

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“EQUIPOS NECESARIOS PARA TRANSMITIR ENERGIA EOLICA, PARA  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS EN LA CIUDAD DE  
PUERTO DE MALBRIGO.ASCOPE.LA LIBERTAD.”**

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

**Línea de Investigación : Saneamiento**

**AUTORA:**

**BACH. TYFANNY PATRICIA LOZADA JOAQUIN**

**ASESOR:**

**DR. SAGASTEGUI PLASENCIA FIDEL GERMAN**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**

**N° REGISTRO \_\_\_\_\_**

## PRESENTACION

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, la presente Tesis titulada **“EQUIPOS NECESARIOS PARA TRANSMITIR ENERGIA EOLICA, PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS EN LA CIUDAD DE PUERTO DE MALABRIGO.ASCOPE.LA LIBERTAD.”** con el propósito de obtener Mi Título Profesional de Ingeniera Civil.

**MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR**

**TESIS: “EQUIPOS NECESARIOS PARA TRANSMITIR ENERGIA EOLICA,  
PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS EN LA  
CIUDAD DE PUERTO DE MALABRIGO.ASCOPE.LA LIBERTAD.”**

Presentada por:

**BACH. TYFANNY PATRICIA LOZADA JOAQUIN**

Aprobado por el jurado:

---

Dr. GUILLERMO JUAN CABANILLAS QUIROZ  
PRESIDENTE

---

Ms. RICARDO ANDRES NARVAEZ ARANDA  
SECRETARIO

---

Ing. JUAN PAUL HENRIQUEZ ULLOA  
VOCAL

---

Dr. FIDEL GERMAN SAGASTEGUI PLASENCIA  
ASESOR

## DEDICATORIA

A Dios, que siempre le estaré agradecida por la familia que tengo.

A mis queridos padres: Carol, Nalda, Leonor ; Papá Perico y Leonardo

Quienes me apoyaron e inculcaron valores;

y que han formado en mí una persona integral.

A mi tía Margot, que con su ejemplo,  
y apoyo incondicional, engrandeció la  
formación integral de mi persona.

A mis queridos Veco y Veca y tío Lucho  
que siempre me apoyaron moralmente,  
ayudándome y motivándome a lograr ser  
una buena profesional.

A mis hermanos, Yumi, Taiki, Jennifer y  
Aldana, para que les sirva de ejemplo y  
puedan seguir su formación profesional

**TYFANNY LOZADA**

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a todos los Docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, y en especial a mi Asesor de Tesis Dr. Fidel German Sagastegui Plasencia, quien con mucha tolerancia y predisposición en todo momento, me brindó el asesoramiento oportuno para culminar mi Tesis.

Así mismo debo agradecer a los funcionarios de SEDALIB; Gobierno Regional de La Libertad, Ministerio de Salud; Ministerio de Agricultura; por su apoyo valioso, para realizar los trabajos de inventario de la red de alcantarillado domiciliario en el Puerto de Malabrigo; estado actual de las lagunas de oxidación y su estado actual del tratamiento de aguas residuales domiciliarias y que dichas instituciones me brindaron su apoyo valioso para culminar mi Tesis.

**La Autora**

## TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	ix
Abstrac .....	x
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema:.....	4
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Alcance .....	10
1.4 Justificación.....	12
1.5 Hipótesis .....	14
1.6 Objetivos .....	14
1.7.1 General.....	14
1.7.2 Específicos.....	14
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Antecedentes de la investigación .....	16
2.2 Fundamentación teórica de la investigación .....	23
2.2.1 Definiciones.....	25
2.2.1.1 Energía Eólica.....	25
2.2.1.2 Aerogeneradores .....	25
2.2.1.3 Aerobombas.....	26
2.2.1.4 Molinos.....	27
2.2.1.5 Aparatos para medir el viento .....	29
2.2.1.6 Anemómetro .....	29
2.2.1.7 Unidades y escalas .....	32
2.2.1.8 Energía eólica y Fuerza del viento. ....	33
2.2.1.9 ¿Cómo es generada la Energía Eólica?.....	34
2.2.1.10 Ley de Betz. ....	36
2.2.1.11 Rosa de viento.....	39
2.2.1.12 Ventajas de la Energía Eólica.....	40
2.2.1.13 Ventajas del bombeo con molinos de viento.....	43
2.2.1.14 Análisis de velocidad de viento.....	46
2.2.1.15 Ley Potencial.....	49
2.2.1.16 Análisis Estadístico.....	52
2.2.1.17 Distribución de Weibull.....	55
2.2.1.18 Patrones de circulación del viento.....	58
2.2.1.19 Escalas de vientos: Variación Horizontal .....	61
2.2.1.20 Variación del viento con la altura.....	62
2.2.1.21 Lagunas de estabilización.....	65

2.2.1.22 Tipos de Lagunas de estabilización.....	67
2.2.1.23 Ventajas de Lagunas de Estabilización.....	72
2.2.1.24 Factores Químicos y Bioquímicos.....	76
2.2.1.25 Normatividad Legal.....	79
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>81</b>
3.1 Población y Muestra.....	81
3.1.1 Población.....	81
3.1.2 Muestra.....	81
3.2 Modalidad Básica de la Investigación.....	82
3.3 Nivel o Tipo de Investigación.....	82
3.4 Operacionalización de las Variables.....	84
3.4.1 Variable Independiente.....	84
3.4.2 Variable Dependiente.....	85
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	86
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos .....	86
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
4.1 Potencial Eólico.....	88
4.2 Velocidad del viento .....	89
4.3 Central Eólica de Puerto Malabrigo.....	96
4.4 Información Topográfica.....	101
4.5 Beneficios de la Energía Eólica.....	103
4.6 Valores promedios de la velocidad en Puerto Malabrigo.....	104
4.7 Propuesta de un Sistema Eólico.....	105
4.8 Estimación de la Energía Eólica.....	106
4.9 Molinos de Viento.....	107
4.10 Mecanismos para el aprovechamiento eólico.....	108
4.11 Aplicaciones de las máquinas eólicas.....	116
4.12 Propuesta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	117
4.13 Evaluación de Impacto Ambiental.....	120
4.14 Análisis Económico.....	123
4.15 Estudio de Rentabilidad.....	125

<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>128</b>
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>133</b>
<b>CAPITULO 7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>137</b>
<b>CAPÍTULO 8. REFERENCIAS.....</b>	<b>140</b>



## RESUMEN

La presente tesis, tiene como objetivo determinar los equipos necesarios para transmitir energía eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la ciudad de Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad.

En el presenta trabajo de investigación se describe los equipos necesarios para transmitir Energía Eólica, para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo, son cuatro (4) molinos de Viento, con tipo de Rotor Savonius y Darrieus , 2 a 4 palas ; que permitirán transformar la energía eólica en energía mecánica, para usar en el bombeo del agua residual domiciliaria.

Palabras Claves:

Molinos de Viento para transmitir energía eólica.

Tratamiento aguas residuales en Puerto Malabrigo.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to determine the equipment necessary to transmit wind energy for domestic wastewater treatment in the city of Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad.

The research work describes the equipment needed to transmit wind energy, for the treatment of residential wastewater in the City of Puerto Malabrigo, there are four (4) wind mills, with type of Rotor Savonius and Darrieus, 2 to 4 shovels that will transform wind energy into mechanical energy, to be used in the pumping of residential wastewater.

Keywords: Wind mills to transmit wind energy.  
Wastewater treatment in Puerto Malabrigo.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El grado de desarrollo del mundo actual descansa tanto en la producción como en el uso de importantes recursos energéticos. Hasta hace pocos años, el origen de esta energía se encontraba en los combustibles fósiles. Sin embargo, la consciencia de que sus reservas son limitadas y las consecuencias adversas del uso de dichos combustibles, tanto en las situaciones de contaminación atmosférica en general como en el cambio climático asociado a las emisiones de dióxido de carbono, han intensificado el desarrollo de fuentes alternativas. Entre las energías renovables destaca la de origen eólico, cuyas instalaciones han proliferado de forma significativa (PANER, 2012).

En cualquier tipo de instalación, un detallado conocimiento de la evolución diaria y estacional de la velocidad del viento es necesario antes de seleccionar un emplazamiento determinado (Ouammi et al., 2010; Rehman y Ahmand, 2004). Aunque lo deseable es medir la velocidad del viento en un determinado lugar, en ocasiones, no están disponibles estos valores por carencia de instrumentación. En esta situación, este inconveniente puede ser, hasta cierto punto, paliado mediante aplicaciones informáticas (Carrasco-Díaz et al., 2015; Santos-Alamillos et al., 2016). En cualquier caso, no solo influye la evolución del viento en la decisión de situar en un lugar una instalación, sino que tiene que considerarse la altura de la torre de la turbina, ya que la velocidad del viento cambia con la altura (Alavi , O. y Mohammadi, K. 2016).

La modelización del medio eólico con resolución de 1 Km sobre el estado del Perú ha permitido determinar las zonas más adecuadas para estudiar la energía eólica. Una de estas zonas está ubicada en el norte del Perú, a lo largo de la costa del departamento de Piura, y presenta un máximo de viento medio anual en el sur de la región. El departamento de Lambayeque también es importante en cuanto a medio eólico, así como algunas zonas

del norte del Departamento de La Libertad. Así mismo, son importantes los departamentos de Ancash, Lima y Arequipa porque abarcan ciertas áreas cercanas a la costa que son propicias para aprovechamiento de la energía eólica, pero el departamento que más se distingue porque registra promedios climáticos de viento especialmente altos es Ica, cuya línea costera supera los 8 m/s de viento medio anual en varias zonas (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. 2016. Pág. 24).

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) es el ente Regulador de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), dentro de las cuales se encuentra sujeta la Empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad, Sociedad Anónima – SEDALIB S.A. (SEDALIB).

SEDALIB brinda los servicios de saneamiento a las localidades de Trujillo Metropolitano, Chepén, Puerto Malabrigo, Paján, Moche, Chocope y Pacanguilla. Actualmente, la población total administrada por la EPS es de 906,115 habitantes, con una cobertura de agua potable de 90% y de alcantarillado de 83%. (SEDALIB ).

Las lagunas de Oxidación y estabilización cuando están apropiadamente diseñadas, construidas y con mantenimiento permanente , con un sistema adecuado en el tratamiento de las aguas residuales tienen la característica de poseer una alta capacidad de remoción de carga orgánica y biológica, y además que no afecta al medio ambiente ni producen problemas a la comunidad. Las lagunas de oxidación con un mantenimiento permanente pueden funcionar satisfactoriamente y sin problemas durante muchos años; sin embargo, el potencial de máxima utilidad de un sistema de lagunas de oxidación, es obtenido solamente a través de un adecuado mantenimiento realizado por operadores debidamente capacitados. (CORDOVA VILLAR, R. 2011).

Un buen mantenimiento se justifica de muchas formas, acredita al operador y subordinados ante la comunidad, presenta una imagen positiva de la

Empresa Prestadora de Servicios y provee tratamiento a un mínimo costo y por largos períodos de tiempo, sin gravar la tarifa del servicio. Por otro lado, una laguna facultativa o de maduración mal mantenida puede llenarse de maleza, cubrirse de natas y desarrollar malos olores, conjuntamente con la proliferación de vectores tales como roedores y mosquitos suscitando la protesta de la población. (CORDOVA VILLAR, R. 2011).

La energía eólica a impulsado barcos a lo largo del río Nilo 5000 ac, y sigue siendo una fuente de energía relevante hoy en día. De hecho, la energía eólica es la fuente de más rápido crecimiento de electricidad en el mundo.(CADIZ DELEITO, J. Y CABRERO , J. 2014.).

La conversión de la energía eólica en una forma útil de energía, como el uso de turbinas de viento para producir electricidad, molinos de viento para energía mecánica, aerobombas para el bombeo de agua o drenaje, o velas para propulsar los barcos; es la Energía Eólica .(CADIZ DELEITO, J. Y CABRERO , J. 2014.).

Como una alternativa a los combustibles fósiles, la Energía Eólica es abundante, renovable, ampliamente distribuida, limpia y no produce emisiones de gas de que genere efecto invernadero durante la operación, y el costo por unidad de energía producida es similar al costo del carbón y nuevas instalaciones de gas natural.(ALVARO PINILLA , S. 2003 ).

A finales de 2010, en todo el mundo la capacidad nominal de generadores eólicos era de 197 gigavatios (GW). La energía eólica tiene ahora la capacidad de generar 430 TWh al año, que es de aproximadamente 2,5% del consumo de electricidad en todo el mundo. (ATLAS EÓLICO DEL PAÍS VASCO 1981 y 1993 ).

Durante los últimos cinco años el crecimiento medio anual en las nuevas instalaciones ha sido del 27,6 por ciento. La penetración de la energía eólica en el mercado se espera que alcance 3,35 por ciento en 2013 y un 8

por ciento en 2018.(DEL ANGEL RAMOS , J. A y SARMIENTO SERA , A. 2004.)

La energía eólica es asequible. El viento es una de las más rentables fuentes de generación de electricidad. Esa es la razón por la cual la energía eólica representa el 35% de toda la nueva capacidad de generación eléctrica desde el 2007. Además, las compañías pueden asegurar los precios de la energía eólica de 20 a 30 años, porque el combustible es gratuito.( ENERSAC . 2016)

En la presente investigación, Equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la ciudad de Puerto de Malabrigo. Ascope. La Libertad, servirá como modelo para aplicar un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias empleando equipos necesarios para transmitir energía eólica, que permitirá reducir los costos, evitar la contaminación ambiental, manejar eficientemente las aguas residuales tratadas lo que permitirá a los pobladores mejorar la calidad de vida.

#### **Planteamiento del problema:**

En la Localidad de Puerto Malabrigo, comprensión del Distrito de Razuri, Provincia de Ascope, Departamento La Libertad, el sistema cuenta con 12,3 km de redes colectores principales y secundarios. El emisor conduce las aguas servidas a la cámara de bombeo, habiendo sido renovado por la calle Leoncio Prado, con tubería de PVC y 350 mm de diámetro.(SEDALIB. 2016).

Las Líneas de impulsión de aguas residuales, salen de las estaciones de bombeo de aguas servidas y van hacia la unidad de tratamiento. En esta localidad se cuenta con una línea de impulsión instalada por la Municipalidad de Rázuri desde el año 2005 para conducir las aguas residuales hacia las lagunas de oxidación.(SEDALIB. 2016)

El Tratamiento de aguas residuales, es mediante un RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) construido en el 2010, y el tratamiento secundario es mediante un biofiltro que **no funciona**, el personal no cuenta con manual de operación. El caudal de tratamiento es 8,5 litros por segundo. (SEDALIB. 2016).

El viento existente en la Localidad de Puerto Malabrigo, tiene un impacto significativo para el uso en el tratamiento de aguas residuales y en el comportamiento de las lagunas de oxidación, ya que incita a la mezcla vertical del agua residual que llegan a las lagunas, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual. En carencia de mezcla incitada por el viento, la población de algas tiende a estratificarse en banda estrecha, de unos 20 cm de ancho, durante las horas de luz del día. Esta banda concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo en la capa superior, de 50 cm de espesor (Romero, *Tratamiento de Aguas Residuales*, Colombia.2013).

La circulación del agua residual a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada (sin movimiento) durante largos periodos de tiempo.

Los problemas y causas que existen actualmente en el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Localidad de Puerto Malabrigo es la siguiente:

**Tabla N° 01: Problemas y causas de las obras de alcantarillado de Puerto Malabrigo**

**Fuente: SEDALIB**

<b>PROBLEMAS</b>	<b>CAUSAS</b>
Presencia de natas y material flotante.	-Afloración excesiva de algas (formación de nata verde). -Presencia de material extraño (ej. basura). - Afloración de lodo de fondo. - Poca circulación de la masa de agua y actuación del viento
Presencia de malos olores ocasionados por sobrecarga.	-Sobrecarga orgánica que disminuye el pH y la concentración de oxígeno disuelto. (Se manifiesta por el cambio de color del efluente de la laguna de color verde a verde amarillento).
Malos olores ocasionados por corto-circuitos	- Presencia de vegetales acuáticos al interior de la laguna.
Proliferación de insectos	-Presencia de vegetación en las márgenes de los taludes internos de las lagunas. -Existencia de depósitos de agua estancada. -Presencia de natas y lodos flotantes.
Vegetación	- Bajo nivel del espejo de agua (menor a 60 cm). - Excesiva infiltración (no permite el llenado de la laguna). - Bajo caudal afluente de aguas residuales.

La Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado, EPS SEDALIB S.A., en las ciudades que administra la empresa, se obtuvo acceso a la información de la línea base operacional, financiera y comercial del servicio de agua potable y alcantarillado, así como también del programa de inversiones de agua y alcantarillado proyectado para los próximos cinco años (2014-2019), con el objetivo de incrementar la cobertura y calidad del servicio en un 19% ; y a la vez, de lograr la sostenibilidad económica de la Empresa Prestadora.



**Tabla N° 02: Porcentaje de tarifa por agua y alcantarillado**

*Fuente: SUNASS-SEDALIB.2016*

GRUPO 1			GRUPO 2		
Trujillo, La Esperanza, Florencia de Mora, El Porvenir, Victor Larco, Huanchaco y Salaverry			Chepén, Puerto Malabrigo, Paiján, Moche, Chocope y Pacanguilla		
Año	Servicio de Agua Potable	Servicio de Alcantarillado	Año	Servicio de Agua Potable	Servicio de Alcantarillado
Año 1	13,0%	13,0%	Año 1	0,0%	19,0%
Año 2	12,5%	12,5%	Año 2	0,0%	0,0%
Año 3	0,0%	0,0%	Año 3	0,0%	0,0%
Año 4	8,6%	9,2%	Año 4	0,0%	0,0%
Año 5	0,0%	0,0%	Año 5	0,0%	0,0%

*Fuente y elaboración: Sunass – Gerencia de Regulación Tarifaria.*

**Tabla N° 03: Localidades administradas por Sedalib S.A. (2017)**

*Fuente: SEDALIB. 2016.*

LOCALIDADES	Diciembre
TRUJILLO	322,880
VICTOR LARCO	64,557
LA ESPERANZA	176,962
FLORENCIA DE MORA	43,427
EL PORVENIR	180,026
HUANCHACO	40,891
MOCHE	16,450
SALAVERRY	10,386
<u>PUERTO MALABRIGO</u>	5,594
CHOCOPE	5,202
PAIJAN	21,033
CHEPEN	42,409
PACANGUILLA	7,488
<b>TOTAL SEDALIB S.A. 2013</b>	<b>937,304</b>

*Fuente: Proyección Poblacional Plan Maestro SEDALIB S.A.*

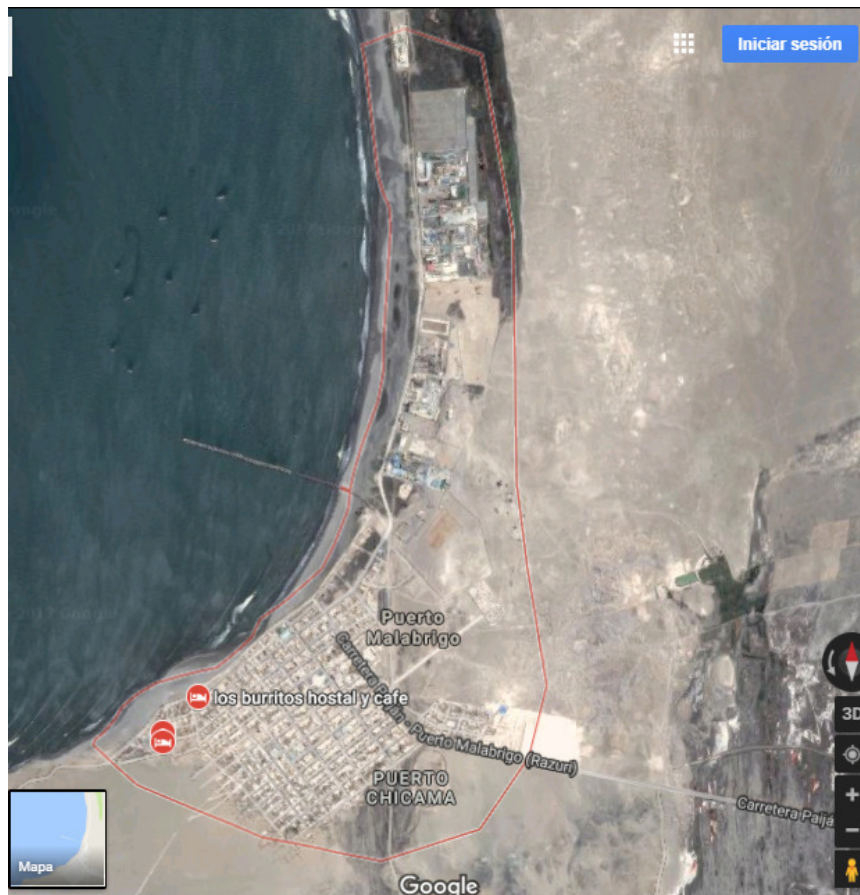


Figura N° 01 : Ubicacion de Puerto Malabrigo, en el distrito Razuri, Provincia Ascope. Departamento La Libertad.  
 Fuente: Municipalidad Distrital de Razuri



Figura N° 02 : Limites del Distrito de Razuri  
 Fuente : Municipalidad Distrital de Razuri

Por eso es importante realizar la investigación con la finalidad de proponer los equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad Puerto de Malabrigo, comprensión del Distrito de Razuri, Provincia de Ascope, Departamento de La Libertad.



