. Sera posible hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de tesis de acuerdo a la clasificación dada por Mario Bunge es de tipo experimental aplicativo pues se trata de resolver un problema a través de la innovación.

4.2. Diseño de la investigación

El proceso de investigación se llevó a cabo del siguiente modo:

4.2.1. Diseño y construcción del módulo experimental para la transformación de la energía eólica en eléctrica mediante el generador de eje vertical

Básicamente se hace con la finalidad de estudiar la aerodinámica de los alerones, actuando en conjunto. Se estudia el ángulo de inclinación y el área expuesta.

a) Diseño y construcción de los alerones

A continuación, se detallan los materiales para la construcción:

- Cartulina cartón
- Tijera
- Transportador
- Rodajes
- Compas

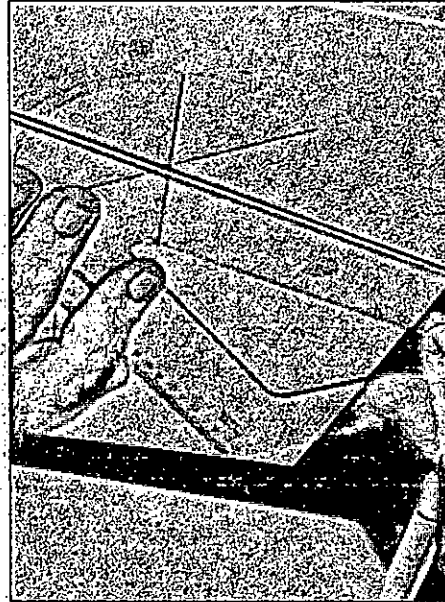
- Escuadras
- Pegamento
- Eje de madera

A continuación, se detalla el proceso de construcción de los alerones:

Dado que en la literatura existe una gran variedad de esquemas de diseño, tomando como base estas ideas se propuso diseñar un generador de energía de tres cuerpos cada uno conteniendo 06 alerones con ángulos de contacto variable, los cuales pueden ser ajustados a voluntad, para estudiar el ángulo de contacto más apropiado que permita captar la mayor cantidad de energía proveniente del viento.

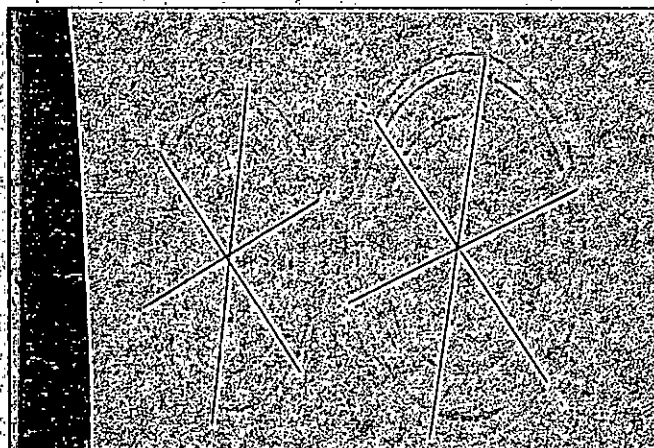
En una cartulina doble, haciendo uso de un compás, se trazó tres círculos concéntricos de 13 cm, 12cm y 10 cm respectivamente. Luego se trazó ángulos de 60 grados, interceptando las rectas resultantes con las curvas de 12 y 10 cm.

FIGURA N° 4.1
TRAZADO DE CÍRCULOS CONCÉNTRICOS EN UNA CARTULINA PARA EL DISEÑO DEL GENERADOR DE ENERGÍA HIDRÁULICA



Fuente: (Elaboración propia, 2016)

FIGURA N° 4.2
TRAZAS PARA EL DISEÑO DEL GENERADOR DE ENERGÍA,
ÁNGULOS DE 60 °



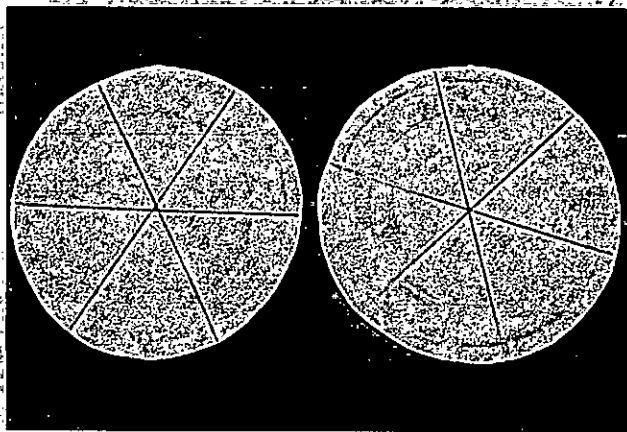
Fuente: (Elaboración propia, 2016)

A continuación, se une en dirección a las agujas del reloj el punto que intercepta la recta que pasa por el diámetro y la curva de 12 cm. y el punto que intercepta la recta contigua a la anterior con la curva de 10 cm.

Se repite el mismo procedimiento obteniéndose 6 rectas directrices que permitirán orientar los alerones.

Luego se prosigue del mismo modo con la otra base, pero esta vez uniendo las intersecciones en sentido anti horario, de tal forma que, al poner frente a frente la base superior e inferior, los alerones tengan la misma orientación.

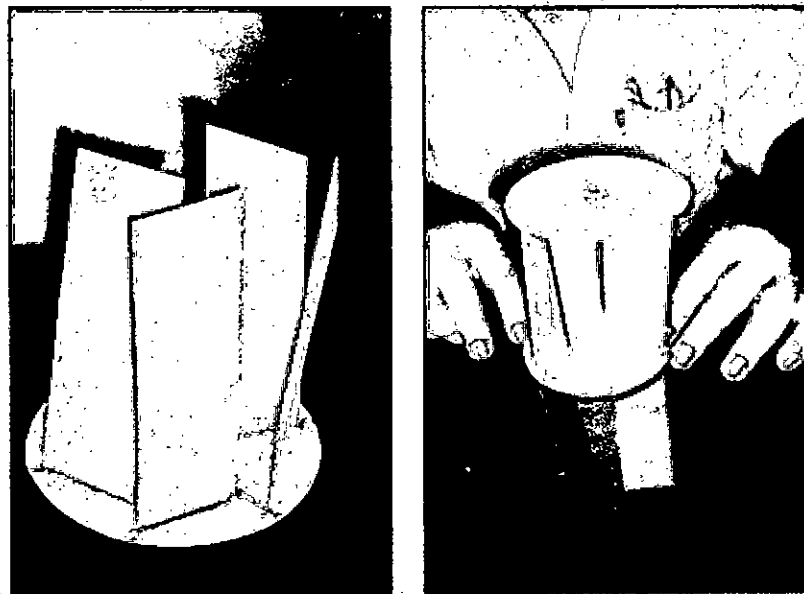
FIGURA N° 4.3
CÍRCULOS CONCÉNTRICOS CON TRAZAS DISEÑADAS PARA EL
GENERADOR DE ENERGÍA



Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Con la dirección ya trazada de los alerones, estos se ensamblan dando la orientación fija antes indicada, pues hacerlo móvil en cartulina, resulta ser tedioso.