**Figura N° 03 : Puerto Malabrigo, comprensión distrito Razuri. Provincia Ascope. Departamento La Libertad.**

Fuente : Google.Earth

## **1.2. Formulación del problema.**

¿Cuáles son los equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo. Ascope. La Libertad.?

## **1.3. Alcance**

El presente Proyecto de Investigación se desarrollará en La Localidad Puerto Malabrigo y se evaluará el sistema actual de alcantarillado y sus lagunas de oxidación, para realizar una propuesta de equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias, dichos equipos será molinos de viento para transmitir la energía eólica y realizar el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo, comprensión del distrito de Razuri, Provincia Ascope, Departamento la Libertad, para lo cual se ha realizado las siguientes etapas:

- 1.-Se ha recabado toda la información necesaria de Ingeniería, como es topografía, estado actual del sistema de alcantarillado, en diferentes puntos de la red y en diversos lugares de la ciudad
- 2.- Se ha realizado la evaluación del estado actual de las lagunas de oxidación de la localidad Puerto de Malabrigo.
- 3.- Se ha realizado la Verificación y evaluación actual que el tratamiento de las aguas residuales domiciliarias, actualmente es mediante un biofiltro y que **no funciona**.
- 4.- Se ha Realizado la propuesta de utilización de la energía eólica, mediante la utilización de Equipos: molinos de viento para transmitir energía eólica para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo.

## **1.4. LIMITACIONES**

- 1.-La falta de actualización de los registros del parque eólico en Puerto Malabrigo.

2.-Banco de datos incompletos y no actualizados del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

3.-El Periodo de tiempo de recolección de la información comprende 6 meses de duración a partir del 01 de junio 2017 hasta el 1 de diciembre 2017.

4.-Existe limitaciones de información en SEDALIB.



**Fotografía N° 01 : Plaza principal de Puerto Malabrigo**



**Fotografía N° 02 : Calle Miguel Grau de Puerto Malabrigo**

### **1.5. JUSTIFICACIÓN Y APORTES DE LA INVESTIGACIÓN:**

En el Perú el uso de esta energía no es ajeno y ya se le está dando la debida importancia en busca de contribuir con el medio ambiente y reducir costos

En 1989, Electroperú S.A. inició los estudios de investigación de energía eólica en el litoral del Perú definiendo la potencialidad eólica en Puerto Malabrigo (Puerto Malabrigo, Distrito Razuri, Provincia Ascope, Departamento de La Libertad).

La energía Eólica es la que se obtiene por medio del viento, es decir mediante la utilización de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire.

Las lagunas de estabilización cuando están apropiadamente diseñadas, construidas y mantenidas, con un sistema adecuado en el tratamiento de las aguas residuales tienen la característica de poseer una alta capacidad de remoción de carga orgánica y biológica, y además que no afecta al medio ambiente ni producen problemas a la comunidad.

Las lagunas de tratamiento bien mantenidas pueden funcionar satisfactoriamente y sin problemas durante muchos años; sin embargo, el potencial de máxima utilidad de un sistema de lagunas de estabilización, es obtenido solamente a través de un adecuado mantenimiento realizado por operadores debidamente capacitados.

En nuestro Trabajo de investigación se considera realizar el movimiento de las aguas residuales en las lagunas de estabilización, mediante **Molinos de viento**, equipos que funcionan con el viento (energía eólica) y de tal manera que el agua residual en las lagunas de estabilización no estén quietas o en estado estático (puntos muertos) y que las aguas residuales estén en movimiento,



generados por los molinos de viento y así permitirán que se realice un tratamiento de las aguas residuales urbanas de la Localidad de Puerto Malabrigo en forma eficiente y económica.

La Energía Eólica, es una energía limpia ya que no requiere una combustión que produzca dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y no produce emisiones atmosféricas, ni residuos contaminantes.

La Energía Eólica es una fuerte alternativa al cambio climático ya que no produce efecto invernadero.

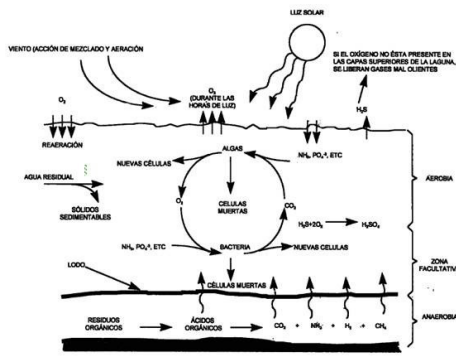


Figura N° 04 : Proceso dinámico en una laguna de estabilización  
Fuente : Rolim (2000)

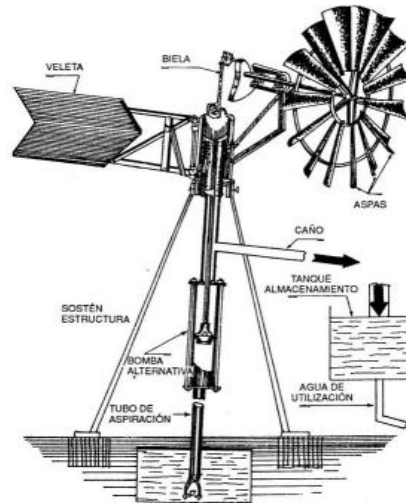


Figura N° 05 : Molino de viento para bombeo mecánico del agua  
Fuente: Álvaro Pinilla, S. 2003

Debido a estas razones es importante realizar el trabajo de Investigación de “Equipos Necesarios para transmitir energía Eólica, para Tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad; con la finalidad que haya mejor calidad de vida sin contaminación de los habitantes y turistas de la Ciudad de Puerto Malabrigo.

## **1.6. Hipótesis**

**Los equipos necesarios para transmitir Energía Eólica serán eficientes para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la ciudad de Puerto de Malabrigo. Ascope. La Libertad**

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1.General.**

Determinar los equipos necesarios para transmitir Energía Eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la ciudad de Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad.

### **1.7.2.Específicos**

1.7.1. Realizar los estudios del Viento, contrastando que del viento se Obtendrá energía disponible en cantidad y en forma continua.

**1.7.2. Describir los diferentes equipos que utilizan la energía eólica para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias o urbanas.**

**1.7.3. Realizar la propuesta de un sistema eólico para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo.**

**1.7.4. Realizar la Evaluación de Impacto ambiental (EIA).**

**1.7.5. Descripción del estado actual de las lagunas de estabilización y del sistema de tratamiento de las aguas**



**residuales urbanas, existentes en la Ciudad de Puerto Malabrigo.**

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Puerto de Malabrigo, Capital del Distrito de Rázuri; ubicado en la costa norte del Perú, a una altitud de 10 msnm y a 07°42'03" Latitud Sur y 79°26'12" Latitud Oeste, con una población atendida urbana de 5,508 hab. a diciembre 2012. La mayor parte del terreno tiene una topografía llana con pendientes no mayores a 3%. La cobertura de agua potable es de 99.21% y de alcantarillado 84.23%.(SEDALIB . 2016)

El Sistema de Vientos en Puerto Malabrigo desde el año 1996, hasta el año 2017, es decir en 21 años, el sistema de Vientos se ha registrado datos de frecuencias de velocidad del viento, alcanzando a la fecha un promedio aproximado de 8 m/s a una altura de 30 m.( ADINELSA. 2017).

El sistema de alcantarillado que se encargan de recoger las aguas servidas de 1,319 conexiones totales. Se estima que la longitud total de la red de distribución es de 7.70 Kilómetros.(SEDALIB. 2016).

Las aguas residuales son transportadas hasta una cámara de bombeo mediante un emisor de 10" de diámetro y 505 m de longitud. A partir de esta unidad se bombea el agua hasta una cámara rompe presión, y de ahí se escurre por gravedad hacia la planta de tratamiento. La planta de tratamiento está compuesta por dos lagunas de estabilización.(SEDALIB. 2016).

El 6 de Agosto de 2005, en nuestro País, se publica el Decreto Supremo N° 016-2005-Vivienda conteniendo modificaciones al Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, el cual desarrolla el marco legal que regula la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito rural y pequeñas ciudades. Este dispositivo legal considera ámbito rural y de pequeñas ciudades a aquellos centros poblados que no sobrepasen los 30 000 habitantes. En la mayoría de las localidades el servicio es

deficiente, de mala calidad y discontinuo. Por esta razón, este Decreto Supremo está orientado a mejorar los servicios de agua y saneamiento. En el caso de las localidades rurales con la participación de las Organizaciones Comunales y en las pequeñas ciudades, presentan un nuevo modelo de gestión basado en un enfoque en el cual la municipalidad asociada con la comunidad delega la administración del servicio a un operador local especializado mediante un contrato.(MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION. 2016).

## **INVESTIGACIONES INTERNACIONALES**

### **1.- Titulo: Energías Renovables, la utilización y su impacto Ambiental**

Autor : Alfredo Galván Valadez

Institución : Universidad Autónoma de México.

Año : 2016

#### **Resumen:**

Durante muchos años hemos utilizado recursos no renovables como fuente de energía, hoy en día se estima que, de seguir un ritmo de consumo similar al actual, las reservas de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) cuentan con reservas limitadas y elevan su costo de extracción rápidamente ya que la velocidad de consumo de estos recursos es mucho mayor a su velocidad de regeneración, lo que consecuentemente traerá su agotamiento en el largo plazo, ya que en estudios realizados se contará con este energético solamente por los próximos 50 a 100 años posteriores con un elevado costo de extracción, sin mencionar el daño que causa al medio ambiente. Para lo cual debemos de tomar medidas drásticas y emergentes.

Esta tesis surge con la finalidad de facilitar y contribuir a las empresas privadas y transnacionales la visión de las energías más usuales en el país, así como los requerimientos y formatos requeridos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la que recibe, reúne y depura una gran cantidad de información existente en cuanto a este tipo de

tecnologías, por lo que se accedió a muy diferentes fuentes de información para lograr un panorama fiel a la realidad mundial, con el fin real de este proceso, es el entregar un reporte completo a la Sociedad, la cual se basa en este tipo de información como una de las bases para el planteamiento de la política energética de los próximos años.

En el año de 1997, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó el primer permiso bajo la modalidad de productor independiente a la trasnacional estadounidense AES para la planta Mérida III, por una capacidad de 532 MW, cuya entrada en operación fue en el año 2000.

**2.- Título: DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR-EÓLICO PARA CONSUMO DE AGUA EN CABAÑAS ECOTURÍSTICAS EN LA PITAYA, VERACRUZ, MÉXICO.**

Autora : Ana María Cerdán Cabrea

Institución : UNIVERSIDAD INTERNACIONAL ANDALUCIA

Año : 2011

Resumen:

Una solución al problema del traslado de agua son los sistemas de bombeo pero para que las bombas realicen éste trabajo requieren energía. Si al lugar llegan las redes de distribución de energía eléctrica, el sistema de bombeo puede ser instalado sin mayores complicaciones. Sin embargo, en el caso de los lugares que además de falta de suministro de agua carecen de electricidad las opciones se ven más limitadas.

En la congregación de la Pitahaya en el municipio de Coatepec, Veracruz, se cuenta con un terreno que planea utilizarse para construir cabañas con fines ecoturísticos. La propiedad no cuenta con suministro de agua ni de luz eléctrica. En las cercanías corre un arroyo del cuál puede extraerse agua mediante un sistema de bombeo, pero no se puede instalar una bomba eléctrica para realizar este trabajo debido a la falta del servicio de luz.

La solución planteada a esta problemática consiste en el diseño de un sistema de bombeo que funcione mediante energías solar y eólica con el cual se pueda trasladar del arroyo a la propiedad un volumen de agua suficiente para satisfacer las necesidades de los huéspedes así como las necesidades de riego de las áreas verdes.

### **3.- Título: SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA CASA HABITACIÓN CON TARIFA DAC**

Autores : Flores Mondragón Josué  
Lazcano López Juan Pablo

Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

Año : 2016

#### **Resumen:**

En materia de energía eléctrica, los aumentos en las tarifas en los últimos años han llegado a ser hasta del 200%, como resultado del aumento del precio de los energéticos y la política gubernamental de reducción y eliminación de subsidios a los consumidores domésticos. Esto ha planteado la necesidad de implementar métodos de ahorro de energía y se ha explorado poco el abastecimiento con fuentes alternativas de energía que no dependan totalmente de la red eléctrica y que tengan una buena relación costo-beneficio. Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías, es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad. El objetivo ideal sería obtener un conjunto de ecuaciones que ligen los datos meteorológicos (velocidad de viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (generador eólico, fotovoltaico y baterías). Las condiciones climáticas indican la configuración idónea para un determinado emplazamiento. El carácter complementario que presentan la energía eólica y solar en diferentes lugares durante los ciclos estacionales presenta algunas importantes ventajas.

Para estos casos, los sistemas híbridos ganan fiabilidad respecto a los sistemas con una sola fuente de energía sin necesidad de un sobredimensionamiento de los convertidores o las baterías. Entre las ventajas de combinar el uso del viento y el Sol para la generación de energía eléctrica es que es posible reducir el costo total de la instalación. El mayor o menor beneficio de esta opción depende de la correlación estacional en el tiempo de ambos recursos (el viento y el Sol).

**El método de simulación temporal del sistema, para una determinada configuración, que va variando hasta satisfacer los niveles de fiabilidad que se exige al sistema, permite identificar rápidamente las posibles configuraciones, se puede aumentar la fiabilidad de los sistemas teniendo en cuenta que ambas fuentes de energía pueden estar en correlación inversa. Se elaborará el análisis de una instalación energética con sistema autónomo híbrido eólico-fotovoltaico.**

## **INVESTIGACIONES NACIONALES**

### **1.-Título: EL VIENTO - FACTOR IMPORTANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Autores :Ruiz Berna, Celia Elisa  
Oviedo Orellana, Cristian Galo

Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.LIMA

Año : 2013

#### **Resumen:**

Las lagunas de estabilización son construidas en su mayoría por el mismo terreno natural y/o arcilla, diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas). La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una

descomposición biológica natural. Cabe indicar que la terminología de lagunas de estabilización incluye lagunas anaeróbicas, facultativas, y lagunas de maduración. Uno de los aspectos para un adecuado diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, mediante Lagunas de Estabilización, es la ubicación de éstas respecto al viento del área de influencia, factor principal para determinar la dirección y velocidad del viento, aspecto que es motivo de la presente investigación. Al ser evaluada la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo al viento, también se tomará en cuenta la ubicación de las tuberías de ingreso y recolección en la salida (ubicación de las estructuras de salida), de la laguna modelo, pudiendo ser estas de diferentes tipos. En tal contexto se analizará dichos fenómenos en una laguna a escala de laboratorio con respecto a la dirección y velocidad del viento.

Los patrones de caudal afectan el tiempo de exposición para el tratamiento y distribución del sustrato en el reactor, siendo estos patrones en reactores discontinuos y los reactores con caudal continuo. Los reactores con caudal continuo se clasificarse en Flujo Pistón, Mezcla Completa y Flujo Disperso.

Los fenómenos hidráulicos, Como expresión del mundo natural, son tan complejos que no es posible analizarlos y describirlos totalmente. Sólo podemos hacerlo parcialmente. Uno de los instrumentos más poderosos para tratar de conocer y comprender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructuras se encuentra en la investigación mediante los modelos matemáticos y los modelos físicos.

En la selección de las escalas intervienen numerosos factores. De un lado están las exigencias teóricas originales en el parámetro característico de la información, y de otro, las circunstancias de tipo práctico vinculadas al laboratorio y a los objetivos de la investigación. Como consecuencia de las escalas escogidas, y ciertamente del tamaño y otras características del prototipo, suele ocurrir que en el prototipo aparezcan determinados fenómenos que no corresponden a los que se presentan en la naturaleza.

La fuerza ejercida sobre un cuerpo generalmente está compuesta de varias fuerzas, sin embargo una o más fuerzas del sistema completo

pueden dominar las demás fuerzas. Existe similitud entre un modelo y el prototipo cuando la proporción de las magnitudes de éste es igual a la proporción de las magnitudes correspondientes al modelo. Entendiéndose como magnitudes básicas; la longitud, masa y tiempo. Existen tres clases de similitud, que se describe en el desarrollo de la presente tesis. Existe similitud dinámica cuando las masas correspondientes tienen similitud cinemática bajo influencia de las fuerzas correspondientes.

## **2.- Título: “APROVECHAMIENTO DEL RECURSO EÓLICO Y SOLAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN EL POBLADO RURAL LA GRAMITA DE CASMA”**

Autores : ING. JUAN AVILIO CHERCCA RAMÍREZ

Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.LIMA

Año : 2014

### **Resumen:**

La investigación y desarrollo en tecnología de Aerogeneración de baja potencia (2 kW), y la implementación de Sistemas Fotovoltaicos es limitada en el país y en el mercado internacional, no obstante que se presenta como una solución energética estratégica para zonas rurales que disponen del recurso eólico y solar en lugares en donde no se tiene el acceso al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y en donde no existe redes de Transmisión y Distribución Eléctrica de dicho sistema, entonces en dicha zona la única alternativa es la generación aislada, por ello la energía renovable es una buena opción y se plantea el uso de aerogeneradores de pequeña potencia para satisfacer la demanda de energía eléctrica doméstica y comunitarias en zonas rurales.

La presente Tesis es una investigación aplicada cuya metodología parte de la evaluación de tecnologías independientes como son el uso de aerogeneradores y los paneles fotovoltaicos y la combinación adecuada de éstas dos tecnologías, para lo cual se ejecutaron labores de gabinete y de campo, que dan como resultado el diseño de un Aerogenerador de 2 kW con imanes permanentes de neodimio, el uso de 28 paneles Fotovoltaicos de 240Wp, acumuladores o baterías, Reguladores de carga



e Inversor que conforman un Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaico para suministrar energía eléctrica para los pobladores de la Caleta “La Gramita” de la Provincia de Casma, cuya demanda energética es de 49,25 kWh/día, lo que permitirá mejorar la calidad de vida y mitigar los impactos ambientales por las emisiones contaminantes por el uso de carbón, velas, mecheros y grupos electrógenos.

Esta alternativa propuesta tiende a ser la mejor alternativa que utiliza fuentes renovables de gran potencial en el lugar dado que ésta se encuentra en la playa “La Gramita” a la orilla del mar con viento y sol favorable durante todo el año, lo que se puede corroborar en el mapa eólico y solar donde contamos con una velocidad de viento de 5,3 m/s (a 10 m de altura) y una irradiancia de 5.75 kWh/m<sup>2</sup>.

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **El Origen del viento.**

El Viento, se origina a partir de las diferencias de presión establecidas por la inhomogeneidad del calentamiento por radiación solar. Así mismo, el movimiento de traslación de la tierra da lugar a variaciones estacionales en la distribución de radiación. (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. ATLAS EOLICO DEL PERU. 2016.)

El viento sopla predominantemente en el plano horizontal, respondiendo a los gradientes horizontales de presión debido a las variaciones espaciales en la transferencia de calor a la atmósfera crean variaciones en el campo de presión que fuerzan al aire a moverse desde las altas hacia las bajas presiones. Normalmente, la fuerza del gradiente de presión vertical se cancela con la fuerza gravitatoria. (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. ATLAS EOLICO DEL PERU. 2016.)

La Fuerza de Coriolis es la primera que aparece, por tratarse de un sistema manifiestamente no inercial como es la Tierra en rotación sobre su eje. Hagamos de cuenta que un cuerpo que sigue una trayectoria rectilínea de norte a sur sin contacto con la superficie de la Tierra. Visto

desde el espacio, el cuerpo efectivamente continua una trayectoria rectilínea y es la Tierra la que se desplaza debajo de él. Para un observador ubicado en reposo sobre la superficie, el cuerpo que se traslada sobre su cabeza aparentará desplazarse hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. Esta fuerza ficticia que explica este movimiento en el sistema no inercial es la que llamamos de Coriolis. (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. ATLAS EOLICO DEL PERU. 2016.)

La determinación precisa del recurso eólico es una tarea difícil e incierta, especialmente cuando se compara con la energía solar o la energía hidráulica. Las razones para esto son las siguientes:

**a)** Una gran variabilidad de velocidades de viento se encuentra en las diferentes regiones del mundo, desde un promedio anual de velocidad de 2 m/s hasta 4 a 7 m/s en lugares con mucho viento. Esta variación en viento implica una mayor variabilidad en la potencia disponible, desde 40 a 200 W/m<sup>2</sup>.