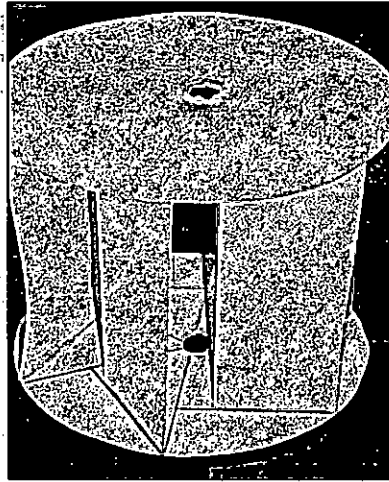
FIGURA N° 4.4
ENSAMBLE DE LOS ALERONES



Fuente: (Elaboración propia, 2016)

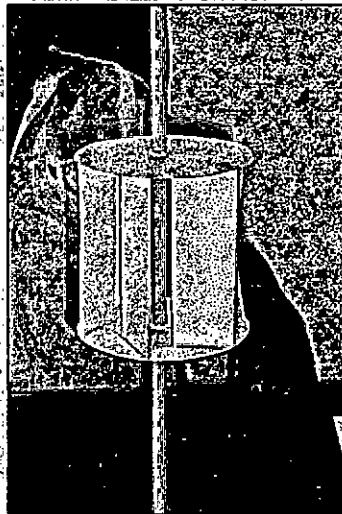
Se procede del mismo modo para los tres cuerpos del generador y se ensambla en un eje de madera y rodajes de 30 mm.

**FIGURA N° 4.5
CUERPO DEL GENERADOR**



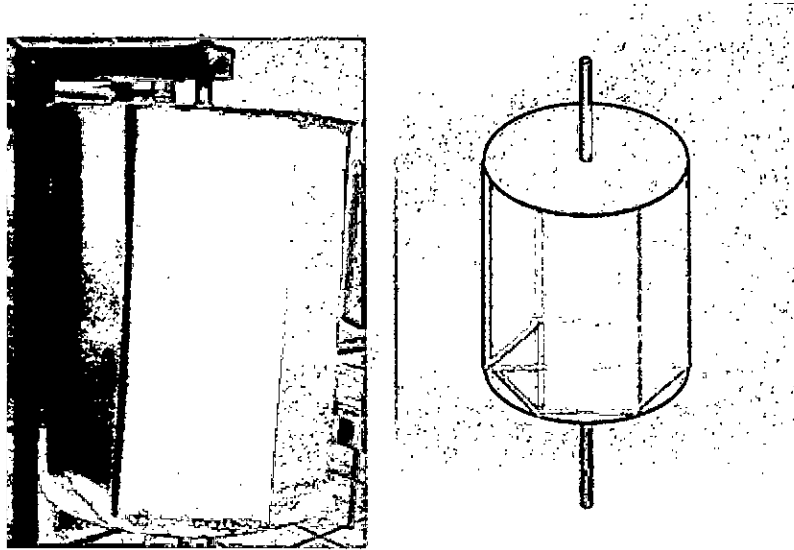
Fuente: (Elaboración propia, 2016)

**FIGURA N° 4.6
ENSAMBLE EN UN EJE DE MADERA DEL CUERPO DEL
GENERADOR**



Fuente: (Elaboración propia, 2016)

FIGURA N° 4.7
PRUEBAS DE RESPUESTA A LOS VIENTOS



ente: (Elaboración propia, 2016)

b) Construcción del generador eólico

Materiales para la construcción del generador eólico:

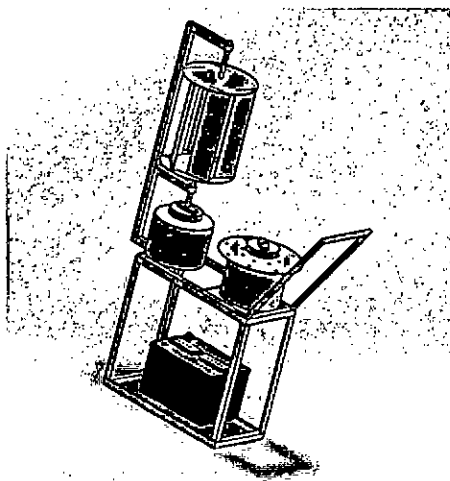
- Alerones de metal
- Motor de $\frac{1}{4}$ de HP de potencia
- Alternador de automóvil marca tico
- Batería de 12 voltios
- Condensador
- Fajas
- Estructura metálica para el armado

Procedimiento de construcción:

Usando el procedimiento de construcción de los alerones a una escala menor, usando como materiales la cartulina cartón, se procedió al diseño y construcción del generador eólico.

Se ensambla los materiales indicados tal como se muestra en el esquema adjunto. El motor de $\frac{1}{4}$ de HP hace girar los alerones simulando a la energía del viento. Dicha energía se trasmite a través de una faja hacia el alternador que se encuentra adjunto al motor. El movimiento del eje del alternador induce una bobina; lo que genera una corriente eléctrica que se almacena en la batería respectiva. Mediante un reóstato se reduce al voltaje de trabajo para la electrodeposición.

**FIGURA N° 4.8
MODELO MEJORADO**



Fuente: (Elaboración propia, 2016)

4.2.2. Preparación de las soluciones

Una vez construido el generador eólico, se procede a preparar las siguientes soluciones.

a) Desengrase químico

Se hace con la finalidad de retirar grandes cantidades de grasa sobre la superficie a tratar. Se utiliza principalmente una serie de solventes como tricloroetileno, gasolina, kerosene u otros. Se vierte uno de estos solventes en un recipiente y queda lista para su aplicación.

b) Desengrase electrolítico

Para la preparación de 100 Litros, la formulación recomendada por los proveedores es la siguiente:

- 2 Kg. Desengrasante DCM
- 4Kg. de Soda Caustica

Para nuestra experiencia solo necesitamos 01 Litro

- 20 g. Desengrasante DCM
- 40 g. de Soda Caustica

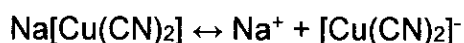
c) Cobreado alcalino

Las soluciones cianuradas de cobre contienen dicianocuprato de Sodio $\text{Na}[\text{Cu}(\text{CN})_2]$ como el principal constituyente. El cobre está en el estado cuproso Cu^+ .

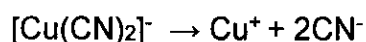
La solución se prepara disolviendo ya sea la sal pura en agua o disolviendo las sales NaCN y CuCN en forma separada en una relación molar adecuada siendo el más simple el último.

El Na₂CO₃ es un constituyente común en los baños cianurados de cobre, esta ayuda a que la solución mantenga un pH alcalino, de modo que, evita la formación de HCN por acción del CO₂ del aire. La solución debe contener un ligero exceso de NaCN dado que algo de cianuro de sodio se convierte en Na₂CO₃ por acción del CO₂ del aire, el dicianocuprato de sodio podría precipitar como cianuro cuproso e hidróxido cuproso. Este exceso incrementa la corrosión en el ánodo con una eficiencia muy pobre. Sin embargo, demasiado exceso de cianuro causa la producción de gases en el cátodo.

En solución el dicianocuprato de sodio se disocia para formar iones sodio y un ion complejo de dicianocuprato.

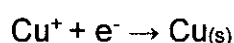


Seguidamente el ion complejo se disocia formando iones cuproso y cianuro



Esta segunda disociación toma lugar en una pequeña extensión, pero cuando los iones cuprosos se depositan en forma rápida y electrolíticamente sobre el cátodo, inmediatamente se forman iones frescos de ion Cu^+ a partir del ion complejo.

El ion cuproso se deposita en el cátodo:



El área del ánodo debería ser al menos el doble del área del cátodo. La eficiencia de ánodos está entre 50 y 70; la eficiencia catódica entre 30 y 70% dependiendo de las condiciones de operación.

**TABLA N° 4.1
FORMULACIÓN Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL COBREADO
ALCALINO**

Formulación	Condiciones de operación	
	Temperatura	30-40° C
	pH	11.5 - 12.5
oro de cobre 22.5 g/L	densidad de corriente	0.5 A/dm ²
oro de sodio 30g/L	Voltaje	4.6 V
nitrito de sodio 10 g/L	Ánodos electrolíticos	cobre

fuente: (Luis Carrasco Venegas, 2013)

Procedimiento de preparación:

- En 250 mL de agua desionizada a alrededor de 80° C disolver la cantidad necesaria de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y ácido sulfúrico H_2SO_4 (concentrado) hasta obtener una solución homogénea.
- Agregar agua fría hasta completar a 500 ml y tener la temperatura de solución a 25° C.
- Si la solución resulta estar turbia es indispensable filtrar.
- Adicionar cloruro de sodio según la formulación indicada. La sal ayuda a corroer el ánodo para que haya un depósito más rápido en la superficie del cátodo.

De esta manera, la solución se encuentra lista para su aplicación respectiva.

d) Plateado electrolítico

Las soluciones de plata se hacen en base a NaCN o KCN , son fáciles de preparar y son estables a través del tiempo; la eficiencia de deposición es alta. Se incorpora en la solución en forma de cianuro, cloruro o nitrato.

TABLA N° 4.2
FORMULACIÓN Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PLATEADO
ELECTROLÍTICO

Formulación	Condiciones de operación
Cloruro de plata: 10g/L	Temperatura 20° C
Cianuro de sodio: 40 g/L	Densidad de corriente de 2 A/dm ²
NaCl : necesario	Voltaje 1 V
	pH: 12 (como mínimo 10)
	ánodos plata fina

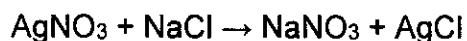
Fuente: (Luis Carrasco Venegas, 2013)

Procedimiento para la preparación del plateado electrolítico:

- Disolver la plata pura con ácido nítrico en una proporción de 1 a 2, se recomienda usar un pírex, a fin de calentar, para que la disolución sea rápida.



- Disuelto el metal, agregar agua destilada hasta 200ml. Precipitar el nitrato de plata con cloruro de sodio.



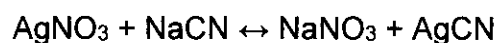
- Enjuagar el precipitado por lo menos tres veces, para eliminar todo el cloruro presente en la solución.

- Disolver en otro recipiente el NaCN de acuerdo a la formulación elegida.
- Al precipitado de AgCl obtenido, agregar el NaCN disuelto, con fuerte agitación, hasta la desaparición total del precipitado.
- Añadir agua destilada hasta completar el volumen de 1Litro.
- Hacer la adición del carbonato de sodio.

Del AgNO_3 sale el Ag^+ (ión positivo), cuando se disocia.

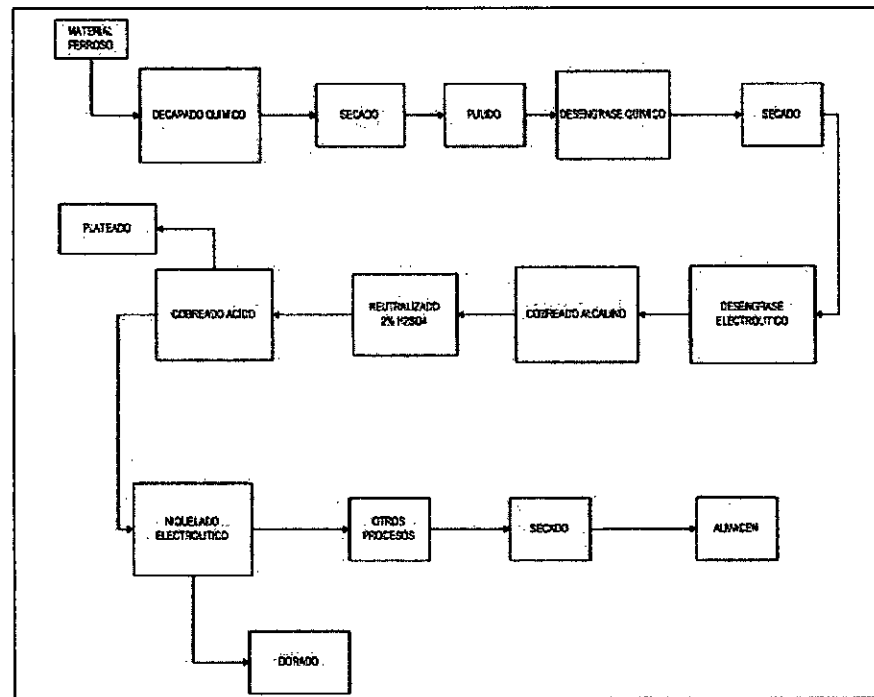
Del NaCN sale el CN^- (ión negativo), cuando se disocia.

El Ag^+ y el CN^- reaccionan entre sí, dando un precipitado, el AgCN.



(Precipitado que se redisuelve en exceso de cianuro).

FIGURA N° 4.9
DIAGRAMA DE FLUJO DE DORADO Y PLATEADO ELECTROLÍTICO



ente: (Elaboración propia, 2016)

4.2.3. Aplicación del proceso electrolítico

a) Tratamiento de las superficies:

El material base es pulido usando ruedas de trapo impregnados con material abrasivo de diferente granulometría. Se pule adecuadamente para obtener un acabado de buena calidad.

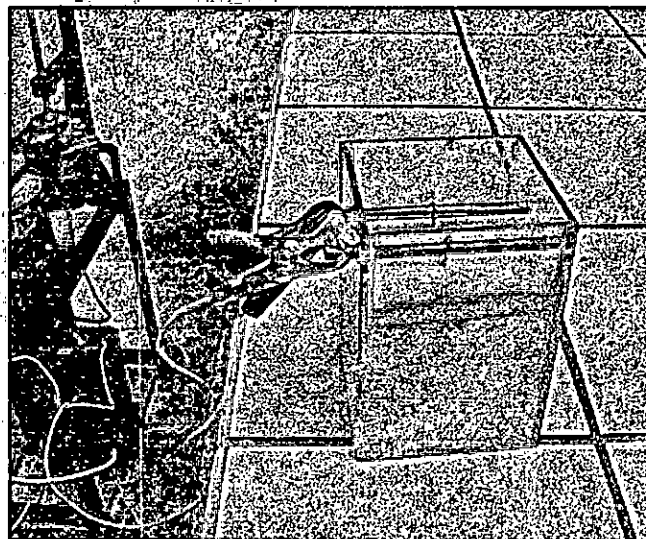
b) Desengrase electrolítico:

Luego del desengrase químico y posterior lavado, se hace el desengrase electrolítico, donde el objeto a desengrasar se coloca en el cátodo y el ánodo es inerte. Se enjuaga y

luego el material a tratar se somete a los procesos posteriores.