**b)** Inmensas diferencias en velocidad de viento (y por ende en potencia) se observan en pequeñas distancias debido a la cambiante topografía del terreno y su rugosidad. En pequeñas distancias la potencia eólica puede variar en un orden de magnitud.

**c)** Es difícil medir el potencial eólico con precisión. El viento, generalmente, se mide como su velocidad y dirección. La potencia eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, significando esto que un pequeño error en su medición causa un mayor error en la potencia calculada.

Por ejemplo, la potencia eólica en un viento de 5 m/s es el doble que en un viento de 4 m/s ( $5^3/4^3 = 125/64 \sim 2$ ). Un error del 10% en la velocidad del viento implica un error del 33% en la potencia eólica calculada.

Por estas razones no es posible presentar, en general, una metodología simple y directa para la evaluación del recurso eólico. Sin embargo se dará aquí una introducción a los aspectos principales y la terminología típicamente utilizada.

## **DEFINICIONES.**

### **ENERGÍA EÓLICA**

La energía eólica es la energía que podemos obtener a partir de la potencia de las corrientes de aire. Podemos obtener energía gracias al aire con la ayuda de los siguientes equipos:

**Aerogeneradores:** Son aquellos dispositivos que podemos encontrar en grandes extensiones de terreno, se ubican para aprovechar la mayor potencia de las corrientes de viento.

Su potencia eléctrica no es muy grande, pero los campos eólicos generan grandes cantidades de energía, lo suficientemente potentes como para abastecer una ciudad pequeña.

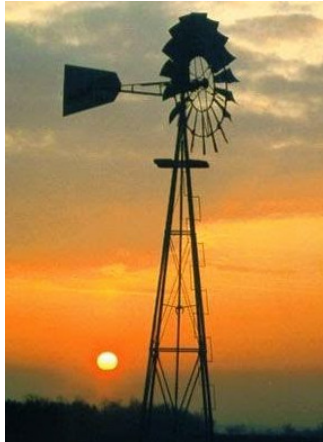


**Fotografía N° 03 : Vista de aerogeneradores**

**Fuente : ENERSAC.2016**

**Aerobombas:** Las aerobombas son unos pequeños generadores eólicos con una potencia de hasta 3.000 Watts, no se necesita una gran extensión de terreno para instalarlos, y generan suficiente electricidad

para poder cubrir las necesidades de un hogar en el cual el consumo de electricidad sea normal e incluso un poco más elevado de lo normal. Estos generadores eólicos tienen la apariencia de los molinos de viento y algunos tienen el mismo aspecto que los grandes aerogeneradores.



**Fotografía N° 04 : Vista de una aerobomba**

**Fuente : ENERSAC. 2016.**

**Molinos:** Son muy parecidos a las aerobombas, no necesitan un gran espacio para su instalación y pueden abastecer una casa entera de energía, tienen un coste muy bajo y se amortiza muy rápidamente el costo del molino.



**Fotografía N° 05 : Vista de un molino. Fuente : ENERSAC. 2016.**

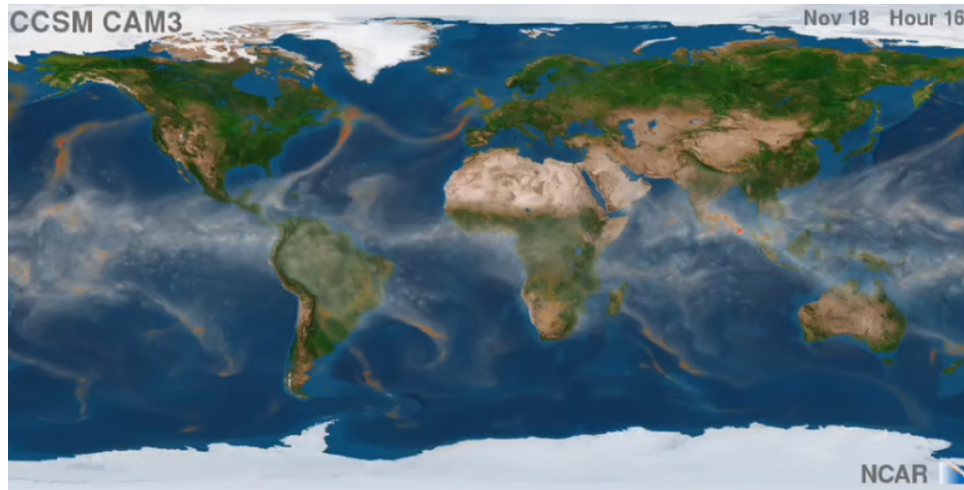
**Extractores:** Los extractores no producen ni consumen energía, su función es tan simple como renovar el aire que hay dentro de una

habitación en nuestro hogar, con lo que podemos mejorar la calidad del aire de nuestra vivienda sin contaminar al medio ambiente.



**Fotografía N° 06 : Vista de extractores**

**Fuente : ENERSAC. 2016.**



**Fotografía N° 07 : Vista del movimiento del viento global en el mundo ( 18 Noviembre 2017).**

**Fuente : HERREO NOVOA,CRISTINA. 2015.**

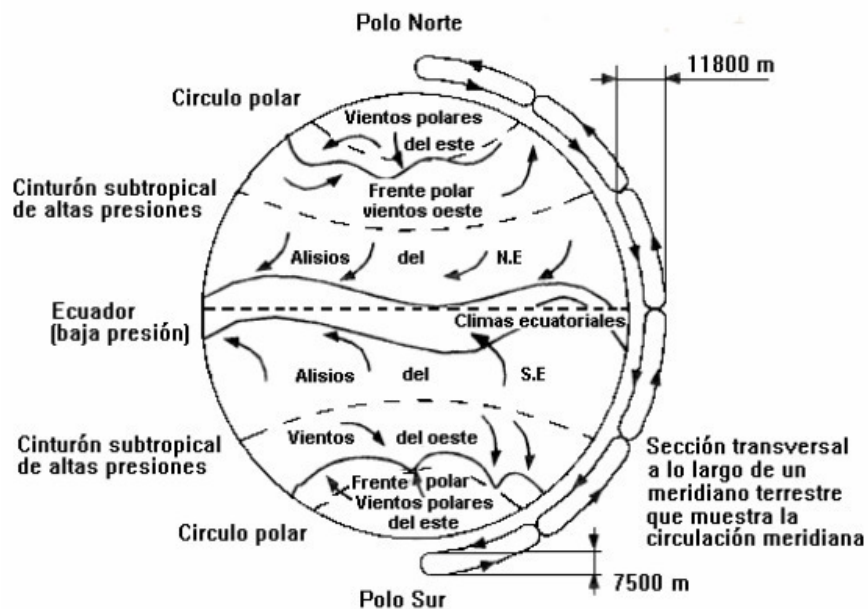


Figura N° 06 : Representación de la circulación de Vientos  
Fuente : Atlas Eólico del país Vasco 1993.

## APARATOS PARA MEDIR EL VIENTO

El **anemómetro** sirve para medir la velocidad del viento media, mínima y máxima, así como la cantidad de turbulencia que produce el viento en un sitio. Si dos anemómetros se colocan a diferentes alturas en un mismo mástil esto proporciona información adicional útil sobre el viento.



Figura N° 07 : Anemómetro  
Fuente : Atlas eólico del Perú. 2016.

Para calcular la medida de la dirección del viento se utiliza la **veleta**, aunque algunos anemómetros incluyen un indicador de dirección.

La información sobre velocidad y dirección del viento es recogida por un registrador de datos y pueden ser analizadas utilizando un software informático. Los datos de viento recogidos también deben cotejarse contra la exactitud de los datos de una estación meteorológica cercana.

Los registradores de datos más profesionales no sólo miden la velocidad del viento, sino también hacer cálculos en tiempo real con los datos en intervalos regulares, generalmente de 10 minutos. Estos cálculos incluyen las velocidades del viento media y máxima en el intervalo seleccionado.

El escenario ideal es tener anemómetro situado en el mismo sitio y altura que el eje de la turbina eólica que pensamos instalar, por lo que se puede dejar en el lugar mientras que la velocidad del viento está siendo monitoreada.

El **anemómetro de copa semiesférica** (todavía se usa hoy en día) fue inventado en 1846 por el investigador irlandés John Thomas Romney Robinson y consistió en cuatro copas hemisféricas. Las copas giran horizontalmente con el viento y una combinación de ruedas registra el número de revoluciones en un momento dado.

El **anemómetro sónico** determina la velocidad instantánea del viento y dirección (turbulencias) midiendo la cantidad de ondas sonoras que viajan entre un par de transductores que se aceleran o desaceleran por el efecto del viento. El anemómetro sónico fue inventado por el geólogo Dr. Andreas Pflitsch en 1994.

El viento es un vector, que tiene aproximadamente dos dimensiones, la componente vertical es normalmente muy pequeña. Por ende, puede describirse en cada instante de tiempo con dos coordenadas. Para

conseguir estas coordenadas en un sistema cartesiano, el vector debe ser proyectado sobre cada uno de los ejes definidos más o menos arbitrariamente como  $x$  e  $y$ . Esto es útil para la previsión numérica del tiempo, pero la forma natural de describir el viento es mediante sus coordenadas polares, el módulo (velocidad) y la dirección.

La velocidad del viento, se mide mediante el instrumento llamado Anemómetro de Cazoletas y de manera directa en aplicaciones eólicas es normalmente el anemómetro, siendo el más común el anemómetro de cazoletas.



**Figura N° 08: Anemómetro de Cazoletas**

**Fuente: Atlas eólico del Peru.2016.**

También son utilizados, aunque menos, los anemómetros de hélice. El viento hace girar la hélice acoplada a un eje que genera una señal dependiente de este giro, de manera similar a como lo hace el anemómetro de cazoletas. Si sólo se dispone de un anemómetro, éste se acopla a una veleta para orientarse automáticamente hacia el viento. También se pueden mantener fijos siguiendo dos o tres ejes cartesianos,



empleando dos o tres anemómetros, obteniendo en este caso las componentes del vector.

Para medir la dirección del viento normalmente se emplea una veleta. Su forma convencional consta de una cola ancha que el viento mantiene a sotavento de un eje de rotación vertical y de un contrapeso que se mantiene a barlovento y que proporciona el equilibrio necesario para que el instrumento gire lo más libremente posible. En la figura podemos observar que el contrapeso tiene una forma que nos apunta la dirección de la que viene el flujo. La señal de la posición se la veleta se obtiene por contactos de cierre de circuito o a través de potenciómetros.



**Figura N° 09 : Veleta**

**Fuente: Atlas eólico del Peru.2016.**

Existen otros instrumentos de medición, de invención mucho más nuevos, como anemómetros sónicos, que utilizan ondas ultrasónicas para calcular simultáneamente la velocidad y la dirección del viento. Así como también herramientas de teledetección, como el SODAR y el LIDAR, que emplean sonido y luz respectivamente para barrer la vertical de la atmósfera y así

obtener un perfil de sus características; pero que en la actualidad no están reemplazando a los instrumentos tradicionales, por su elevado precio.

## UNIDADES Y ESCALAS

El viento, se especifica con su módulo y su ángulo. Las unidades del módulo, como para cualquier velocidad, constan de una dimensión espacial dividida entre una temporal. En el Sistema Internacional, estas unidades son el metro y el segundo (m/s), y de hecho son las más habituales en los estudios de recurso eólico. Por familiaridad, también se emplean el kilómetro y la hora (km/h).

Según fundamentos históricos, la navegación es el campo en la que existe más conocimiento y la descripción del viento, existen dos escalas más de velocidades de viento que son propias de este campo. La primera es el **nudo**, que equivale a una milla náutica por hora ó 1,852 km/h. La otra es la **escala Beaufort**, que es fenomenológica y que calcula la velocidad del viento en función del aspecto de la superficie del mar..

**Tabla N° 04 : Equivalencias y denominación de la escala de Beaufort**  
Fuente : Atlas eólico del Perú. 2016.

Número Beaufort	Velocidad (km/h)	Denominación
0	< 1	<b>Calma</b>
1	2 – 5	<b>Ventolina</b>
2	6 – 11	<b>Flojito</b> (Brisa muy débil)
3	12 – 19	<b>Flojo</b> (Brisa débil)
4	20 – 28	<b>Bonancible</b> (Brisa moderada)
5	29 – 38	<b>Fresquito</b> (Brisa fresca)
6	39 – 49	<b>Fresco</b> (Brisa fuerte)
7	50 – 61	<b>Frescachón</b> (Viento fuerte)
8	62 – 74	<b>Temporal</b> (Viento duro)
9	75 – 88	<b>Temporal fuerte</b> (Muy duro)
10	89 -102	<b>Temporal duro</b> (Temporal)
11	103 – 117	<b>Temporal muy duro</b> (Borrasca)
12	> 118	<b>Temporal huracanado</b> (Huracán)

En meteorología, la dirección del viento se mide en grados sexagesimales, pero el método empleado es diferente del matemático habitual, siempre nos referimos a la dirección de la que viene el viento, no

hacia donde va. Se estima cero grados u origen al viento que viene del norte, y la escala es creciente hasta los 360 grados en el sentido de las agujas del reloj.

## **ENERGÍA EÓLICA Y FUERZA DEL VIENTO**

El viento es una forma de energía solar. Los vientos son causados por el calentamiento desigual de la atmósfera por el sol, las irregularidades de la superficie de la tierra, y la rotación de la tierra. Patrones de flujo del viento son modificados por el terreno de la tierra, cuerpos de agua y la cubierta vegetal. Este flujo de energía eólica, o el movimiento, cuando es "captado" por los aerogeneradores, puede ser utilizado para generar electricidad.



**Fotografía N° 08 : Vista de equipos y viento**

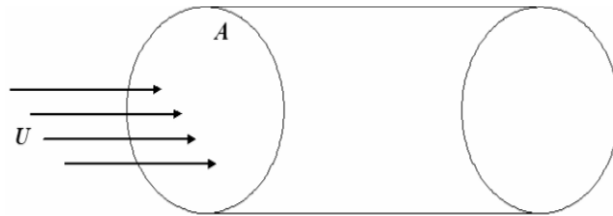
Fuente : MERIDA, M .PEREZ ,B. LOBON , R. y FROLONA , M . 2009

### **¿Cómo es Generada la Energía Eólica?**

Los términos "energía eólica" o "fuerza eólica" se usan para describir el proceso mediante el cual se utiliza el viento para generar energía mecánica o electricidad. Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Esta energía mecánica se puede utilizar para tareas específicas (tales como moler grano o bombear el agua) o un generador puede convertir esta energía mecánica en electricidad para los hogares, empresas, escuelas, y otros.

El viento puede utilizarse para la producción de energía, porque la contiene en forma de energía cinética. Las máquinas respectivas dejarán transformarla en energía mecánica y, a través de un generador, en la energía eléctrica.

Consideramos un flujo de viento de velocidad  $U$  que atraviesa un volumen de longitud diferencial y sección transversal  $A$ .



**Figura N° 10 : Flujo a través de un disco**  
**Fuente : Ministerio de Energía y Minas. Atlas Eólico del Perú.**

El flujo que cruza el disco por unidad de tiempo,  $dm/dt$ , según la ecuación de continuidad es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{dx}{dt} = \rho \cdot A \cdot U ,$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire, que al igual que área del disco se considera que no varía con el tiempo.

La potencia o energía cinética por unidad de tiempo será:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} U^2 \frac{dm}{dt}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, queda la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3$$

A continuación se puede definir una nueva magnitud, que mostrará la potencia por unidad de la sección transversal (área barrida), o densidad de potencia, y que vendrá expresada por:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \cdot U^3$$

A la luz de estas ecuaciones, se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- La densidad de potencia es proporcional a la densidad del aire. Esto indica que, a mayor altitud, menor la energía disponible a igual velocidad del viento, como se puede comprobar en la Tabla N° 05.
- La energía que se extrae del viento es proporcional al área barrida por el rotor (o al cuadrado de su diámetro en una máquina convencional, con rotor circular).
- La densidad de potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento

**Tabla N° 05 : variación de la densidad, temperatura y presión con la altitud en una atmosfera estándar.**

**Fuente : Ministerio de Energía Y Minas. Atlas Eólico del Perú.**

Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (hPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0	15.0	1013.2	1.225
100	14.3	1001.3	1.213
200	13.7	989.5	1.202
300	13.0	977.73	1.190
400	12.4	966.11	1.179
500	11.7	954.6	1.167
1000	8.5	898.7	1.112
2000	2.0	794.9	1.007
3000	-4.5	701.1	0.909
4000	-11.0	616.4	0.819
5000	-17.5	540.2	0.736

### LEY DE BETZ

Al intentar extraer con un aerogenerador la energía del viento, se verá que su velocidad disminuye al traspasar la máquina, dado que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento para transformar su energía cinética en rotacional.

La cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor por unidad de tiempo debe ser igual a la que abandona el área del rotor por el otro lado, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano del rotor.

Al extraer toda la energía del viento, el aire saldría con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador. En el otro caso extremo, el viento podría pasar sin ser para nada estorbado. En este caso tampoco sería extraída ninguna energía del viento.

Se puede asumir que debe haber alguna forma de frenar el viento que esté entre estos dos extremos, y que sea la más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil. Esta problemática fue respondida por Albert Betz en un célebre teorema formulado en 1919, según se expone a continuación:

Se considera, razonable, que la velocidad promedio del viento a través del área del rotor es el promedio de la velocidad del viento sin perturbar antes de la turbina eólica,  $v_1$ , y la velocidad del viento después de su paso por el plano del rotor,  $v_2$ , esto es,  $(v_1 + v_2)/2$ . Siguiendo las fórmulas se obtiene que la masa por unidad de tiempo que atraviesa el rotor es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{dx}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{v_1 + v_2}{2},$$

y la potencia extraída por el rotor es:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) \frac{dm}{dt},$$

Sustituyendo la expresión anterior daría la potencia de:

$$P = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)$$

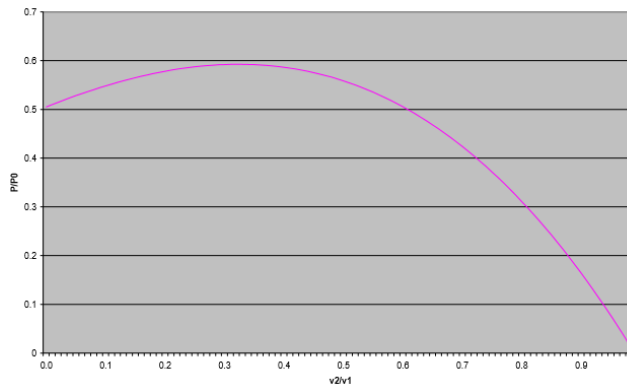
La potencia del viento incidente sobre el rotor, a la que se denomina  $P_0$ , sería:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3$$

Si se comparan los dos valores, se obtiene la siguiente función:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left( 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right)$$

Esta función, como se puede apreciar en la siguiente Figura, tiene un máximo para  $v_2/v_1 = 1/3$ .



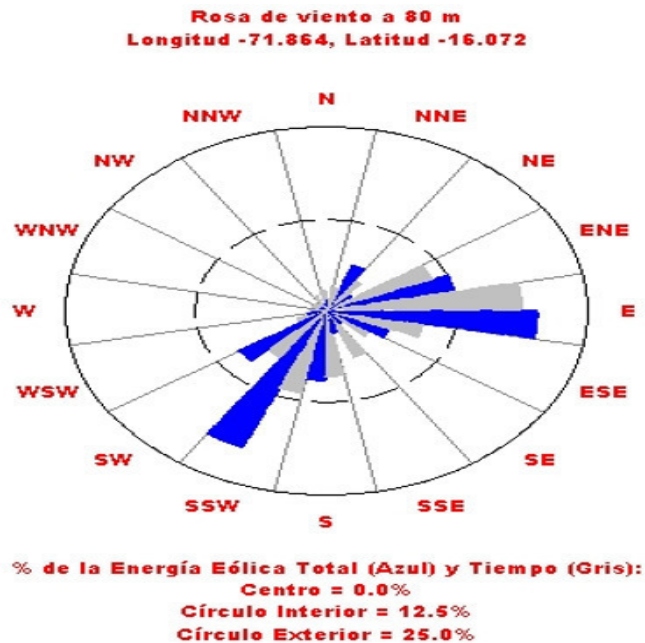
**Figura N° 11 : Energía Extraíble del viento**  
**Fuente : Ministerio de Energía Y Minas. Atlas Eólico del Perú.**

## ROSA DE VIENTO

En Meteorología, se representa la distribución del viento con un gráfico polar llamado **rosa de viento**. En este gráfico, se divide el círculo en un número de sectores múltiplo de cuatro, ya que cuatro son los puntos cardinales, y se presenta el tanto por ciento del tiempo en el que el viento sopla en cada uno de estos sectores. Cabe recordar que la dirección del viento es siempre la dirección desde la que viene el mismo, no hacia donde va.