El proceso de desengrase electrolítico se muestra en la figura 4.10.

**FIGURA N° 4.10
PROCESO DE DESENGRASE ELECTROLÍTICO**



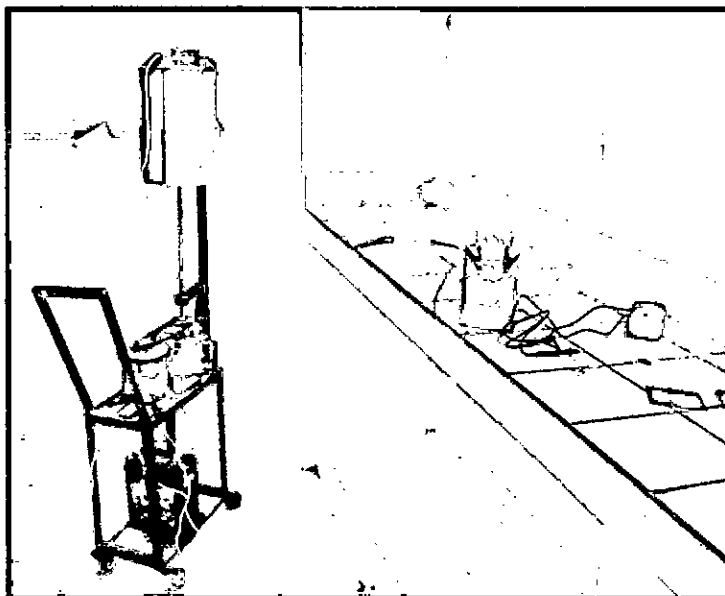
Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

c) Cobreado electrolítico alcalino:

El cobreado alcalino tiene la ventaja de su gran adherencia sobre la superficie base. Su aplicación previa a los demás procesos de electrodeposición, es de gran importancia.

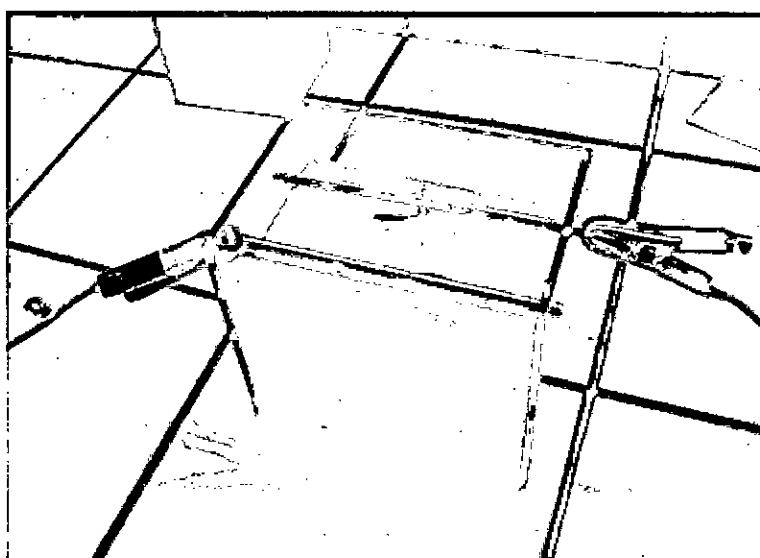
El polo positivo lo constituye la plancha de cobre (ánodo) y el polo negativo, la pieza de latón a cobrear (cátodo).

FIGURA N° 4.11
INSTALACIONES REALIZADAS PARA EL COBREADO ALCALINO



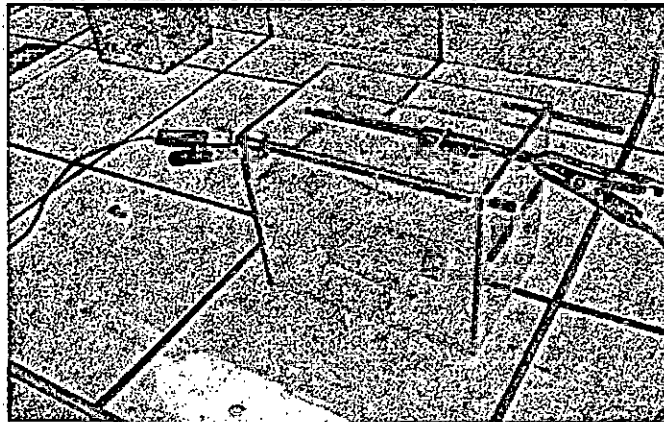
Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

FIGURA N° 4.12
ÁNODO Y CÁTODO EMPLEADOS PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

FIGURA N° 4.13
COBREDO ELECTROLÍTICO EN MARCHA



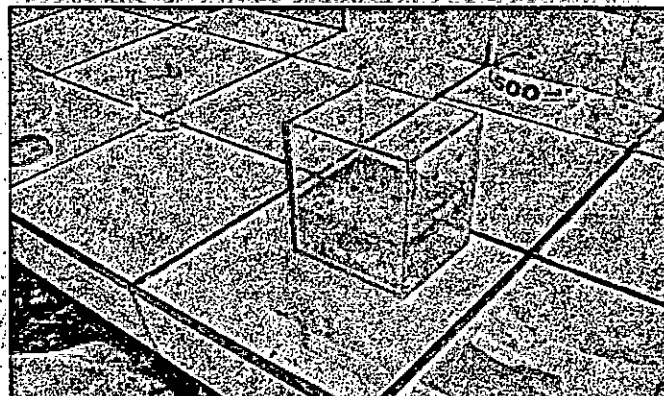
Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

d) Recubrimiento electrolítico con plata

Llenamos la tina de vidrio a 600 ml con sal de plata.

Utilizamos como ánodo una plancha de acero y como cátodo el material de latón previamente recubierta con cobre en el proceso anterior.

FIGURA N° 4.14
TINA DE VIDRIO CON SOLUCIÓN DE SAL DE PLATA



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

FIGURA N° 4.15
INSTALACIONES PARA EL RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO CON PLATA



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

4.3. Población y muestra

En cuanto se refiere a los aerogeneradores, existen una serie de diseños referidos a los de eje horizontal y a los de eje vertical. Respecto a los de eje vertical, también existen de diseños de diversas capacidades y modelos. En el presente trabajo se ha diseñado y construido el de eje vertical provisto de 6 paletas. Los diseños se hicieron usando el paquete Solid Work para el diseño de las paletas.

Referido a los procesos de electrodeposición por razones de costo se implementaron solo los baños electrolíticos de cobre y plata; sin embargo, es posible hacer la aplicación del baño con otros metales.

El aerogenerador experimental se construyó mediante el uso de un motor de $\frac{1}{4}$ de HP y un generador de un auto Tico. Los alerones fueron contruidos de planchas metálicas.

La tesis se ha desarrollado a partir de setiembre del 2013 a la fecha. La parte experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Química General durante el mismo periodo:

La cantidad de solución preparada para cada solución de electrodeposición fue de aproximadamente 1 litro y las piezas electrodepositadas fueron planchas de unos 10 cm² de área.

4.4. Técnica de recolección de datos

La carga de la batería fue medida usando un multítester que ha permitido regular el voltaje de trabajo a un rango de 0 a 4 voltios pues la batería produce una carga de 12 voltios.

La velocidad del motor simulador de la energía eléctrica fue regulada mediante un juego de poleas.

Las soluciones fueron preparadas bajo las formulaciones de los proveedores y los parámetros de control como son la temperatura y el pH se midieron con los instrumentos respectivos.

La calidad de la electrodeposición, la cual se calificó de forma visual en función a su adherencia y brillo. No se hicieron mediciones instrumentales.

4.5. Procesamiento de datos

Como la calidad de la electrodeposición se califica de forma visual, la medición de datos se hizo durante el proceso de electrodeposición, es decir para controlar el proceso de electrodeposición en sí. Concluido el proceso, no se hicieron mediciones posteriores pues se requiere de equipos experimentales más sofisticados; sin embargo, referido al brillo, este se hace solo de manera visual.

4.6. Procedimiento de recolección de datos

Dado que no se tiene experiencia alguna sobre la aplicación de la energía eólica para su aplicación en procesos electrolíticos, basado en experiencias por separado de construcción de generadores eólicos y de recubrimientos electrolíticos, se ha integrado estos dos procesos en uno solo. Los resultados fueron analizados en forma visual.

Los costos fueron estimados en base a los datos obtenidos del mercado. Los costos de electricidad fueron obtenidos de los datos proporcionados por el OSINERGMIN. Básicamente, la diferencia de costos en una pequeña planta de electrodeposición con metales preciosos, difiere en los costos asociados al uso de la energía para la electrodeposición específicamente. Mientras que, en los procesos tradicionales, la energía se obtiene de las redes de

distribución, en el proceso propuesto en esta tesis, la energía se autogenera a partir de la fuerza del viento.

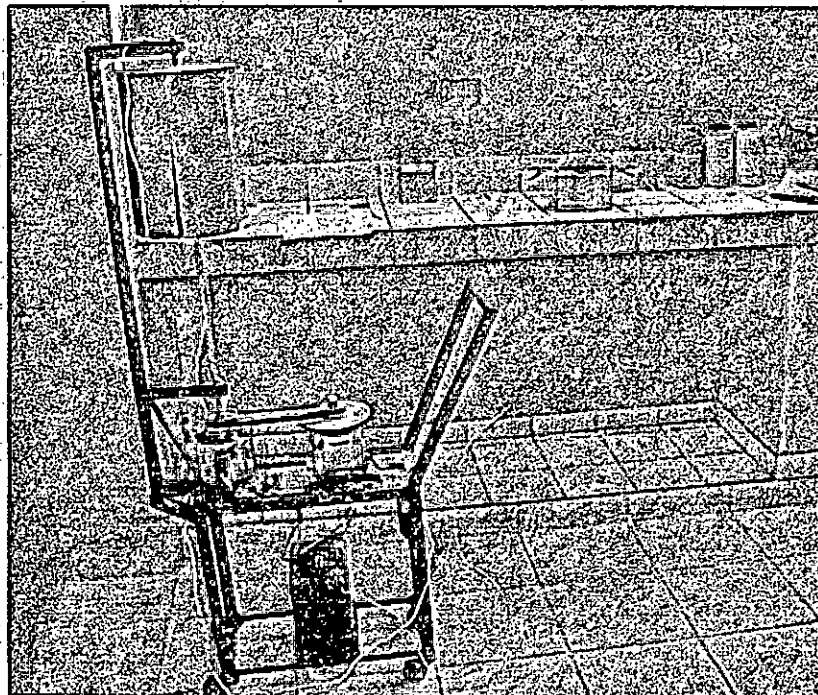
CAPÍTULO V

RESULTADOS

Construcción del equipo experimental de electrodeposición

Con los materiales antes indicados, se ha logrado construir el equipo experimental de electrodeposición, tal como se muestra en la figura adjunta.

FIGURA N° 5.1
JIPO EMPLEADO PARA EL RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO



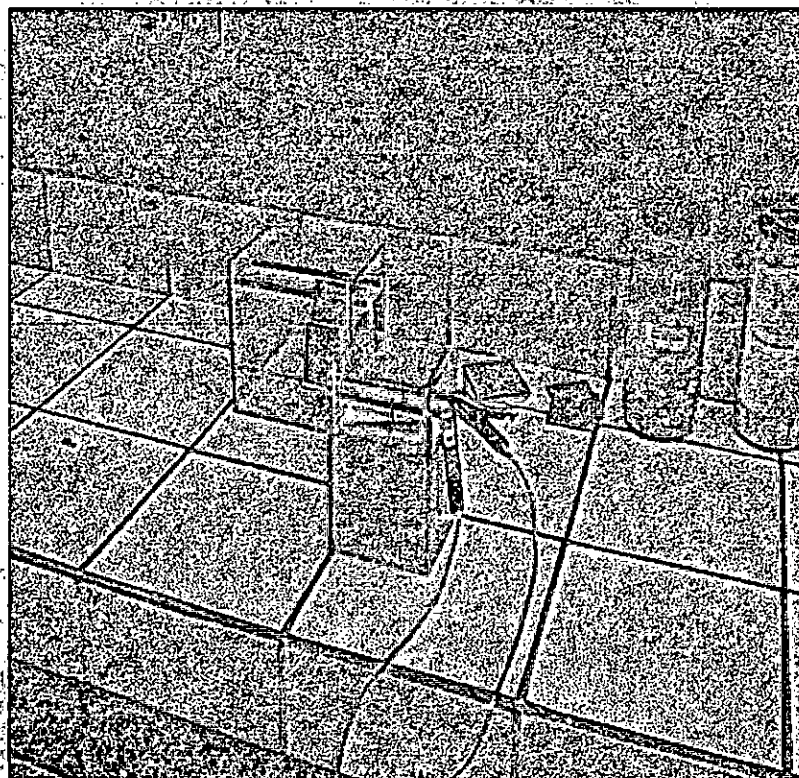
Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

5.2. Desengrase electrolítico

Este proceso permite eliminar totalmente la grasa de la superficie del metal a electrodepositar.

El polo positivo lo constituye la plancha de acero (ánodo) y el polo negativo, la pieza de latón a desengrasar (cátodo).