Para usos en energía eólica, aunque la rosa de viento, habitual es también útil, es mucho mejor que se considere una modificación de la Rosa. Más que la frecuencia con que el viento sopla en una dirección, lo que importa en este caso es la energía del mismo en las diferentes direcciones.





**Figura N° 12 : Rosa de Viento**  
**Fuente : Ministerio de Energía Y Minas. Atlas Eólico del Perú.**

## **VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA**

### **Fuente Renovable No Contaminante**

La energía eólica es un recurso gratuito y renovable, así que no importa cuánto se usa hoy en día, todavía habrá el mismo suministro en el futuro. La energía eólica es una fuente de energía limpia no contaminante.

A diferencia de las centrales convencionales, las eólicas no emiten contaminantes o gases de efecto invernadero. Según el Departamento de Energía de EE.UU., en 1990, las plantas de energía eólica en California compensaron la emisión de más de 2,5 millones de libras de dióxido de carbono, y 15 millones de kilos de otros contaminantes que de otro modo habrían sido producidos.

Se necesitaría un bosque de 90 millones a 175 millones de árboles para proporcionar la misma calidad de aire.

**Aerobomba:** equipo de bombeo de agua accionado por la energía del viento.

**Altura de bombeo (H):** diferencia de nivel en la superficie libre del agua de la fuente de agua y el nivel de descarga

**Anemómetro:** instrumento mecánico, eléctrico, electrónico, etc. para medir la velocidad del viento

**Bomba reciprocante de acción simple:** bomba de agua de desplazamiento positivo provista de pistón que por la acción alternante solo bombea líquido en el movimiento de ascenso del vástago. Se dimensiona técnicamente por el diámetro del pistón y la longitud de la carrera (S) del vástago.

**Disponibilidad de la aerobomba:** fracción del tiempo en la cual una aerobomba está bombeando agua de manera efectiva .

**Eficiencia volumétrica de una bomba ( $\eta_{vol}$ ):** relación entre la cantidad real de agua entregada por una bomba y el volumen teórico barrido por acción del desplazamiento de un pistón.

**Energía hidráulica:** cantidad neta de agua bombeada desde una altura de bombeo en un periodo de tiempo dado.

**Molino de viento:** Aerobomba acoplada a bomba de pistón, donde, el rotor eólico está acoplado mecánicamente a una bomba de pistón a través de un vástago que transmite oscilante desde la parte superior de la torre hasta la bomba. La fuente de agua puede ser pozo o laguna y el bombeo es de tipo directo, es decir, que el molino se ubica directamente sobre la fuente de agua.

**Rotor eólico:** dispositivo basado en palas aerodinámicas que accionado por el viento que incide sobre el, convierte su energía en energía rotacional mecánica.

**Velocidad específica (I):** relación entre la velocidad de la punta de las palas del rotor eólico y la velocidad de viento incidente.

**Velocidad específica de diseño (I<sub>d</sub>):** velocidad específica en la cual el rotor eólico entrega su máxima potencia.

**Velocidad promedio anual de viento:** el valor de la velocidad resultante de calcular el promedio horario anual medido por un anemómetro.

**Velocidad de viento de arranque:** velocidad de viento en la cual la aerobomba comienza a bombear agua continuamente.

**Velocidad de viento de diseño:** velocidad del viento en la cual la aerobomba opera a su máxima eficiencia de conversión de energía.

**Velocidad del rotor (N):** velocidad rotacional del rotor eólico medido en revoluciones por segundo (rps)

### **¿Qué es la energía renovable?**

Energía renovable es la que se aprovecha directamente de recursos considerados inagotables como el Sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor del interior de la Tierra.

**Organización Comunal:** Las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento, Asociación, Comité u otra forma de organización, elegidas voluntariamente por la comunidad, constituidas con el propósito de administrar, operar y mantener los servicios de saneamiento en uno o más centros poblados del ámbito rural.

**Operador Especializado:** Organización privada con personería jurídica y carácter empresarial que, una vez desarrollado el proceso de selección,

negociación y suscripción del contrato con la municipalidad, se hace cargo de la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito de las pequeñas ciudades.

### **VENTAJAS COMPETITIVAS DEL BOMBEO DE AGUA POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO MOLINOS DE VIENTO.**

Las energías renovables cuentan con tres clases de competidores sobre los cuales presentamos las ventajas competitivas, los competidores son: bombeo con combustible fósiles como el diesel y la gasolina, el bombeo con energía eléctrica y el bombeo con energía fotovoltaica.

Con respecto a los equipos de bombeo convencionales ofrece la siguiente ventaja: Las aerobombas utilizan la energía del viento, las cuales son gratis y limpias, evitando el uso de combustibles no renovables que son de acceso restringido en la mayoría de zonas rurales y su costo se eleva progresivamente a medida que se agotan las reservas.

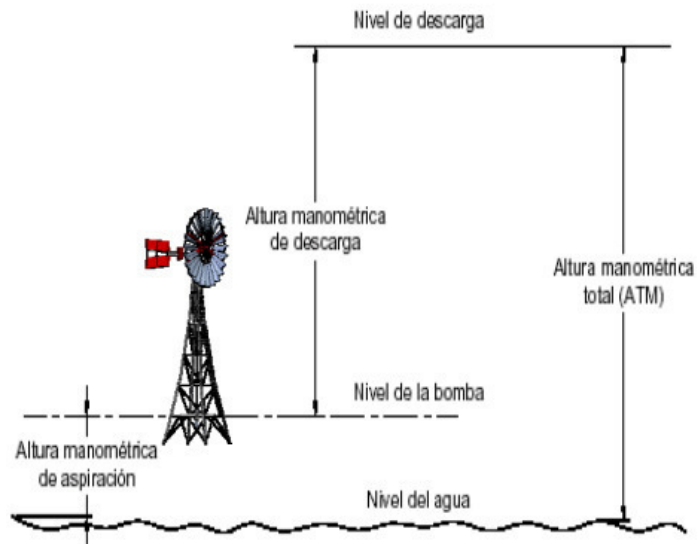
Además, el hecho de no consumir combustible reduce los costos de mantenimiento haciendo que el equipo amortice su costo inicial rápidamente y hace que el costo del metro cúbico bombeado sea más barato.

Las aerobombas son productos ecológicos, no contaminantes, no utilizan combustibles, ofrece al usuario la posibilidad de hacerle mantenimiento y reparaciones personalmente reduciendo costos y reduciendo el tiempo muerto por no funcionamiento.

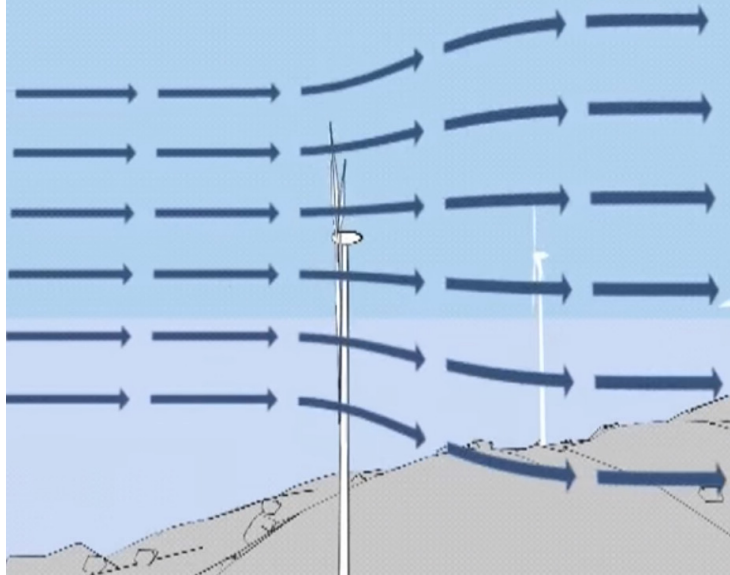
Resumiendo tenemos:

- \* Energía limpia y gratis.
- \* El costo más bajo de metro cúbico de agua bombeada del mercado.
- \* No requiere seguimiento continuo para la operación, ofreciendo trabajo más de 8 horas diarias.

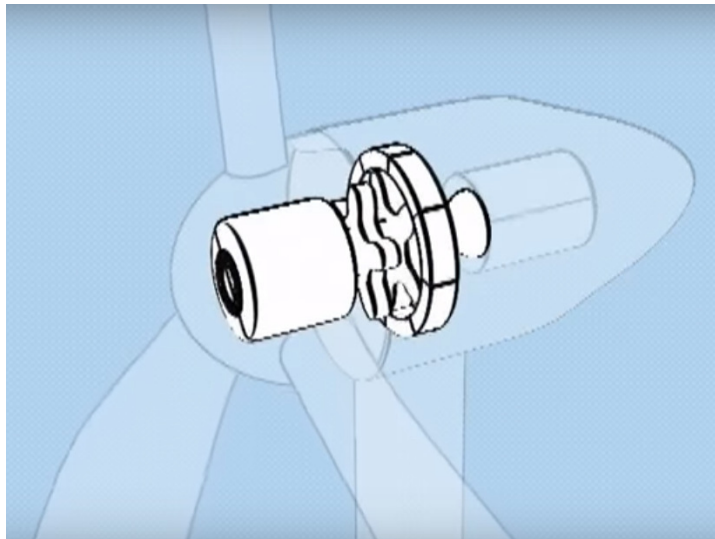
- \* No requiere vigilancia continua, porque no son elementos susceptibles de robo.
- \* Ornamental, es un equipo atractivo para visitantes del sitio y en muchos casos es considerado un símbolo del lugar en donde se ubica.



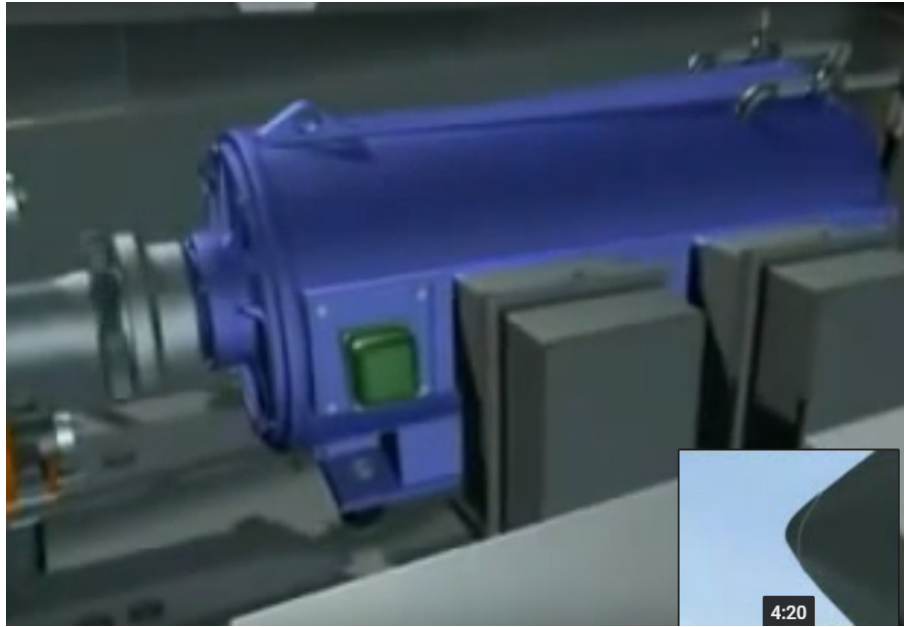
**Figura N° 13 : Identificación de las condiciones de bombeo.**  
**Fuente : Jober .2014.**



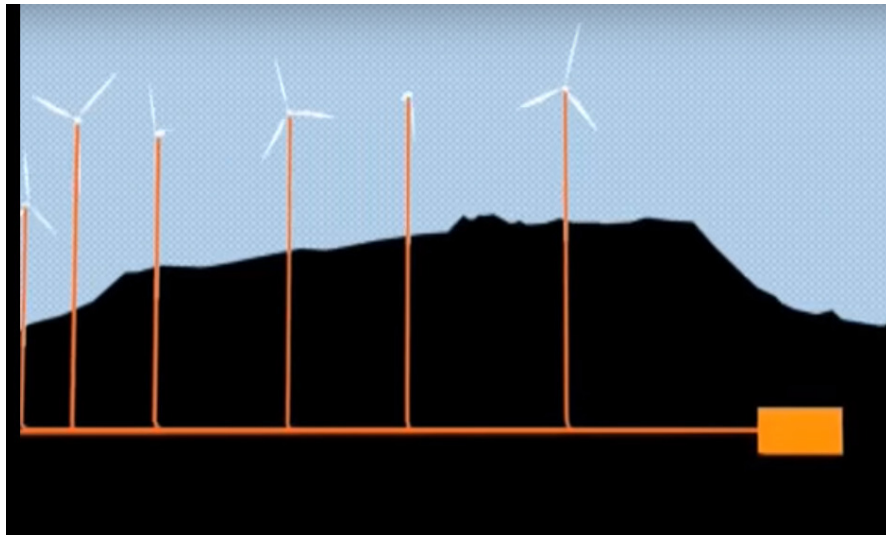
**Figura N° 14 : Esquema de las líneas de corriente del viento**  
Fuente : WEIBULL,W.A. 2016.



**Figura N° 15 : Esquema de funcionamiento de energía Eólica**  
Fuente : WEIBULL,W.A. 2016.



**Figura N° 16 : Vista del generador, en un equipo que se utiliza para transmitir energía eólica**  
Fuente : WEIBULL,W.A. 2016.



**Figura N° 17 : Vista del generador, en un equipo que se utiliza para transmitir energía eólica**  
Fuente : Fuente : WEIBULL,W.A. 2016.

## **ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE VIENTO**

### **La Escala de Beaufort**

La escala de viento de Beaufort (1806) es una escala numérica que fue diseñada por el hidrógrafo de la Marina Real Británica Sir Francis Beaufort. Se trata de un sistema usado para estimar la velocidad del viento que tiene como unidad de medida el Número de Beaufort que se compone de tres partes:

La velocidad del viento, Bf

Un término descriptivo

Los efectos visibles en la superficie marina o sobre los objetos en tierra.

Se basa en la observación de los efectos de los vientos para determinar su velocidad, que es expresada en valores Bf, es decir se tienen valores de velocidad de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 Bf.

Se trata de una medida subjetiva de la velocidad de viento, ya que esta escala no asigna valores medibles, como pueden ser m/s.

La escala es la siguiente, se muestra primero la cifra Beaufort y su nombre descriptivo seguido de los efectos que produce en alta mar:

0 calma → Mar como un espejo

1 ventolina → Rizos como escamas de pescado pero sin espuma.

2 flojito → Pequeñas olas, crestas de apariencia vítrea, sin romperse

3 flojo → Pequeñas olas, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo aislados vellones de espuma

4 bonancible-moderado → Pequeñas olas creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas

5 fresquito → Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)

6 fresco → Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca



(salpicaduras frecuentes)

7 frescachón → El mar crece, la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento

8 temporal → Olas de altura media y mas alargadas, del borde superior de sus crestas comienzan a destacarse torbellinos de salpicaduras.

9 temporal fuerte → Grandes olas, espesas estelas de espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad

10 temporal duro → Olas muy grandes con largas crestas en penachos, la espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas en conjunto la superficie está blanca, la visibilidad está reducida

11 temporal muy duro → Olas de altura excepcional, (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje pequeño y medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad está reducida

12 temporal huracanado → Aire lleno de espuma, salpicaduras, Mar cubierto de espuma visibilidad muy reducida

A estos valores Bf corresponde un rango de velocidad, existen diversos trabajos acerca de la conversión de la escala Beaufort a medidas cuantitativas (Del Angel, J.A. ; Sarmiento Sera , A. 2004).

**Tabla N° 06 : Conversión de la escala de Beaufort a m/s y km/h**  
**Fuente : Del Angel Ramos, J. A., Sarmiento Sera, A. (2004).**

Escala Beaufort	Rango de velocidad (m/s)	Rango de velocidad (km/h)
<b>0</b>	0 - 0,2	1
<b>1</b>	0,3 - 1,5	1 - 5
<b>2</b>	1,6 - 3,3	6 - 11
<b>3</b>	3,4 - 5,4	12 - 19
<b>4</b>	5,5 - 7,9	20 - 28
<b>5</b>	8,0 - 10,7	29 - 38
<b>6</b>	10,8 - 13,8	39 - 49
<b>7</b>	13,9 - 17,1	50 - 61
<b>8</b>	17,2 - 20,7	62 - 74
<b>9</b>	20,8 - 24,4	75 - 88
<b>10</b>	24,5- 28,4	89 - 102
<b>11</b>	28,5- 32,6	103 - 117
<b>12</b>	> 32,7	> 118

### **Ley potencial**

El viento viene caracterizado por dos magnitudes: velocidad y dirección. La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinado, se mide mediante un anemómetro. La unidad de medida es metros por segundo (m/s).

Un anemómetro es un instrumento que sirve para determinar la velocidad del viento o su velocidad y dirección. Para su funcionamiento se recurre fundamentalmente a la utilización de alguna de las tres propiedades del viento como son su energía cinética (que determina la rotación de las cazoletas del aparato), su presión dinámica (dependiente de la velocidad

y la densidad) y su capacidad de producir enfriamiento. De ahí que exista gran variedad de tipos de anemómetros

La dirección del viento se mide mediante una veleta, la dirección mide la componente horizontal de la velocidad del viento. En meteorología es importante tener en cuenta que la dirección indica de dónde viene el viento y no hacia dónde va. Se mide en grados, es decir desde 0° (sin incluir este) hasta 360° (incluido), girando en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal visto desde arriba. Valores cercanos a 1° y 360° indican viento del norte, cercanos a 90° viento del este, 180° del sur y 270° del oeste. Entre estos valores estará el resto de direcciones como son nordeste, sureste, suroeste y noroeste.

**Las ausencias de viento se denominan calmas.**

En el cálculo de velocidades de viento es frecuente que aparezca la necesidad de extrapolar datos, normalmente los datos medidos de los que se dispone corresponden a alturas de 2 o 10 m , como es el caso que nos ocupa. Y puede resultar útil trabajar con todos los datos a una misma altura para lo que es necesario tomar una altura como referencia y calcular el resto de los datos a esa altura por extrapolación.

Es habitual también utilizar las leyes de extrapolación para obtener datos de velocidad de viento a alturas superiores a las que no se tienen medidas, como pueden ser las alturas a las que se sitúan aerogeneradores, alturas de 40, 50 o 90 metros por ejemplo.

El nombre de ley potencial deriva del hecho de que la transformación que cambia los datos de referencia se lleva a cabo elevando sus valores a un exponente.

Se expresa matemáticamente de la siguiente forma (Wilks, 2006):

$$F(x) = (x)^k$$

siendo k mayor que cero

Las expresiones en el caso en el que  $k$  sea igual a cero y  $k$  sea menor que cero son las siguientes:

$$F(x) = \ln k$$

$$F(x) = -(x)^k$$

Su expresión tomada ya con las variables necesarias en nuestro caso que son la velocidad de viento y la altura es la siguiente:

$$v = v_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

El valor que toma el exponente  $\alpha$  en cada situación dependerá de la rugosidad de la superficie así como de la estabilidad atmosférica. Toma valores dentro de un rango entre 0.05 y 0.5.

Varía de zonas urbanas, donde es mayor, 0.41, a zonas suburbanas, 0.28 o zonas de campo, 0.14 - 0.15. En este trabajo se ha tomado como exponente 0.145 correspondiente a zonas de campo (Beychok, 1994). Es habitual también el exponente 1/7 muy similar.

Es habitual su uso en esta forma en estudios de la temática que nos ocupa (Pérez et al, 2004; 2005; 2008)

Será necesaria su utilización más adelante en otras secciones del trabajo para realizar algunos cálculos. Se transformaran las velocidades medidas a 2 m en velocidades a 10 m para unificar así todos los datos. Se empleará para poder realizar así todos los cálculos de velocidades a 10 m, y posteriormente a 50 m .

A continuación se muestra una gráfica en la Figura N° donde se representa la ley potencial, en el eje x el cociente entre la velocidad y la

velocidad de referencia tomada a 2 m y en el eje y la altura h. Con ella se extrapolan los datos a cualquier otra altura, en este caso a 10 m .