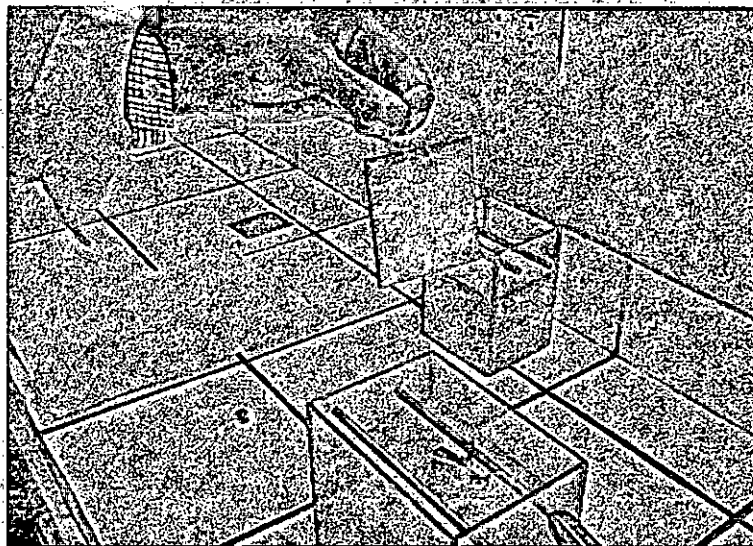
FIGURA N° 5.2
INSTALACIONES DEL POLO POSITIVO Y EL POLO NEGATIVO



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

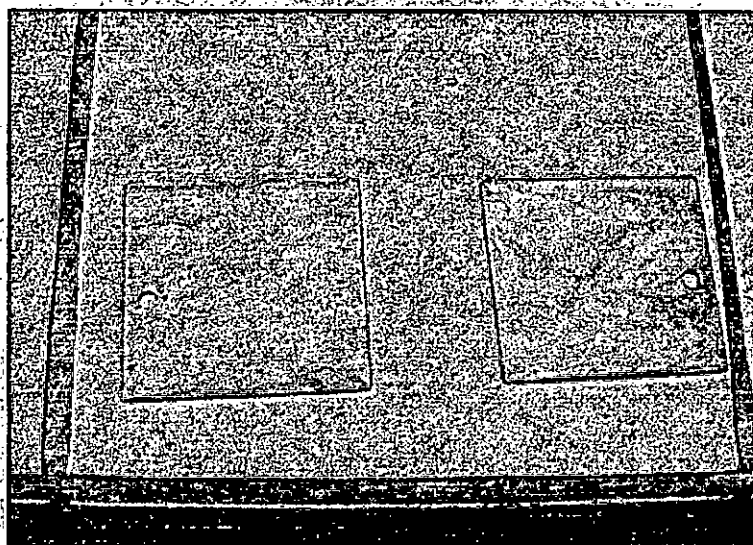
5.3. Cobreado alcalino

**FIGURA N° 5.3
RESULTADOS DEL COBREADO ELECTROLÍTICO ALCALINO**



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

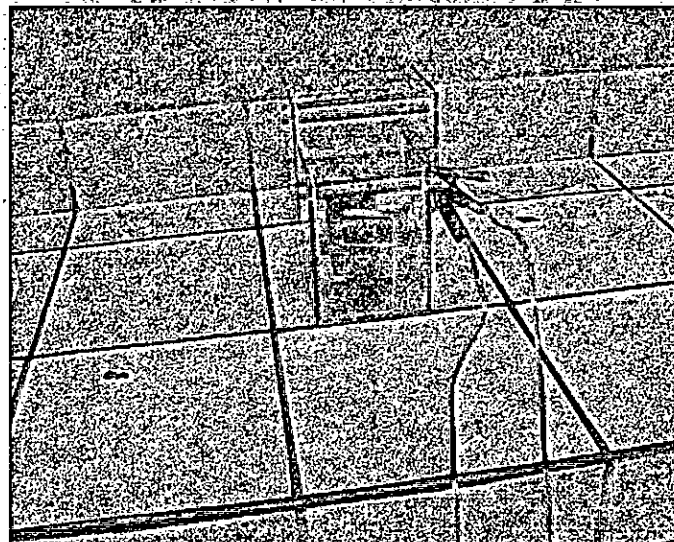
**FIGURA N° 5.4
RESULTADOS FINALES DEL COBREADO ELECTROLÍTICO
ALCALINO**



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

5.4. Plateado electrolítico

FIGURA N° 5.5
ÁNODO Y CÁTODO EMPLEADOS PARA EL RECUBRIMIENTO
ELECTROLÍTICO CON PLATA



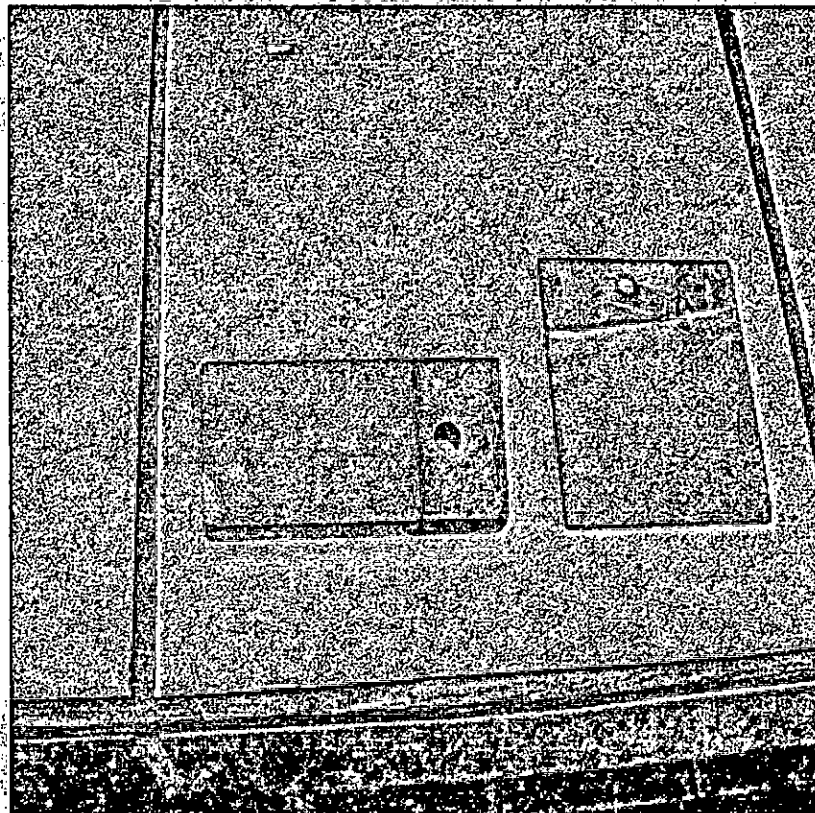
Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

FIGURA N° 5.6
RESULTADO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL REALIZADA



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

FIGURA N° 5.7
RESULTADO FINAL DEL RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO CON
PLATA



Fuente: (Elaboración Propia Laboratorio Fiq-Unac, 2015)

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

I. Contrastación de la hipótesis con los resultados

- a. El diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical, es en parte ciencia y arte. Referido a la ciencia, la potencia depende de la velocidad del viento y el área de los alerones; sin embargo, el tipo de alerones, referido a la forma aerodinámica, es en esencia arte, pues no hay ecuaciones que indiquen el cálculo de las formas aerodinámicas. Basado en estos principios, se ha logrado implementar un módulo experimental de aerogenerador.
- b. Mediante el uso de un reóstato, se ha logrado bajar la tensión del acumulador de 12 voltios a la tensión de trabajo comprendida entre 0 y 4 voltios aproximadamente, cuyo valor específico depende del metal a electrodepositar durante la aplicación del baño respectivo.
- c. Se ha logrado hacer la electrodeposición de metales como el cobre en condiciones alcalinas así como la plata usando como material base el latón. Previamente se hizo un tratamiento al metal base que consistió en el pulido mecánico y el desengrase electrolítico. Finalmente se aplicó con éxito el proceso de

electrodeposición de los metales indicados con fines decorativos.