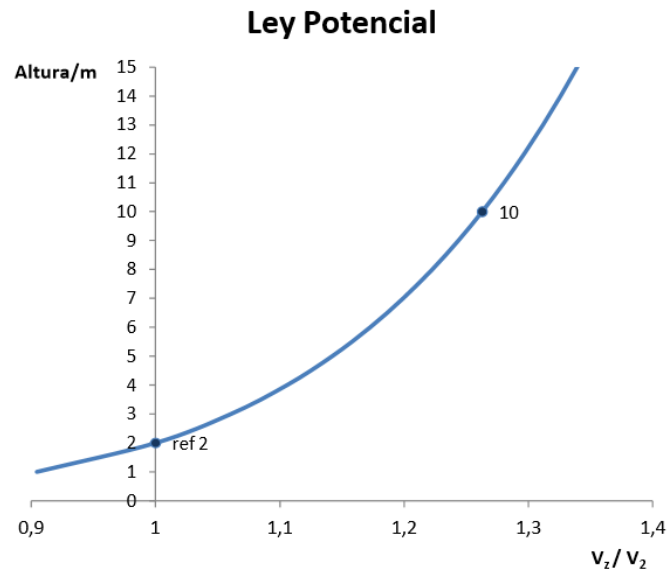


Figura N° 18 : Ley potencial tomando altura 2 m como referencia y como exponente 0.145  
Fuente : HERRERO NOVOA, CRISTINA . 2015.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### Indicadores estadísticos

El empleo de indicadores estadísticos es muy habitual en observaciones atmosféricas en general. Algunos indicadores típicos empleados son la media aritmética, la desviación estándar, el sesgo o la curtosis.

Se emplean además otros indicadores cuando se desea que estos sean menos sensibles a la distribución de los datos o a la presencia de valores anómalos o extremos para evitar que pudieran enturbiar los resultados obtenidos. Se trata de unos indicadores más robustos como son la mediana, el rango intercuartílico, el sesgo robusto o asimetría robusta y el coeficiente de curtosis robusta.

A continuación se van a describir brevemente estos indicadores, particularizando su expresión para la variable velocidad de viento.

## Media

La media aritmética describe el valor de la variable, es el promedio de todos los valores, en este caso, para la velocidad de viento se puede expresar como aparece a continuación.

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

## Mediana

La mediana es la medida más robusta, resistente y más común de la tendencia central de la distribución de datos. A diferencia de la media no se ve afectada por valores extremos que pudieran ser anómalos. Es el valor del segundo cuartil,  $q_{0.5}$ , para un número  $N$  impar de datos y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\tilde{v} = v_{(N+1)/2}$$

Se expresa de la siguiente manera en el caso de un número  $N$  par de datos:

$$\tilde{v} = \frac{v_{N/2} + v_{[N/2]+1}}{2}$$

donde  $N/2$  es el valor central de los datos.

Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen un conjunto de datos en cuatro partes iguales, es preciso que los datos de dicho conjunto estén ordenados de menor a mayor.

## Desviación estándar

La desviación estándar da cuenta de la dispersión de los datos respecto a su media. Es la raíz cuadrada de la varianza, siendo la varianza igual al momento de orden 2 con respecto a la media o momento central de orden 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}$$

Es un indicador equivalente al rango intercuartílico que se muestra a continuación pero menos robusto que este.

### **Rango intercuartílico (IQR)**

El rango intercuartílico (IQR) es la medida más común y más simple, además de ser una medida robusta y resistente a la dispersión de los datos, es una medida de la dispersión estadística.

Es igual a la diferencia entre los cuartiles superior e inferior, su expresión es la siguiente:

$$IQR = v_{0.75} - v_{0.25}$$

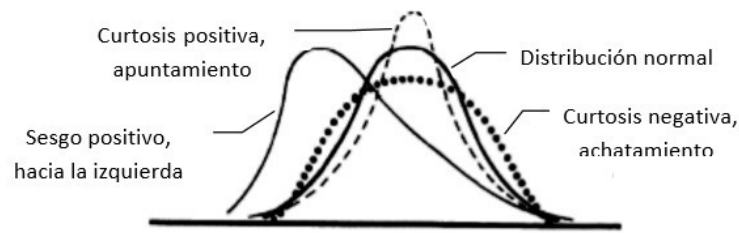
Es un buen indicador de la dispersión en la parte central de un conjunto de datos ya que está referido únicamente al rango del 50% central de los datos. No considera el 25% superior e inferior de los datos, lo que hace que sea muy resistente a valores atípicos.

### **Sesgo**

El sesgo cuantifica la asimetría de la distribución de los datos. Es igual a cero en el caso de la distribución normal, menor que cero si la distribución presenta asimetría negativa, hacia la derecha y mayor que cero si presenta asimetría positiva, hacia la izquierda.

$$Sesgo = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^3}{\sigma^3}$$

Se emplea el momento de orden 3 con respecto a la media en el cálculo del coeficiente de asimetría.



**Figura N° 19 : Desviación respecto a la distribución normal**  
**Fuente : Herrero Novoa, Cristina.2015.**

### Asimetría Robusta

La asimetría robusta es equivalente al sesgo, siendo esta un índice robusto. Estará en un rango entre -1 y +1, su expresión matemática es la siguiente:

$$Asimetría = \frac{v_{0.75} + v_{0.25} - 2\tilde{v}}{v_{0.75} - v_{0.25}}$$

### Curtosis

La curtosis sirve para determinar el grado de aplanamiento de la distribución (respecto de la normal). Siendo igual a cero en el caso de la distribución normal, menor que cero si la distribución es aplanada y mayor que cero si es apuntada.

Se emplea el momento de orden 4 con respecto a la media (centrado) en el cálculo de la curtosis.

$$Curtosis = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^4}{\sigma^4}$$

### Curtosis Robusta

La curtosis robusta es el indicador robusto análogo a la curtosis. En el caso de la distribución normal su valor es 0.263.

$$Curtosis\ robusta = \frac{v_{0.75} - v_{0.25}}{2(v_{0.90} - v_{0.10})}$$

$v_{0.10}$  y  $v_{0.90}$



En la expresión anterior aparecen el decil primero y el noveno,  
Los deciles son los nueve valores que dividen la serie de datos en diez partes iguales, para su obtención es necesario que la serie de datos este ordenada de menor a mayor.

## **LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL**

La distribución de Weibull, desarrollada detalladamente en 1951 por el sueco Waloddi Weibull del que toma su nombre (Weibull, 1951) es una distribución típicamente utilizada en meteorología especialmente en el análisis de la velocidad de viento. Su expresión matemática es la que se muestra a continuación.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Válida para valores de la variable  $v$  iguales o mayores que cero, valores positivos, y valores de los parámetros  $k$  y  $c$  mayores que cero.

Donde  $k$  es el parámetro de forma, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull y  $c$  es el parámetro de escala, cuyas dimensiones dependerán de las variables tomadas en cada caso.

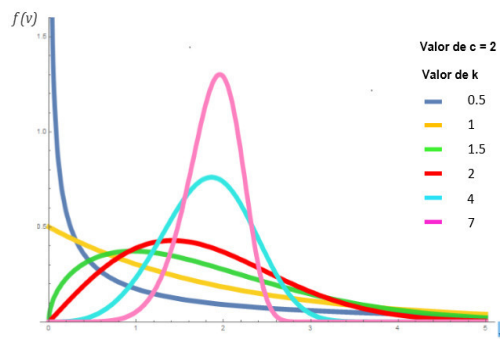
En este caso la variable que se emplea es la velocidad de viento,  $v$  y los valores que toma  $f(v)$  indican la probabilidad de observar cada velocidad del viento  $v$ . El parámetro  $k$  representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo y  $c$  tendrá unidades de m/s y está relacionado con la media de la velocidad del viento  $v$ .

Debido a estos dos parámetros ajustables puede tomar formas muy variadas, lo que le confiere gran versatilidad y capacidad de adaptarse a las diferentes formas de los datos más fácilmente. Tiene por tanto una mayor flexibilidad frente a otras distribuciones como pueden ser la exponencial, la normal o Gaussiana, o la Gamma que pueden ser

consideradas casos especiales de la distribución de Weibull para valores concretos de los parámetros de esta.

En la Figura N° 20 a continuación se representa la distribución para un valor del parámetro de escala c fijo, en este caso se ha representado para  $c = 2$ , y diferentes valores del parámetro de forma k. En ella se aprecian la gran diferencia en la forma que toma la distribución en cada caso.

En particular, para valores de k superiores a 3.6 se aproxima a la distribución gaussiana. Además, un valor de k próximo a 1 corresponde a un régimen de viento altamente variable, cuando se sitúa alrededor de 2 el régimen presenta cambios moderados, mientras que valores superiores a 3 corresponden a vientos más regulares.

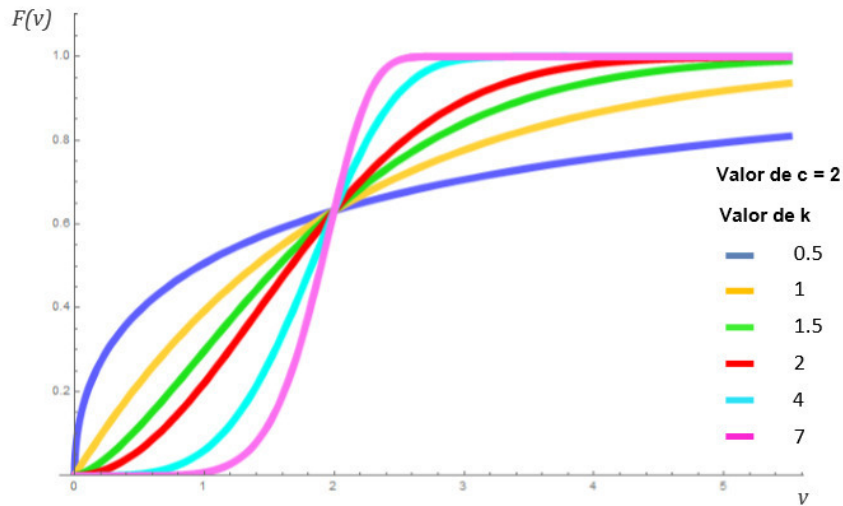


**Figura N° 20 : Distribución de Weibull para diferentes valores de su parámetro de forma k**  
**Fuente : Herrero Novoa, Cristina . 2015.**

Su correspondiente función de distribución acumulativa presenta la siguiente expresión matemática:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Representada gráficamente para los valores especificados anteriormente de los parámetros k y c tiene la forma que se muestra en la Figura N°21 siguiente:



**Figura N° 21 : Distribución acumulativa de Weibull para diferentes valores de su parámetro de forma k**  
**Fuente : Fuente : Herrero Novoa, Cristina . 2015.**

En algunas ocasiones se emplea la función de Weibull de tres parámetros, (Cousineau, 2009) dependiente de un tercer parámetro que es el parámetro de localización,  $b$ . Este parámetro lo que hace es desplazar la función a lo largo del eje horizontal. Su expresión matemática es la siguiente:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v-b}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v-b}{c}\right)^k}$$

## PATRONES DE CIRCULACION DEL VIENTO

El viento es aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. Este movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura causada por la radiación solar sobre la superficie terrestre, que junto a la rotación de la tierra, crean entonces los, llamados, patrones globales de circulación.

El flujo de energía solar total absorbido por la tierra es del orden de 1017 vatios, lo cual es aproximadamente 10,000 veces la tasa total mundial del consumo energético. Una pequeña porción del flujo total solar

(aproximadamente 1% o 1015 vatios) se convierte en movimiento atmosférico o viento.

En una escala global las regiones alrededor del ecuador reciben una ganancia neta de energía mientras que en las regiones polares hay una pérdida neta de energía por radiación. Esto implica un mecanismo por el cual la energía recibida en las regiones ecuatoriales sea transportada a los polos.

Las masas de aire caliente en la región ecuatorial ascienden (causando la formación de nubes y de relámpagos) en una banda delgada de alrededor 100 Km. de ancho, llamada la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se ubica más o menos paralela al ecuador alrededor de la tierra (Ver Figura N° 22 ). En la parte superior de la atmósfera estas masas de aire se dividen en dos, una alejándose del ecuador hacia el norte y otra alejándose hacia el sur.

Al alejarse del ecuador, el aire se enfría y se vuelve más pesado. Aproximadamente 30° de latitud Norte y Sur, este aire empieza a descender, causando un clima seco y sin nubes. En estas latitudes es donde se encuentran los grandes desiertos alrededor del mundo.

A nivel de superficie terrestre, los vientos se devuelven hacia el ecuador como vientos alisios. Debido a la rotación de la tierra su dirección se desvía hacia el oeste en los dos hemisferios norte y sur.

Por esto la dirección de los vientos alisios es NE y SE (la dirección se determina por la dirección de donde viene el viento y no hacia donde se dirige).

La Zona de Convergencia Intertropical se desplaza hacia al norte del ecuador durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur en el invierno. Es muy estable y por esto los vientos alisios son permanentes.

Dentro de esta zona, se encuentran vientos de baja intensidad, interrumpidos por un alto nivel de tormentas eléctricas. Al tiempo, se pueden experimentar largos períodos de calma de viento.

En el exterior de la circulación entre los trópicos, vientos del oeste son predominantes. Esta circulación es más bien inestable y se caracteriza por una estructura ondulada y formación de depresiones atmosféricas moviéndose del oeste hacia el este.

Desviaciones del patrón general de circulación de aire en movimiento ocurren debido a la distribución no homogénea de masas de tierra sobre el globo. En promedio, mayor concentración de masas de tierra se encuentra en el hemisferio norte que en el hemisferio sur.

Dado que la masa de tierra se calienta más fácilmente por el sol, que los océanos, la posición promedio de la ZCIT es 5° Norte del ecuador.

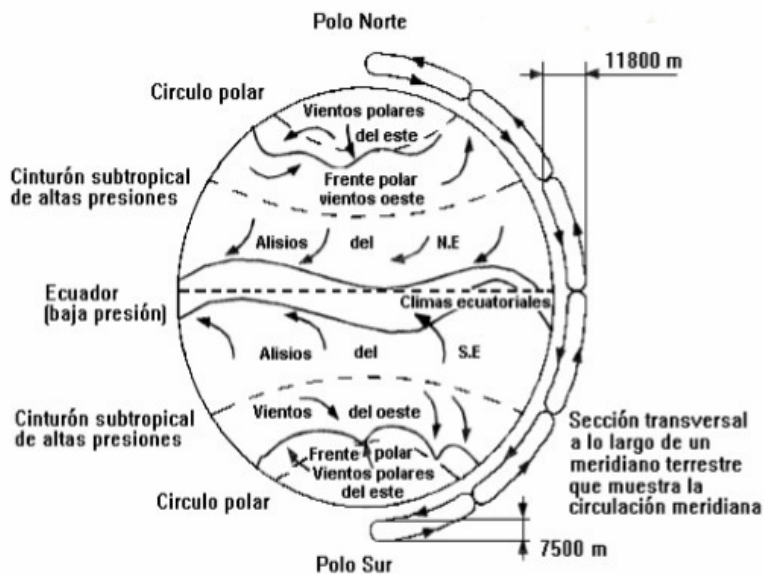


Figura N° 22 : Representación del patrón de circulación de vientos  
Fuente : Atlas eólico del país Vasco 1993.

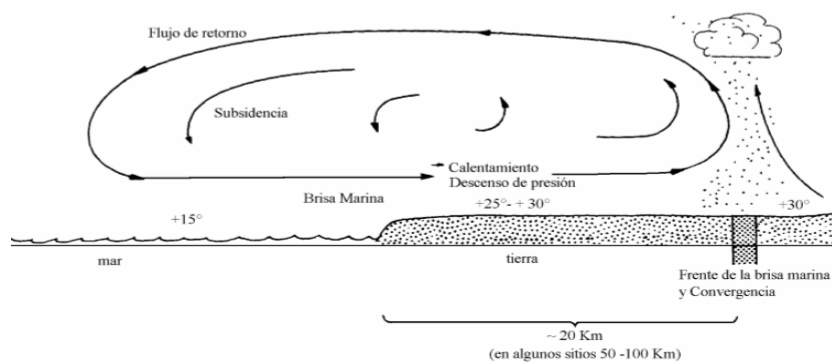
## ESCALAS DE VIENTOS: VARIACION HORIZONTAL

### Vientos de Escala Macro (100 - 10,000 Km.)

El movimiento del viento originado por la circulación global se conoce como vientos de escala macro. La escala horizontal de movimiento de estos vientos va desde algunos cientos a miles de kilómetros. El viento de escala macro (no perturbado por características de la superficie terrestre excepto por cadenas de montañas) se encuentra en altitudes superiores a los 1,000 metros. (METEROLOGICAL ASPECTS OF THE UTILIZATION OF WIND AS AN ENERGY SOURCE . 1981.Pag. 32).

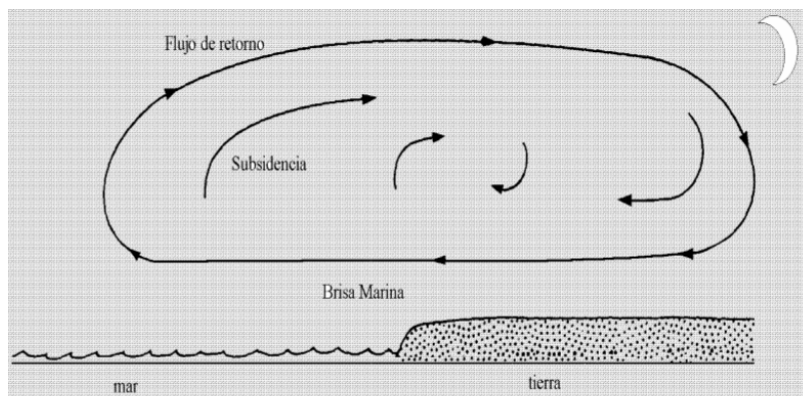
### Vientos de Escala Media (5 a 200 Km.)

Las variaciones de la superficie terrestre con escala horizontal de 10 a 100 Kilómetros tienen una influencia en el flujo de viento entre los 100 y 1,000 metros de altura sobre el terreno. Obviamente, la topografía es importante y los vientos tienden a fluir por encima y alrededor de montañas y colinas. Cualquier otro obstáculo (ó rugosidad) sobre la superficie terrestre de gran tamaño desacelera el flujo de aire. A manera de ejemplo se ilustran dos tipos de vientos de escala media o de naturaleza local como son la brisa marina y los vientos de montaña. (METEROLOGICAL ASPECTS OF THE UTILIZATION OF WIND AS AN ENERGY SOURCE . 1981.Pag. 34)



a) Día (Verano)

**Figura N° 23 : Brisa marina en el día, estación verano**  
**Fuente: Meteorological aspects of the utilization of wind as an energy source.1981**



b) Noche (Invierno)

**Figura N° 24 : Brisa marina en la noche, estación Invierno**  
**Fuente: Meteorological aspects of the utilization of wind as an energy source. 1981**

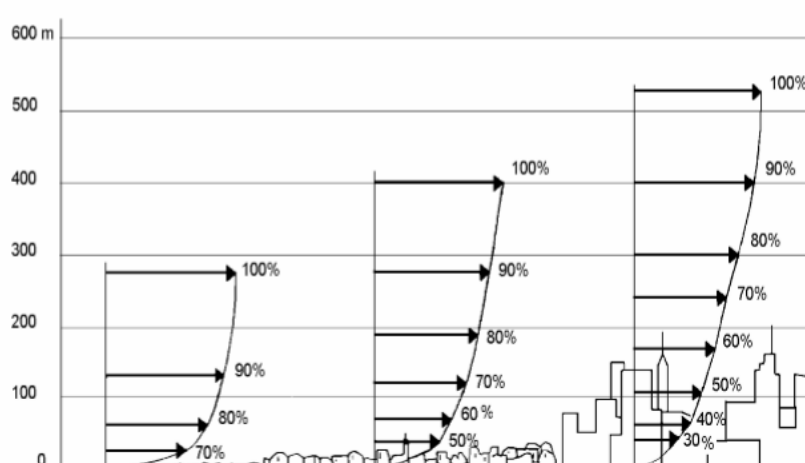
### **Vientos de Escala Micro (hasta 10 Km.)**

En una escala micro, los vientos de superficie (entre 60 y 100 metros sobre el terreno), los cuales son los más interesantes para la aplicación directa de la conversión de la energía eólica, son influenciados por las condiciones locales de la superficie, como la rugosidad del terreno (vegetación, edificios) y obstáculos. (METEROLOGICAL ASPECTS OF THE UTILIZATION OF WIND AS AN ENERGY SOURCE . 1981.Pag. 36)

### **VARIACION DEL VIENTO CON LA ALTURA SOBRE EL TERRENO**

El perfil del viento ( velocidad de viento como una función de la altura sobre el terreno) puede ser expresado en una relación matemática sencilla. La forma de este perfil dependerá principalmente de la rugosidad del terreno. (Atlas del País Vasco . 1993 ).

La Figura N° 25 ilustra el comportamiento de perfil de velocidades del viento en función de las características topográficas del terreno.



**Figura N° 25 : Perfiles de velocidad de viento, en función de las características topográficas del terreno**

**Fuente : Atlas del País Vasco . 1993.**

Otro concepto importante es la velocidad de **viento potencial**, que se define como la velocidad de viento que se observaría en un terreno completamente plano y abierto, típicamente especificado para 10 metros de altura sobre el terreno.