- d. Se obtuvieron resultados adecuados en cuanto a la apariencia física como son el color y el brillo. No se hicieron mediciones cuantitativas de la adherencia y espesor de recubrimiento por carecer de los equipos necesarios para dicha aplicación.
- e. Se hizo un estudio aproximado de los costos asociados de un proceso de electrodeposición usando la corriente eléctrica de la red y usando la energía proveniente de la electrodeposición. Se demuestra claramente que a pesar de que los demás costos asociados al proceso como son los insumos, mano de obra, etc., el uso de la energía en el proceso de electrodeposición es el que marca la diferencia.
- f. Con los datos obtenidos de los procesos experimentales y con los datos de los costos de los insumos, es posible implementar una pequeña planta para la electrodeposición sobre la superficie base de algunos metales, con otros de mayor calidad como el cobre, la plata y el oro.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

- a. Respecto al uso de un generador eléctrico que use como fuente primaria la energía eólica, no ha sido reportada en ninguna literatura, por lo cual, considerando el uso de la energía eléctrica en este proceso, este trabajo es realmente inédito.

b. Respecto al proceso de electrodeposición, se han hecho comparaciones cualitativas del producto final, es decir, del material electrodepositado con cobre y plata y se pudo observar que tiene una buena apariencia y una buena adherencia, que son dos de las características más importantes del producto acabado.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- a. Se ha demostrado experimentalmente que es posible diseñar y construir un generador eólico de eje vertical con una eficiencia adecuada para la generación de energía eléctrica continua, suficiente para hacer la electrodeposición de metales pesados con otros metales denominados preciosos.
- b. El uso de esta forma de energía contribuye con la no emisión de gases de efecto invernadero por el uso de la energía renovable. Su suministro es garantizado pues mientras no se está usando la energía en recubrir los metales, el acumulador se carga permanentemente las 24 horas del día, a un costo prácticamente nulo.
- c. Dado que los metales preciosos requieren para su electrodeposición, baja energía, el uso de este proceso que utiliza el generador eólico como fuente de energía primaria es muy conveniente, contribuyendo de esta manera con la preservación del ambiente.
- d. Los costos de operación dentro de los cuales se considera energía eléctrica, esta representa entre el 5 y 10% de los costos totales; aun sin ser muy alto, hace que el proceso en general sea más barato en ese % respecto al uso de la energía convencional, generadora del efecto invernadero.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- a. Se requiere hacer mediciones con equipamiento adecuado de la cantidad de carga transferida por el generador hacia los acumuladores.
- b. Luego de perfeccionar el proceso, se recomienda hacer una mayor difusión de este proceso para realizar pequeñas aplicaciones.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . ANTEZANA NUÑEZ, JUAN. **Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical.** Tesis de Grado. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 2004.

- . TORRES MORIMITSU, DANIELA. **Diseño de un Generador Eólico de Eje Vertical de baja Potencia.** Trabajo de Grado. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. 2015

- . SLOOTWEG, J. G. and KLING. W.L. **Is the Answer Blowing in the Wind?** *IEEE Power and Energy*. Vol.99: 26 a 33. Diciembre 2003.

- . CARRASCO VENEGAS LUIS A. **Química Experimental.** Lima. Editorial Macro. 2013.

- . ESCUDERO LOPEZ J.M. **Manual de Energía Eólica.** Madrid, Editorial Mundi-Prensa S.A. Segunda Edición. 2003.

6. FRAILE MORA, JESÚS. **Máquinas Eléctricas**. Caracas, Editorial Mc Graw Hill Interamericana de Venezuela S.A. Quinta Edición. 2003.
7. HART, DANIEL W. **Electrónica de Potencia**. Madrid, Editorial Prentice Hall Pearson Educación S.A. 2001.
8. MANTELL, C.L. **Ingeniería Electro-Química**. Barcelona. Editorial Reverté S.A. Cuarta Edición. 2003.
9. SENNER ADOLF. **Principios de Electrotecnia**. Barcelona, Editorial Reverté S.A. 1994
10. VILLARRUBIA LOPEZ, MIGUEL. **Ingeniería de la Energía Eólica**. Barcelona, Editorial Marcombo S.A. Primera Edición. 2012.
11. DIARIO LA REPUBLICA. **Energía eólica en el Perú, una alternativa de generación de recurso natural renovable**. Disponible en:
<http://larepublica.pe/04-12-2014/energia-eolica-en-el-peru-una-alternativa-de-generacion-de-recurso-natural-renovable> .artículo web. Consultada el 04 de Diciembre del 2014.
12. GARCIA-MAURICIO, RAFAEL. **Centrales Eólicas**. Disponible en:

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo4a.html>

artículo web. Consultado el 05 de Diciembre del 2013.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report 2014.**

Disponible en:

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_LR.pdf

artículo web. Consultado el 03 de Marzo del 2015.

GONZALES-CAMPO JIMENEZ, ANGEL. **Aerogeneradores.**

Disponible en:

<http://angelongo.en.eresmas.com/EREOLICAAEROGENERADORES.htm> .artículo web. Consultado el 27 de Marzo del 2014.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. **La Industria de Galvanoplastia.**

Disponible en:

<http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART4.pdf> .artículo web.

Consultado el 24 de Febrero del 2014.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. **Atlas Eólico del Perú 2008.**

Disponible en:

<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00259.pdf>

.artículo web. Consultada el 20 de Julio del 2015.

17. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. **Balance Nacional de Energía 2014**. Disponible en:

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/PUBLI_BNE_2014\(1\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/PUBLI_BNE_2014(1).pdf)

.artículo web. Consultada el 10 de Enero del 2016.

18. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. **Electroquímica**.

Disponible en:

<http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/INTRODUCCIONALAE>

[LECTROQUIMICA_22641.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/INTRODUCCIONALAE). artículo web. Consultado el 12 de

Enero del 2014.

19. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. **Historia de la**

Energía Eólica. Disponible en:

https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero

[2012_G9.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero) . artículo web. Consultado el 14 de Julio del 2014.

20. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA. **Métodos**

Galvánicos en la Industria Química. Disponible en:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6180/01_Mem

[òria.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6180/01_Mem) .artículo web. Consultado el 24 de Febrero del 2014.

21. YBARRA, RAUL. **Galvanoplastia - Recubrimientos de oro y plata.** Disponible en:

http://www.raulybarra.com/notijoya/biblioteca_archivos_1.1/notijoya_1.1/archivosnotijoya8/8galvanoplastia_oro_plata.htm .articulo web.

Consultado el 19 de Setiembre del 2014.