La velocidad de viento potencial es básicamente una magnitud de escala media. Debido a su definición, esta no depende de características de rugosidad locales. A través del perfil para terreno abierto y plano, esta velocidad se relaciona con la velocidad de viento a 60 y 100 metros sobre la superficie del terreno. Esta es la cantidad que típicamente se indica en los mapas eólicos. Siendo esta una cantidad de escala media, es bastante constante a distancias razonable (algunos cuantos kilómetros de distancia horizontal).

Para hallar la velocidad de viento actual (no potencial) en un lugar específico, se deben aplicar correlaciones a la velocidad de viento potencial, la cual dependerá sobre las características de rugosidad del lugar.



## VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA

La superficie terrestre ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardar el flujo, por ende disminuir la velocidad del viento. Este efecto retardatorio de la velocidad de viento decrece en la medida que se incrementa la altura sobre la superficie del terreno y de obstáculos en su recorrido. Así pues, a mayor altura sobre la superficie mayor velocidad de viento se podrá experimentar.

Un modelo sencillo para calcular el incremento en la velocidad con respecto a la altura, es la distribución de velocidades en función de la altura y esta sigue una ley exponencial, como sigue:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^a$$

Donde

V1 : la velocidad del viento a la altura h1

V2 : la velocidad del viento a la altura h2

El coeficiente “a” es un parámetro que depende de la topografía del terreno y de las condiciones meteorológicas. Generalmente este parámetro se calcula sobre la base de mediciones de viento.

En caso que no haya información de la medida del perfil de velocidades, y para una mejor aproximación en terreno plano, libre de obstáculos se puede utilizar el parámetro a equivalente a 0.14 (1/7). (PANER. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España. 2012. Pag. 24).



**Figura N° 26 : Aplicaciones de la energía eólica**  
**Fuente : JOBBER . 2014.**

## LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

Las lagunas tienen como objetivos:

1. Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
2. Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
3. Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura

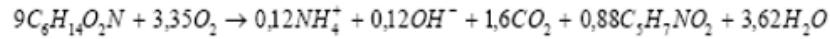
La depuración eficiente del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema, .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos. .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

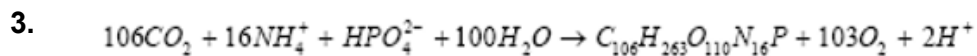
- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO5 ) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO5 del efluente .
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual. .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

Los procesos biológicos más importantes que se tienen lugar en una laguna son: .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

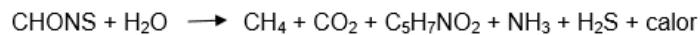
**1. Oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias.** La respiración bacteriana provoca la degradación de la DBO5 del agua residual hasta CO2 y H2O produciendo energía y nuevas células.



**2. Producción fotosintética de oxígeno.** La fotosíntesis algal produce, a partir de CO2, nuevas algas, y O2, que es utilizado en la respiración bacteriana



**Digestión anaeróbica** de la materia orgánica con producción de metano.



Materia  
Orgánica

nuevas células  
bacterianas

## TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Las lagunas de estabilización se clasifican en:

- Aerobias.
- Anaerobias.
- Facultativas.
- Maduración.

## LAGUNAS AEROBIAS.

Las Lagunas Aerobias, son aquellas que reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5 metros de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Las lagunas aerobias se pueden organizar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

**a. Lagunas aerobias:** la aireación es natural, siendo el oxígeno dado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.

**b. Lagunas aireadas:** en estas lagunas, la cantidad de oxígeno dado por medios naturales es insuficiente para realizar la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

#### **LAGUNAS ANAEROBIAS.**

Son aquellas que el tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica. .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes. .(ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

- **Hidrólisis:** los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.

- **Formación de ácidos:** los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.
- **Formación de metano:** una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

Las lagunas anaerobias tienen una profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia, 2013)

### **LAGUNAS FACULTATIVAS.**

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son los principales suministradoras de oxígeno disuelto (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

En la siguiente figura se representa un diagrama de la actividad coordinada entre algas y bacterias.

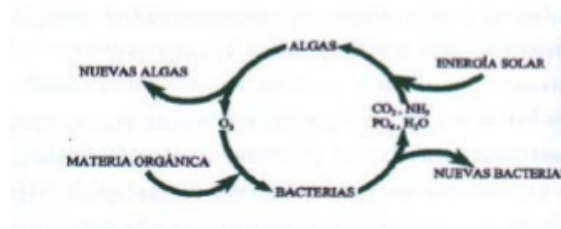


Figura N° 27 : Actividad entre algas y bacterias  
Fuente : Rolim (2000 )

En una laguna facultativa existen tres zonas:

- 1. Una zona superficial** en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
- 2. Una zona inferior anaerobia** en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.

**3. Una zona intermedia**, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio.

Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie.

El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y el CH<sub>4</sub>, que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

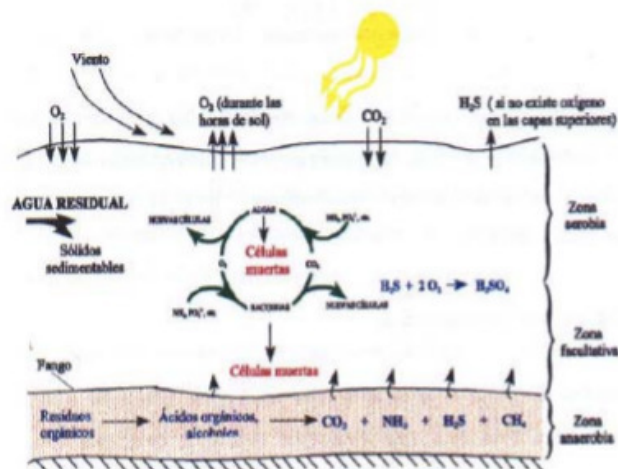


Figura N° 28 : Zonas que comprenden una laguna facultativa  
Fuente : Rolim (2000)



## **LAGUNAS DE MADURACIÓN.**

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada (Rolim, 2000).

**VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.** (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

### **Ventajas.**

- La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- Pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materia biodegradables.

- Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- El consumo energético es nulo.
- En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.

#### **Inconvenientes.**

- La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
- Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

### **FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN A LAS LAGUNAS**

#### **Temperatura.**

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias. Estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas más adversas.

Una caída de 10°C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica aproximadamente 50%. La actividad de fermentación del lodo no ocurre significativamente en temperaturas por debajo de 17° C. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

**Radiación solar.**

La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Como la intensidad de la luz varía a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas cambia de misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

**Viento.**

El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual. En ausencia de mezcla inducida por el viento, la población de algas tiende a estratificarse en banda estrecha, de unos 20 cm de ancho, durante las horas de luz del día. Esta banda concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo en la capa superior, de 50 cm de espesor. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

**Evaporación.**

La consecuencia principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. El consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial si el efluente se va a emplear en riego

**Precipitación.**

El oxígeno disuelto suele bajar después de tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la

zona superficial de las lagunas, debido tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

## **FACTORES FÍSICOS.**

### **1. Estratificación.**

La densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4 °C y aumenta para temperaturas mayores o menores, el agua más cálida es más ligera y tiende a flotar sobre las capas más frías.

En los meses de primavera y verano el calentamiento se realiza desde la superficie, la capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras.

En la primavera, la mayoría de las lagunas tienen una temperatura casi uniforme, por ello se mezclan con facilidad gracias a las corrientes inducidas por los vientos.

Cuando se llega el verano, las aguas de las capas superiores se calientan y su densidad disminuye produciéndose una estratificación estable.

#### Flujo a través de las lagunas;

La circulación del agua a través de la laguna es afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos periodos de tiempo. (ROMERO,*Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

#### Profundidad:

La profundidad de las lagunas es normalmente 1.5, aunque se pueden usar profundidades entre 1 y 2 m. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Hay varias razones por lo que en los sistemas profundos se obtiene mayor eficacia de tratamiento como es la mayor productividad de las algas en un medio en el que tienden a sedimentar en la zona profunda y morir. La zona profunda suele estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta manera se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.

En las zonas y climas cálidos, la mayor profundidad repercute en una disminución de la evaporación relativa, lo que es beneficioso desde el punto de vista del almacenamiento para riego como para evitar aumentos de salinidad en el efluente.

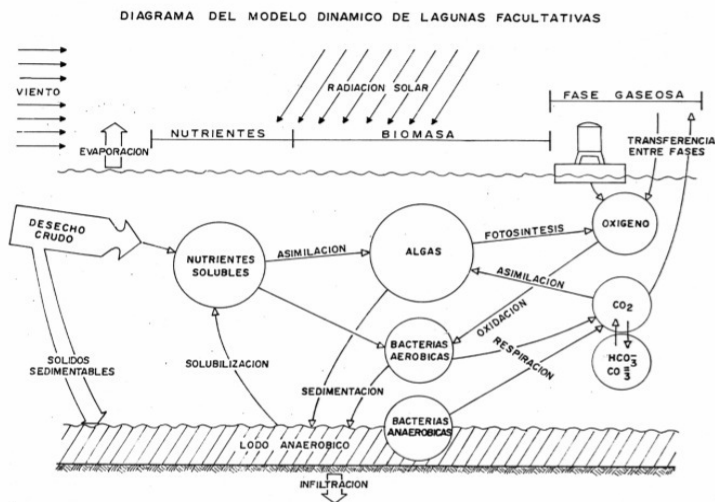


Figura N° 29 : Mecanismo de asimilación de materia orgánica en lagunas de oxidación

Fuente : ROMERO. 2013.

## FACTORES QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS.

### 1. pH. (Potencial de Hidrogeno)

El valor de pH en las lagunas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas presenta variaciones durante el día y el año. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

Estas variaciones diarias son muy marcadas en verano, cuando pueden alcanzarse valores de pH en torno a 9 o mayores, partiendo de valores de 7-7.5, al final de la noche. (ROLIM, *Lagunas de Estabilización*. Editorial Limusa. México 2000)

## **2. Oxígeno disuelto.**

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día.

El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es posible encontrar que las capas superficiales de las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. La profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias y el grado de mezcla inducido por el viento. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

## **3. Nutrientes.**

Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha del tratamiento en lagunas. A medida que progresa la depuración se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias. (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

En lagunas de estabilización el agotamiento de nutrientes solo ocurre en pocas de intensa actividad biológica, y suelen venir de la eliminación de materia orgánica hasta los niveles máximos en este tipo de tratamiento (ROMERO, *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial América. Colombia,2013)

### **Plan Manejo Socio ambiental**

Constituye un conjunto estructurado de medidas destinadas a evitar, mitigar, restaurar o compensar los impactos ambientales negativos previsibles con ocasión del tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Las medidas técnicas de mitigación de impactos que se proponen, están conceptual y legalmente apoyadas en los instrumentos técnicos y normativos nacionales para la actividad, así como a potenciar los impactos positivos, reducir o eliminar los negativos y compensar las pérdidas que se podrían ocasionar por el desarrollo del tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo.

### **Plan de Calidad**

La finalidad de este Plan es establecer la forma de planificar, asegurar, controlar y verificar las diferentes actividades del servicio, en forma permanente durante la duración de ésta, de tal manera que la calidad de los productos intermedios y del producto final esté de acuerdo a los requerimientos del Ministerio del Ambiente y en cumplimiento a la normas internacionales ISO 9001 ; ISO 14001 y OHSAS 18001 .

### **Sistemas de Gestión.**

Yancan Torres (2007) afirma que se entiende por gestión ambiental a la determinación de acciones para el logro de metas y objetivos de largo alcance que son fijados con anticipación, es decir actuar de manera preventiva y no reactiva y para que esto se logre, es necesariamente la implementación de un Sistema de Gestión ambiental (SGA), el cual es un modelo de ordenamiento de información en un entorno cambiante .



El SGA debe comprender un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, conservación, evaluación e investigación, de todos los componentes de la gestión ambiental, para lo cual la información depende fundamentalmente si la gestión es a nivel de red o a nivel de proyecto, la diferencia entre estas va más allá del nivel en la cual se toman las decisiones, es decir, se diferencian en la cantidad y tipo de datos que se requieren Elementos básicos del SGA, cumplimiento de norma ISO 14001.

### **NORMATIVIDAD LEGAL PARA PROYECTOS DE SANEAMIENTO EN EL PERU.**

Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338. Incluir modificatoria.

Ley General del Ambiente Ley 28611, modificada con el Decreto Legislativo N° 1055.

Ley N° 30156 - Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en adelante LOF.

Ley N° 27446, Ley Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en adelante Ley del SEIA.

Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del MVCS, en adelante ROF.

Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, en adelante Reglamento del SEIA.

Decreto Supremo N° 015-2012-VIVIENDA, Reglamento de Protección Ambiental para proyectos vinculados a las actividades de Vivienda, Urbanismo, Construcción y Saneamiento, y sus modificatorias Decreto Supremo N° 019- 2014-VIVIENDA y Decreto Supremo N° 008-2016-

VIVIENDA, en adelante Reglamento de Protección Ambiental.

Resolución Ministerial N° 383-2016-MINAM, Modificación de la Resolución Ministerial N° 157-2011-MINAM, Primera Actualización del Listado de Inclusión de los proyectos de inversión sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en adelante Listado de Inclusión.

Resolución Ministerial N° 036-2017-VIVIENDA, Aprobación de la Ficha Técnica Ambiental (FTA) para los proyectos de inversión del subsector saneamiento, no comprendidos en el sistema nacional de evaluación de impacto ambiental.

## CAPITULO III METODOLOGÍA

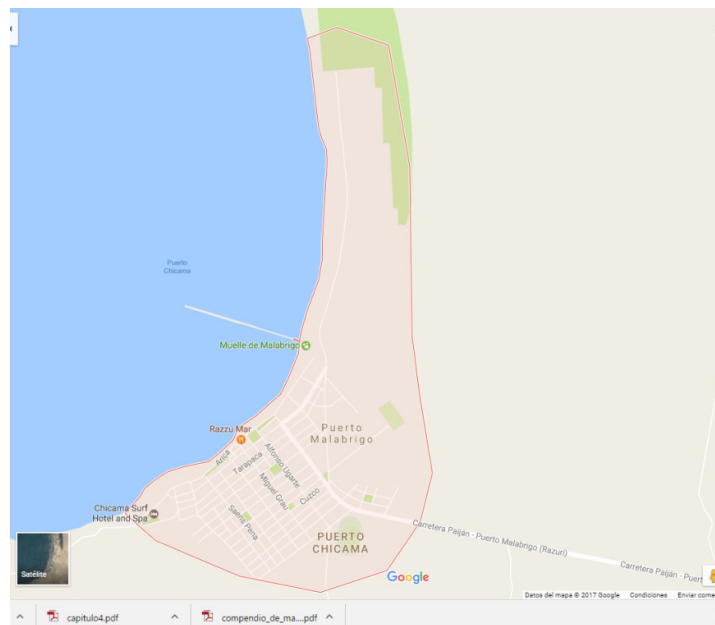
### 3.1. Población y Muestra

#### Población.

La población de nuestro Proyecto de Investigación son todos los equipos existentes para transmitir energía eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en el Perú.

#### Muestra.

La muestra de nuestro Proyecto de Investigación son los Equipos necesarios para transmitir Energía eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo. Ascope. La Libertad.



**Figura N° 30 : Vista de la Ciudad Puerto Malabrigo.**  
**Fuente : GOOGLE EARTH. 2017**

### **3.2. .Modalidad Básica de la Investigación:**

Las modalidades de investigación empleadas fueron:

- **Campo.- Se realizó levantamiento de información in situ, elaborando el inventario de las lagunas de oxidación, redes del sistema de alcantarillado deteriorado.**
- **Se realizó mediciones de verificación de la velocidad del viento en la zona del estudio de investigación (Lagunas de oxidación ).**
- **Documental Bibliográfico.- Se consultó material bibliográfico sobre sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias, empleando la energía eólica y con molinos de viento, Gestión de operatividad y mantenimiento , costos.**

### **3.3. Nivel o Tipo de Investigación**

Los niveles de investigación en el proyecto son:

Exploratorio.- Se realizó levantamiento de información empleando un inventario del alcantarillado y lagunas de oxidación en la ciudad de Puerto Malabrigo, registrándose las condiciones actuales del sistema de alcantarillado, como consecuencia del Fenómeno El Niño costero 2017.

Descriptivo.- Definimos la Evaluación del sistema de Alcantarillado y lagunas de oxidación de la Ciudad de Puerto Malabrigo y se indica la reducción de los costos de operación y mantenimiento .

Explicativo.- Se aclara la contaminación ambiental generado por la falta de tratamiento de las aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo y más aun la presencia del Fenómeno El Niño 2017, la falta del sistema de drenaje, y teniendo el conocimiento exacto de la ubicación en las redes de alcantarillado y en las lagunas de oxidación con deterioros y abundante contaminación ambiental permitirá proponer; los equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto de Malabrigo, comprensión de la Provincia de Ascope, Departamento La Libertad.

### **3.4. VARIABLES**

**Variable Independiente.**

Ciudad Puerto de Malabrigo .Ascope. La Libertad.

**Variable Dependiente.**

Equipos necesarios para transmitir Energía Eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias

**Tabla N° 07 : Localidades y proyección de población al año 2014 y que son administradas por la EPS SEDALIB S.A.**

Fuente: SEDALIB 2014.

**PROYECCION POBLACIONAL DE LAS LOCALIDADES  
ADMINISTRADAS POR SEDALIB S.A. 2014**

<b>LOCALIDADES</b>	<b>Diciembre</b>
TRUJILLO	326,041
VICTOR LARCO	65,720
LA ESPERANZA	180,295
FLORENCIA DE MORA	43,793
EL PORVENIR	186,249
HUANCHACO	42,680
MOCHE	16,753
SALAVERRY	10,617
PUERTO MALABRIGO	5,680
CHOCOPE	5,227
PAIJAN	21,248
CHEPEN	42,839
PACANGUILLA	7,660
<b>TOTAL SEDALIB S.A. 2014</b>	<b>954,802</b>

### 3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

#### Variable Independiente.

Tabla N° 08 : Ciudad Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Técnicas e Instrumentos
<b>CIUDAD PUERTO DE MALABRIGO</b> Puerto Chicama también llamado Puerto Malabrigo, es un puerto y una ciudad peruana capital del Distrito de Rázuri ubicado en la Provincia de Ascope de la Región La Libertad aproximadamente a 70 kilómetros al norte de la ciudad de Trujillo. <b>Elevación:</b> 12 m <b>Tiempo:</b> 17 °C, <b>Viento</b> SE a 8 km/h, 91 % de humedad.	Inventario Red de alcantarillado	Longitud Redes Volumen de agua Residual Volumen de agua residual tratada Equipos utilizados para tratamiento	¿Cuál es longitud? ¿Cuál es el volumen? ¿Qué sistema de tratamiento existe? ¿Qué equipos se utiliza para tratamiento?	Observación directa Fichas nemotécnicas Cuaderno de notas Uso de sistema de posicionamiento global Cartas topográficas Cámara fotográfica
	Evaluación de las lagunas de estabilización	Volumen de agua residual Volumen de agua residual tratada Superficie de lagunas de oxidación	¿Cuál es el volumen de agua residual domiciliaria? ¿Cuál es el volumen de agua residual tratada? ¿Cuáles son las condiciones de las lagunas de estabilización? ¿Cuáles son las tareas de mantenimiento rutinario? ¿Cuáles son las tareas de mantenimiento periódico? ¿Cuál son las tareas de rehabilitación y mejoramiento?	Observación directa Fichas nemotécnicas Cuaderno de notas Normas de diseño sanitario Cartas topográficas
Modalidad de Ejecución	Administración Directa Contrato por Niveles de Servicio Concesión Convenio Interinstitucional	¿Cuál es la modalidad de Administración Directa? ¿Cuál es la modalidad por Niveles de Servicio? ¿Cuál es la modalidad de Concesiones? ¿Cuál es la modalidad de Convenios Interinstitucionales?	Observación directa Fichas nemotécnicas Lista de chequeo	Observación directa Cuaderno de notas

## Variable Dependiente.

Tabla N° 09 : Equipos necesarios para transmitir energía Eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Técnicas e Instrumentos
Equipos Necesarios para transmitir energía eólica para tratamiento de aguas Residuales. La energía eólica es la energía obtenida del viento. Es uno de los recursos energéticos más antiguos explotados por el ser humano y es a día de hoy la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables. El término “cólico” proviene del latín “aeolicus”, perteneciente o relativo a Eolo, Dios de los vientos en la mitología griega .	Mantenimiento Rutinario	Equipo y maquinaria Mano de obra Materiales	¿Qué equipo y maquinaria se necesita? ¿Cuál es la mano de obra necesaria? ¿Qué materiales se necesitan?	Observación directa Fichas nemotécnicas Cuaderno de notas Manual de rubros y rendimientos
	Mantenimiento Periódico	Equipo y maquinaria Mano de obra Materiales	¿Qué equipo y maquinaria se necesita? ¿Cuál es la mano de obra necesaria? ¿Qué materiales se necesitan?	Observación directa Fichas nemotécnicas Cuaderno de notas Manual de rubros y rendimientos
<b>Costos de Operación y mantenimiento</b> Son los costos que genera la operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización para el eficiente tratamiento de aguas residuales domiciliarias	Costos variables	Combustible Neumáticos Lubricantes	¿Cuánto combustible consume ? ¿Cuál es el tiempo de duración de los equipos ? ¿Cuánto se gasta en lubricantes y aceites?	Registro de consumo Hojas de ruta
	Costos fijos	Seguros Impuestos Matrícula	¿Cuánto se gasta en seguros? ¿Cuánto se gasta en salarios? ¿Cuánto se gasta en la matriculación?	Cuaderno de notas y registros de facturas

\*Fuente: Elaboración propia

## **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Se realizaron investigaciones en las Oficinas de SEDALIB y en la Municipalidad Distrital de Rázuri, para recopilar información sobre las lagunas de estabilización y el tratamiento de las aguas residuales domiciliarias de Puerto Malabrigo, Volumen de aguas residuales domiciliarias, composición química del agua residual, estudio del viento existente, inventarios, monitoreo, intervenciones, en el sistema de alcantarillado que tienen a cargo estas instituciones.

El trabajo de campo se ejecutó, en la Ciudad de Puerto Malabrigo, sobre el sistema de alcantarillado, lagunas de oxidación, velocidad del viento existente y se levantará información técnica, para generar un inventario sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residual domiciliaria, con equipos que utilicen la energía eólica para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, y evaluar de las condiciones de deterioro de la lagunas de oxidación, deterioro de equipos, como consecuencia del Fenómeno El Niño 2017 y proponer equipos necesarios para transmitir energía eólica para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo. Ascope. La Libertad.

Se complementará con investigación bibliográfica, de temas concernientes a tratamiento de aguas residuales domiciliarias utilizando la energía eólica, costos operacionales, de construcción y mantenimiento.

## **Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

La información de campo y bibliográfica, se ha procesado analizando los resultados y el los resultados mediante la estadística; representándolos en gráficos, cuadros, con apoyo de marcos teóricos.

Se enfoca, en el análisis la evaluación en el sistema de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, se presentaran cuadros que permitan resumir la información requerida, para poner en práctica el



sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias, empleando la energía eólica.

Se procesaron los datos y se analizaron los beneficios de aplicación de la propuesta, presentando los costos de mantenimiento vial y operación vehicular con y sin propuesta.

Al concluir el análisis, se presenta una propuesta de los equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo, comprensión de la Provincia de Ascope y comprensión del Departamento de La Libertad y que por sus condiciones podrá ser aplicado en tratamiento de aguas residuales domiciliarias de similares características, permitiendo provechar la información para implementar acciones que ayuden a reducir los costos operacionales y de mantenimiento.

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1. ESTUDIOS DEL VIENTO

#### 4.1.1. POTENCIAL EOLICO DEL PERU

Según el Atlas Eólico del Perú del año 2016; del Ministerio de Energía y Minas del Perú ; la potencia eólica total del Perú se ha estimado en algo más de 77000 MW, sin considerar zonas off-shore (en el mar), distribuida según lo indicado en la segunda columna de la Tabla N° 10.

Las áreas que se han suprimido del cálculo con esta selección tenían uno o varios de los siguientes condicionantes:

- Altitud igual o superior a 3000 m.s.n.m.
- Pendiente igual o superior al 20%.
- Pertenecer a un centro poblado o al casco urbano de una ciudad.
- Estar ubicado en una zona protegida, arqueológica o de amortiguamiento.
- Existir en ese lugar ríos, quebradas o lagos.

Al aplicar esta selección, el cálculo ha dado por resultado un valor del potencial eólico aprovechable del Perú superior a los 22000 MW, distribuido según la tercera columna de la Tabla N° 10

**Tabla N° 10 : Potencial eólico del Perú**  
Fuente: Atlas Eólico del Perú. 2016 . Ministerio de Energía y Minas del Perú

Departamento	Potencia Total (MW)	Potencia Aprovechable (MW)
Amazonas	1380	6
Ancash	8526	138
Apurímac	0	0
Arequipa	1992	1158
Ayacucho	114	0
Cajamarca	18360	3450
Callao	0	0
Cuzco	0	0
Huancavelica	0	0
Huánuco	54	0
Ica	18360	9144
Junín	48	0
La Libertad	4596	282
Lambayeque	2880	564
Lima	1434	156
Loreto	0	0
Madre de Dios	0	0
Moquegua	144	0
Pasco	0	0
Piura	17628	7554
Puno	162	0
San Martín	504	0
Tacna	942	0
Tumbes	0	0
Ucayali	0	0
<b>TOTAL PERÚ</b>	<b>77394</b>	<b>22452</b>

#### 4.1.2. VELOCIDAD DEL VIENTO EN PUERTO MALABRIGO

A continuación se presenta los valores medios de las magnitudes calculadas de todas las estaciones. Se presentan los valores a diferentes alturas a 2 m, a 10 m y a 50 m.

**Tabla N° 11: Media de los valores de los indicadores de todas las estaciones.**

Fuente: propia

DESCRIPCION	VALORES MEDIOS		
	2m	10 m	50 m
Media ( m/ s)	2.78	3.56	4.42
Mediana ( m/s)	2.57	3.26	4.05
Desviación Estándar (m/s)	1.39	1.72	2.26
Rango Intercuartílico (m/s)	1.85	2.30	2.96
Sesgo	0.79	0.89	0.74
Asimetría Robusta	0.14	0.14	0.14
Curtosis	1.02	1.14	0.99
Curtosis Robusta	0.25	0.26	0.25

En Tabla N° 12 : A continuación, se muestran los valores mínimo y máximo entre los cuales están comprendidos todos los indicadores calculados a una altura de 10 m.

**Tabla N° 12: Valores mínimos y máximos de cada indicador a 10 m de altura**

Fuente: Propia

Valores a 10 m	Mínimo	Máximo
Media ( m/ s)	1.25	8.55
Mediana ( m/s)	1.16	7.99
Desviación Estándar (m/s)	0.50	3.85
Rango Intercuartílico (m/s)	0.58	5.35
Sesgo	0.49	2.33
Asimetría Robusta	0.03	0.34
Curtosis	-0.32	7.16
Curtosis Robusta	0.19	0.29

D.1. FACTOR DE ESCALA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 10 m

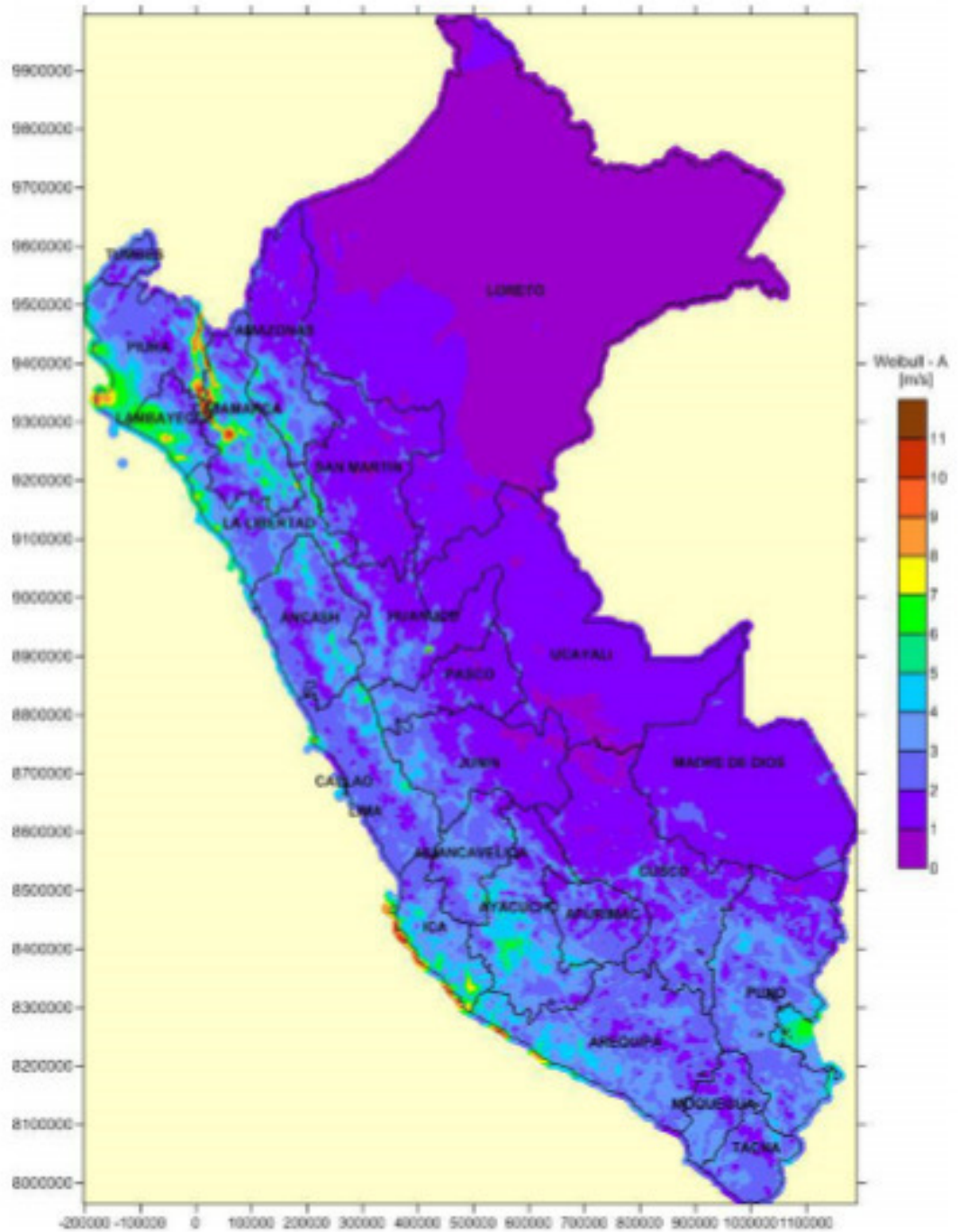


Figura N° 31 : Factor de Escala de la distribución de Weibull a 10 mts.

Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.

D.2. FACTOR DE FORMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 10 m

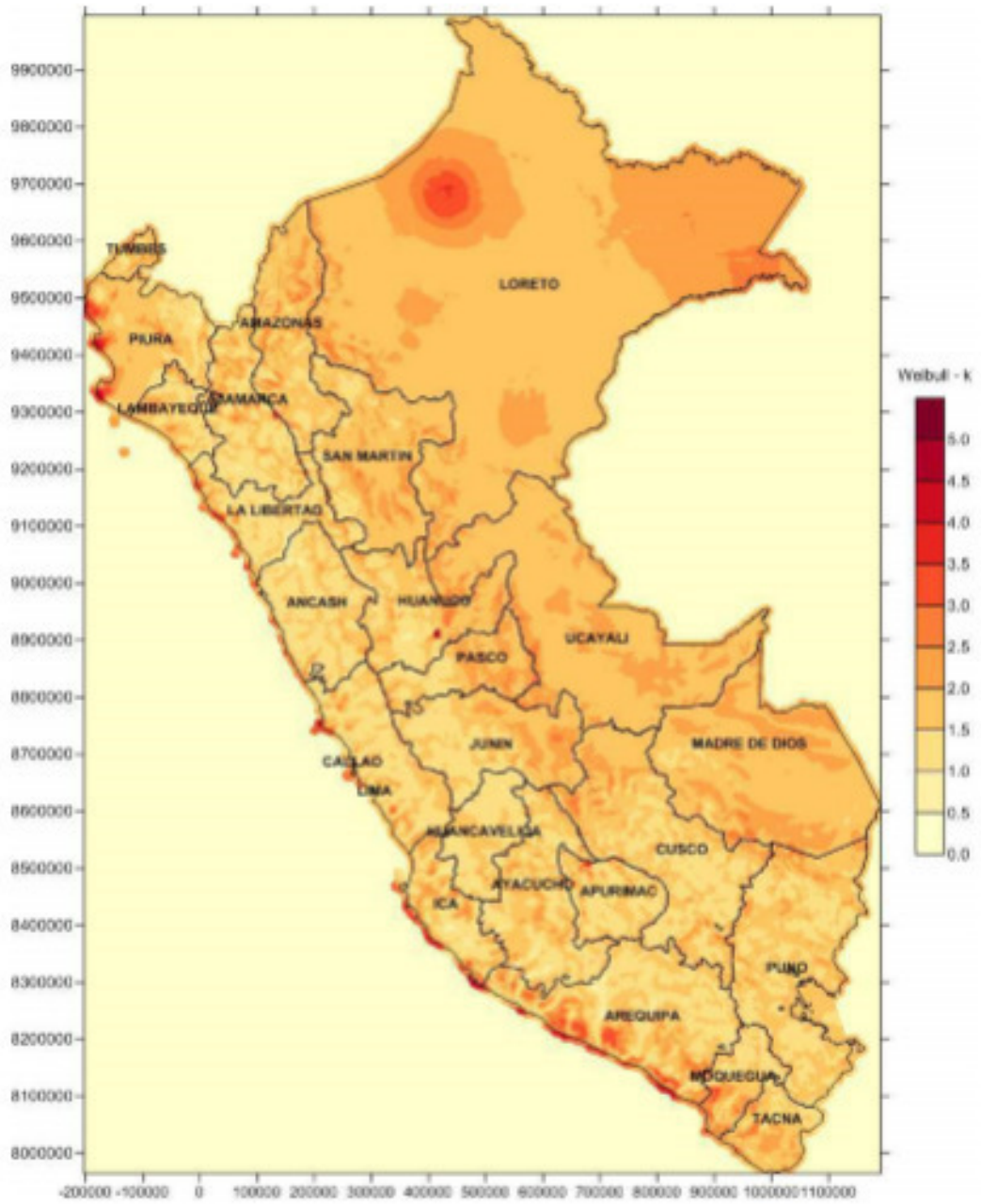


Figura N° 32 : Factor de forma de la distribución de Weibull a 10 mts.

Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.

D.3. FACTOR DE ESCALA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 25 m

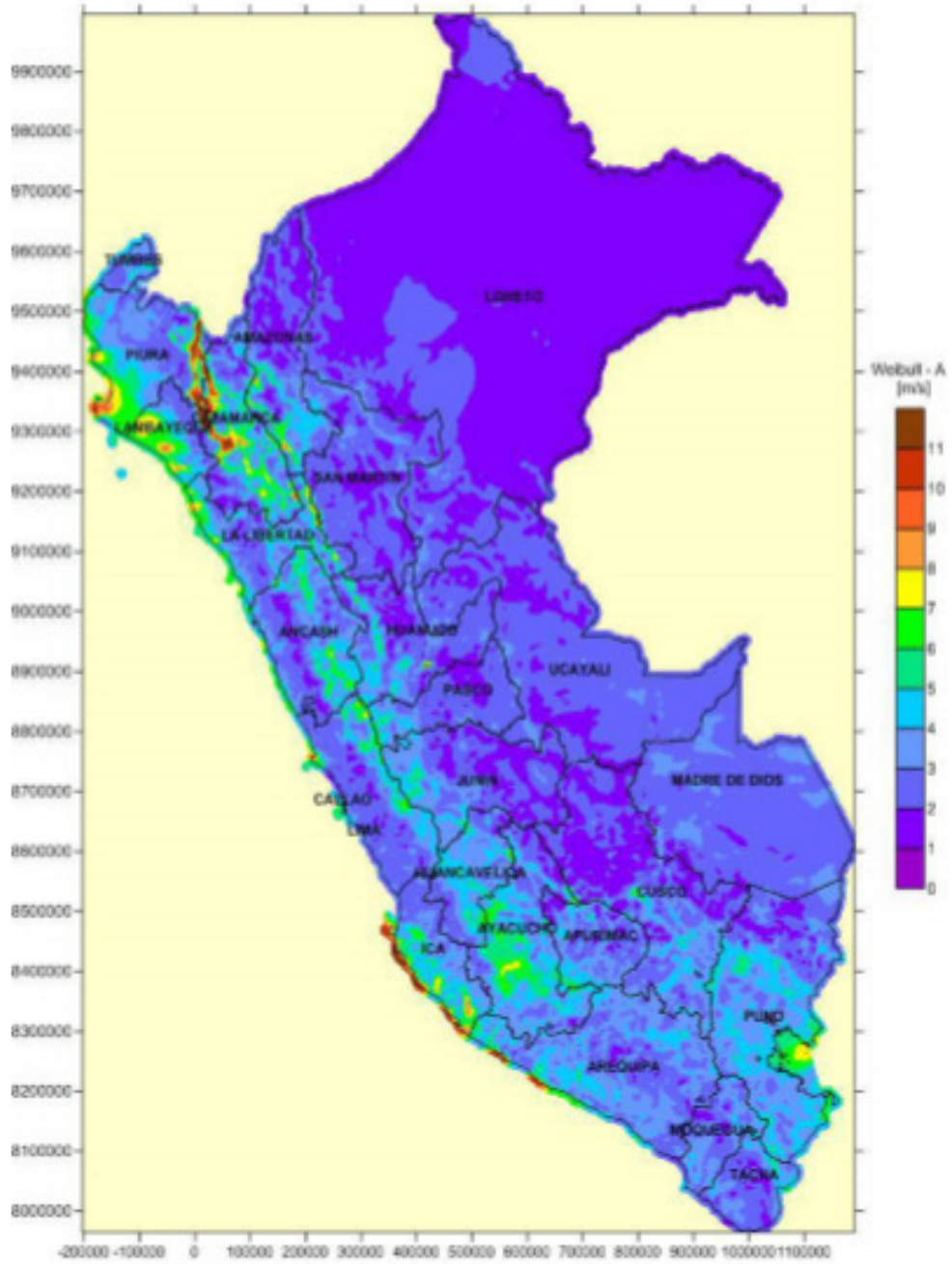


Figura N° 33 : Factor de Escala de la distribución de Weibull a 25 mts.  
Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.