ANEXOS

Anexo 1.- Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Sera posible implementar una pequeña planta experimental de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos, usando la energía eléctrica acondicionada a partir de la energía eólica?	Implementar una pequeña planta experimental de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos, usando la energía eléctrica acondicionada a partir de la energía eólica	Es posible implementar una pequeña planta de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos usando energía eólica como fuente de energía.	Y= La implementación de una pequeña planta de recubrimientos electrolíticos con metales preciosos usando energía eólica como fuente de energía.	Funcionalidad del módulo experimental	Materiales base recubiertos con el metal precioso plata y con el cobre.	Pruebas experimentales
SUB - PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Sera posible acondicionar un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.	Acondicionar un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.	Es posible hacer el acondicionamiento de un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.	X1= Acondicionamiento de un generador eólico para transformar la energía mecánica del viento.	Diseño de los alerones de tipo vertical.	Verificación de la captación del viento de todo tipo de velocidad y dirección.	Pruebas experimentales
Sera posible captar la energía eólica y transformarla a energía continua de 12 V.	Transformar la energía eólica a energía eléctrica continua captada de 12 V.	Es posible hacer la transformación de la energía eólica a energía eléctrica continua de 12 V.	X2= Transformación de la energía eólica a energía eléctrica continua de 12 voltios.	Captación de la energía eólica	Verificación del incremento de la carga de la batería	Medición directa.
Sera posible acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos?	Acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.	Es posible acondicionar la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.	X3= Acondicionamiento la energía eléctrica continua de 12 voltios a un rango de energía útil para el recubrimiento con metales preciosos.	Disminución del voltaje de salida del acumulador	Rangos de voltaje comprendido entre 0 y 4 voltios	Medición del voltaje antes y durante el proceso.
Sera posible hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico?	Hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.	Sera posible hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.	X4= Hacer un estudio comparativo de los costos operativos de energía eléctrica adquirida de la red comercial y la generada por el generador eólico.	Costos operativos de operación.	Tasa de ahorro por disminución de los costos operativos.	Calculo de costos totales con uso de la energía de la red y con energía acondicionada a partir de la energía eólica.

**Anexo 2.- Calculo de los Costos Directos de Operación
(Energía Eléctrica)**

Para una capacidad de 150 litros

Tiempo de operación al mes = 240 horas

Cantidad de piezas a trabajar mensualmente = 30000 piezas

Superficie de cada pieza = 5 cm²

Superficie total = 150000 cm²

Material de las piezas a trabajar: Zamac

Procesos a realizar:

1. Desengrase
2. Cobreado Alcalino
3. Plateado

1. Desengrase (6 A/dm²)

$$6 \frac{\text{Amp}}{\text{dm}^2} \times 150000 \text{ cm}^2 \times \frac{\text{dm}^2}{100 \text{ cm}^2} = 9000 \text{ Amp}$$

2. Cobreado Alcalino (6 A/dm²)

$$6 \frac{\text{Amp}}{\text{dm}^2} \times 150000 \text{ cm}^2 \times \frac{\text{dm}^2}{100 \text{ cm}^2} = 9000 \text{ Amp}$$

3. Plateado (1 A/dm²)

$$1 \frac{\text{Amp}}{\text{dm}^2} \times 150000 \text{ cm}^2 \times \frac{\text{dm}^2}{100 \text{ cm}^2} = 1500 \text{ Amp}$$

Total = 19500 Amp. al mes.

Calculamos la energía requerida mensualmente:

$$\text{Energía Requerida} = 19500 \times 240 \text{ h} \times 2 \text{ v} \times \frac{\text{Kw}}{1000 \text{ w}} = 9360 \text{ Kw} - \text{h}$$

El precio de 1 Kw-h promedio (Según tarifario Servicio Público de Electricidad: (GART/OSINERGMIN) sería:

$$1 \text{ kw-h} = \text{s/. } 0.52$$

Entonces calculamos el costo de Energía total:

$$\text{costo E total} = (9360 \text{ kw} - \text{h}) \times (0.52) = 4867.2 \text{ soles al mes.}$$

Anexo 3.- Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

Empresa Edelnor al 04/NOV/2016

MEDIA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA
TARIFA MT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		Sin IGV
	Cargo Fijo Mensual	\$/mes	3.93
	Cargo por Energía Activa en Punto	ctm. \$/MWh	22.19
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punto	ctm. \$/MWh	18.56
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	\$/kW-mes	55.56
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	\$/kW-mes	9.53
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HP	\$/kW-mes	10.72
	Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. \$/MVar-h	4.35
TARIFA MT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	\$/mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punto	ctm. \$/MWh	22.19
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punto	ctm. \$/MWh	18.56
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	49.51
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	33.81
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	10.57
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	10.62
	Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. \$/MVar-h	4.35
TARIFA MT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	\$/mes	3.12
	Cargo por Energía Activa	ctm. \$/MWh	19.43
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	49.51
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	33.81
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	10.57
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	10.62
	Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. \$/MVar-h	4.35
BAJA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA
TARIFA BT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		Sin IGV
	Cargo Fijo Mensual	\$/mes	3.93
	Cargo por Energía Activa en Punto	ctm. \$/MWh	24.02
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punto	ctm. \$/MWh	20.08
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	\$/kW-mes	53.53
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	\$/kW-mes	43.14
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HP	\$/kW-mes	37.75
	Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. \$/MVar-h	4.35
TARIFA BT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	\$/mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punto	ctm. \$/MWh	24.02
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punto	ctm. \$/MWh	20.08
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	54.13
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	37.08
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Prescrites en Punto	\$/kW-mes	50.19
	Prescrites Fuera de Punto	\$/kW-mes	45.66
	Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. \$/MVar-h	4.35

TARIFA BT4: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 3.12
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 21.02
Carga por Potencia Activa de generación para Usuarios:	
Presentes Fuera de Punta	S/ MWh-mes 54.13
Presentes en Punta	S/ MWh-mes 37.08
Carga por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:	
Presentes en Punta	S/ MWh-mes 50.18
Presentes Fuera de Punta	ctm. S/ MWh-mes 45.65
Cargo por Energía Reactiva que excede el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/ MWh-h 4.35
TARIFA BT5A: TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E	
a) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20KW en HP y HFP	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 3.12
Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/ MWh 135.11
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/ MWh 20.08
Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S/ MWh-mes 44.04
b) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20KW en HP y 50KW en HFP	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 3.12
Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/ MWh 152.47
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/ MWh 20.08
Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S/ MWh-mes 44.04
TARIFA BT5B: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E	
No Residencial	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.50
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 49.95
TARIFA BT5B: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E	
Residencial	
a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes	
0 - 30 KWh	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.40
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 36.49
31 - 100 KWh	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.40
Cargo por Energía Activa - Primeros 30 KWh	S/ mes 10.95
Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 KWh	ctm. S/ MWh 49.95
b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.50
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 49.95
TARIFA BT5C: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E - Anillado Público	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 3.55
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 53.82
TARIFA BT6: TARIFA A PENSIÓN FIJA DE POTENCIA 1P	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.50
Cargo por Potencia	ctm. S/ kW 21.28
TARIFA BT7: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E	
No residencial	
Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recargo Códigos/Tarjetas	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.22
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 49.18
TARIFA BT7: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E	
Residencial	
a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes	
0 - 30 KWh	
Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recargo Códigos/Tarjetas	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.16
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 35.92
31 - 100 KWh	
Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recargo Códigos/Tarjetas	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.16
Cargo por Energía Activa - Primeros 30 KWh	S/ mes 10.78
Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 KWh	ctm. S/ MWh 47.89
b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes	
Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recargo Códigos/Tarjetas	
Cargo Fijo Mensual	S/ mes 2.22
Cargo por Energía Activa	ctm. S/ MWh 49.18

Fuente: (GART/OSINERGMIN)