D.4. FACTOR DE FORMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 25 m

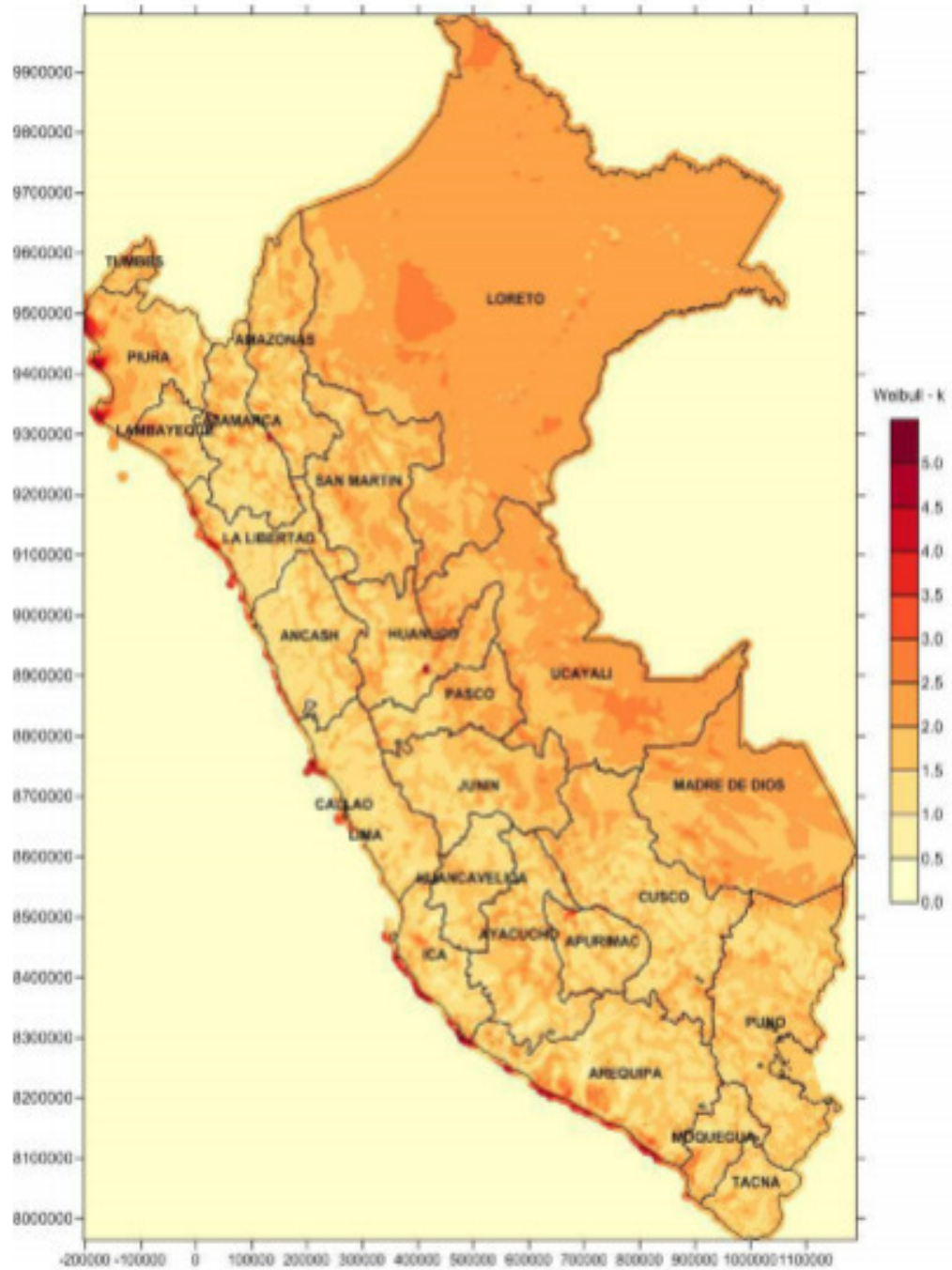
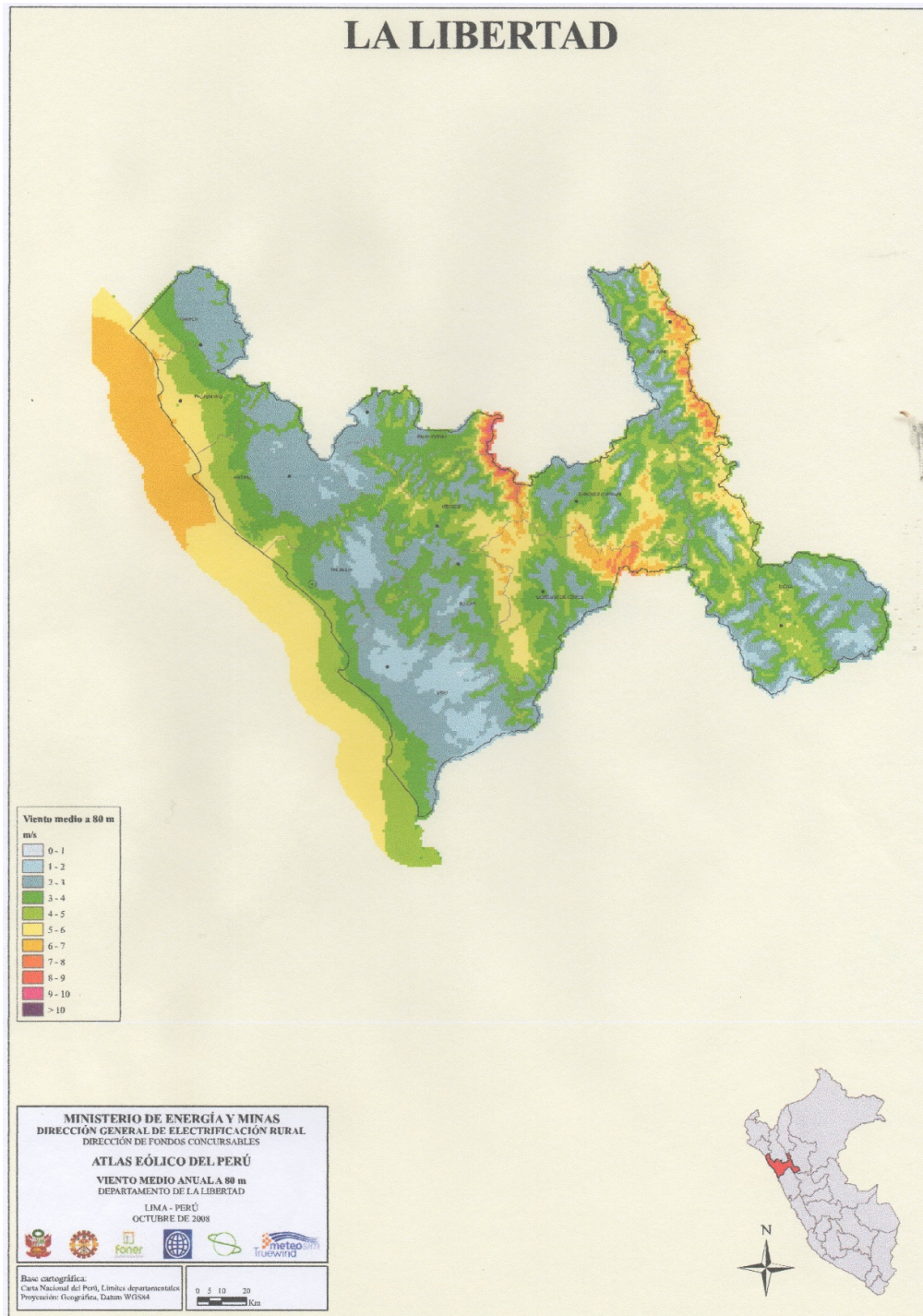


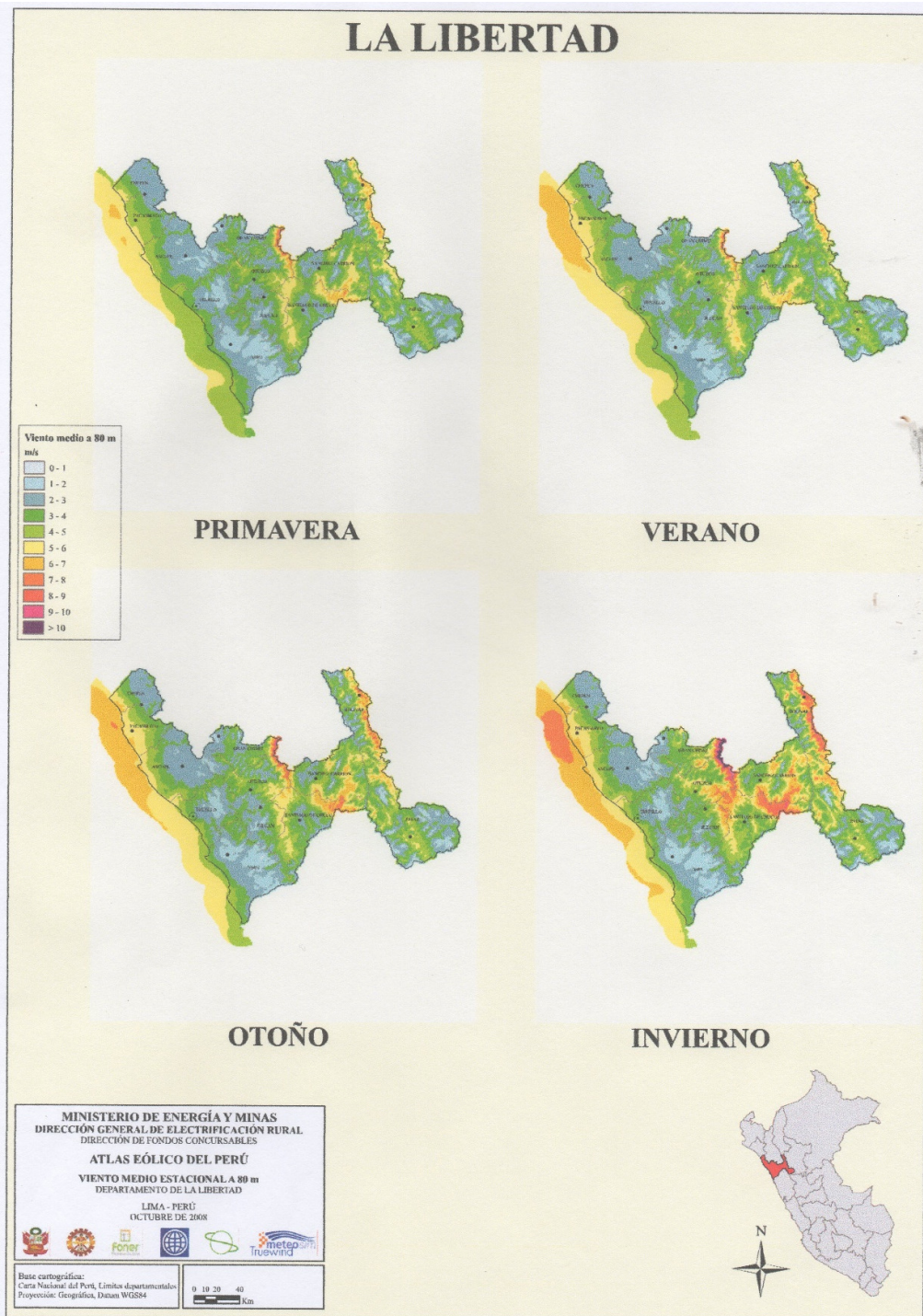
Figura N° 34 : Factor de forma de la distribución de Weibull a 25 mts.

Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.



**Figura N° 35 : Departamento La Libertad .Viento medio anual a 80 mts.**  
**Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.**





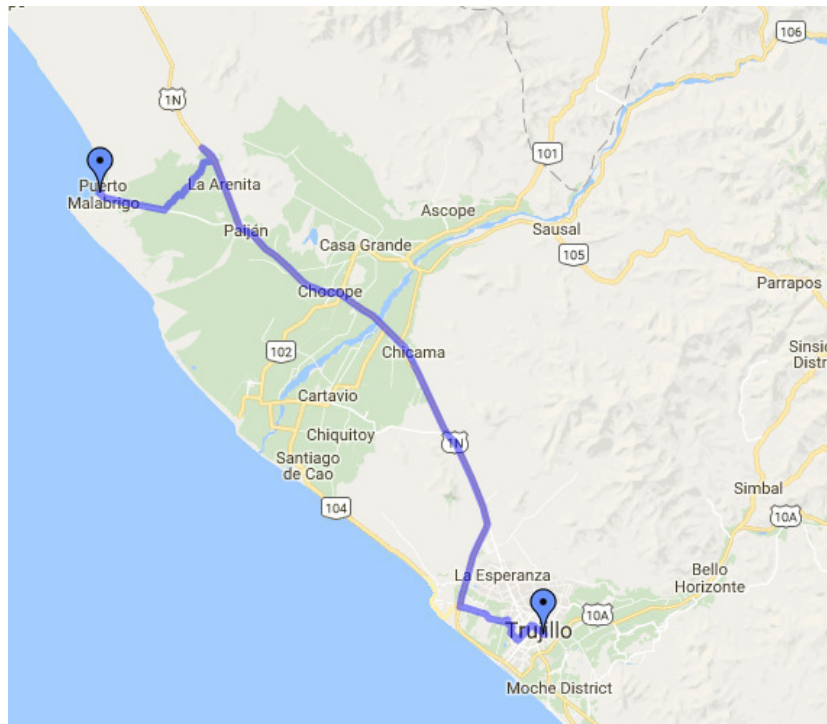
**Figura N° 36 : Departamento La Libertad. Viento medio estacional a 80 mts.**

**Fuente : Ministerio de Energía y Minas: Atlas eólico del Perú.**

### 4.1.3. CENTRAL EOLICA DE MALABRIGO 250 kW

#### UBICACION

La Central Eólica de Malabrigo se encuentra ubicada en Malabrigo, provincia de Ascope departamento de La Libertad. (ADINELSA. GERENCIA DE COMERCIALIZACION Y SISTEMAS. 2017. *Informe técnico Central de Malabrigo*. La Libertad.)



**Figura N° 37 : Ubicación de Puerto Malabrigo**

**Fuente : Google Earth.2017**

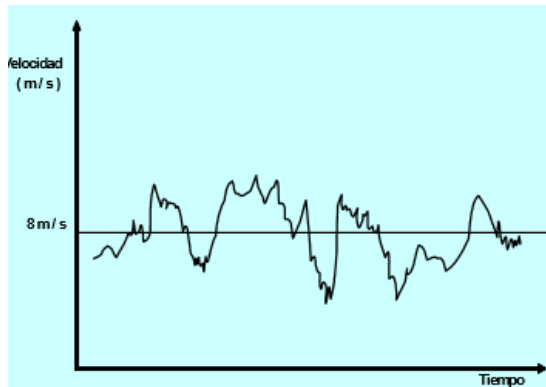
#### DESCRIPCION DEL EQUIPO .(ADINELSA. 2017; Pag. 10)

**Tecnología :** Dinamarca Marca : MICON Tipo de Turbina : Paso fijo ( ángulo de ataque de los alabes fijo)

La Central Eólica de Malabrigo de 250 kW fue fabricada en Dinamarca. Desde el año 1996 viene operando en forma normal. Hasta la fecha se está efectuando con el mantenimiento de acuerdo a las recomendaciones del

fabricante, en el año 2002 se realizó el cambio de rodamientos del generador y mantenimiento del mismo en un taller especializado en Lima, para ello se ha requerido grúas de gran tonelaje para el desmontaje y maniobras de los equipos a una altura de 30 m., superando los costos normales por mantenimiento preventivo; asimismo, se está realizando un mantenimiento adicional por efectos de la corrosión debido a la contaminación ambiental que es muy severa en el lugar.

En la Central Eólica y dada las condiciones de operatividad y presentado el menor número de fallas comparadas con la otra máquina de Malabrigo, podemos decir que se ha concluido exitosamente con las expectativas de un Proyecto Piloto; asimismo, se ha acopiado información suficiente que servirá de referencia para nuevos proyectos



**Figura N° 38 : Esquema de la velocidad del viento en Puerto Malabrigo**

Fuente : ADINELSA. 2017.

**Tabla N° 13 : Características técnicas de la central eólica de Puerto Malabrigo**

Fuente : ADINELSA. 2017.

Sistema	Conexión a la red
Potencia	250 kW
Número de aspas	3
Diámetro de las aspas	28 m
Potencia del generador	250 / 50 kW
Altura de la torre	30 m
Transformador elevador	312 kVA
Peso total (turbina y torre)	28 Ton
Monitoreo a distancia	Si
Procedencia de las máquinas	Dinamarca(MICON)

## REGISTRO DE VIENTOS

### 1. Régimen de Vientos

Malabrigo: Desde el año 1996, hasta el año pasado 2017, es decir en 21 años, se ha registrado datos de frecuencias de velocidad del viento, obteniéndose a la fecha un promedio aproximado de **8 m/s a una altura de 30 m.** como se indica en la tabla N° 14. (ADINELSA. GERENCIA DE COMERCIALIZACION Y SISTEMAS. 2017. *Informe técnico Central de Malabrigo.* La Libertad.)

### 2. Densidad de Potencia

El potencial aprovechable se puede evaluar mediante la densidad, es decir, la potencia del viento por unidad de área de impacto en las aspas de un aerogenerador.

Con los datos históricos de velocidad de viento registrados en la central de Malabrigo se ha obtenido una densidad de potencia de 310 Watts/m<sup>2</sup>., según indica ADINELSA 2017. Empresa encargada de la operatividad y mantenimiento de la Central Eólica de Puerto Malabrigo.

### 3. Parámetros Hallados de la Distribución de Weibull

Según el sistema de la central Eólica del Puerto Malabrigo, la distribución de Weibull es representada por la siguiente expresión

$$f(v) = (k/C) \cdot (v/C)^{k-1} \cdot \exp(-(v/C)^k)$$

Donde:

$f(v)$  = función de Weibull

$k$  = Parámetro de Forma

$C$  = Parámetro de Escala

El parámetro  $k$  tiene gran influencia en la expresión  $f(v)$  distribución de Weibull ya que determina la forma de la curva. Gracias a la distribución de Weibull se puede representar el tipo de comportamiento del viento en la zona; con los datos registrados.

Los parámetros promedios estadísticos anual de Weibull registrados a 30 m de altura, son los siguientes :

<b>K Weibull</b>	= 3.38
<b>C Weibull</b>	= 7.82 m/s
Velocidad Promedio	= 8.2 m/s
Dirección predominante	= Sur

Los parámetros C y k resulta mediante cálculos estadísticos tomando como base los registros de la velocidad del viento v.

#### 4. Interpretación de los Parámetros Hallados

En la Figura N° 39 ;la interpretación del parámetro k, en Malabrigo k = 3.38 corresponde a la curva de distribución Normal o Gaussiana; los valores hallados son dinámicos en el tiempo y pueden variar de acuerdo al régimen del viento, y es poco probable obtener valores menores que los hallados por los registros que se cuenta, estos resultados muestran buen potencial eólico de la región

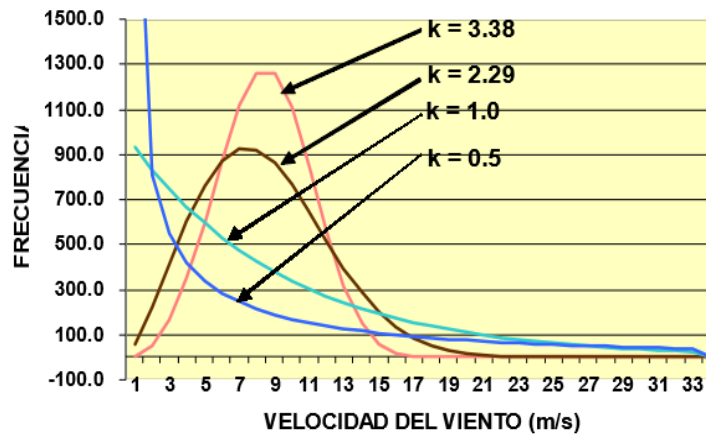
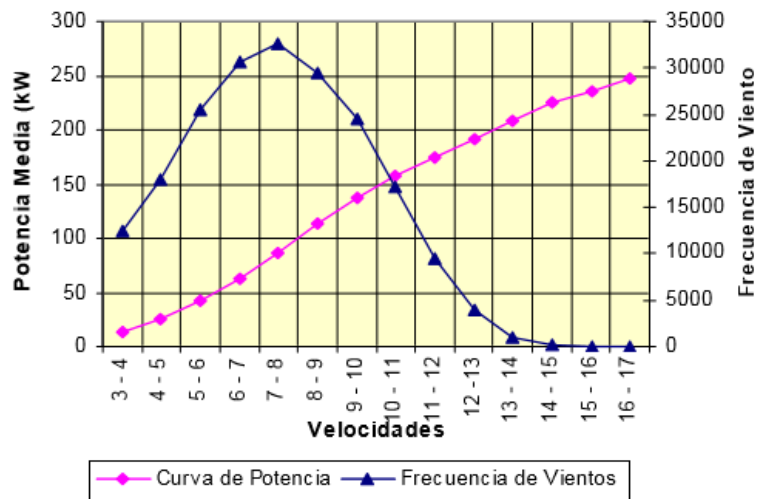


Figura N° 39 : Influencia del parámetro de forma K

Fuente : ADINELSA. 2017.

## 5. Velocidad del Viento en Malabrigo.

En la figura podemos observar dos curvas, una se refiere a la frecuencia del viento y la otra a la curva de potencia de salida del generador, los registros son resultados del almacenamiento de datos desde el año 1996. Podemos observar en la curva de frecuencia de vientos, la mayor frecuencia de velocidad de viento promedio acumulado se presenta en el rango de **8 m/s a 30 m. de altura**; como se indica en la tabla N° 14.

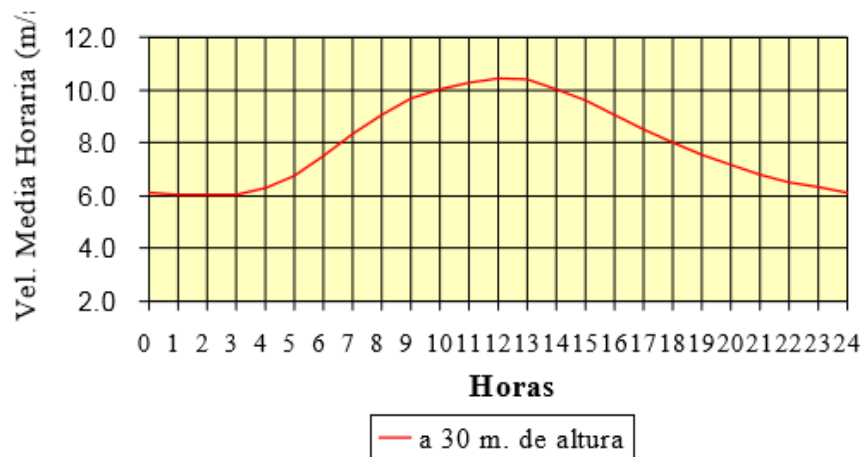


**Figura N° 40 : Frecuencia del Viento y Potencia de salida del generador en Puerto Malabrigo, obtenidos de la Central Eólica.**  
Fuente : ADINELSA. 2017.

## 6. Velocidad de viento Diario

Los registros acumulados de velocidad de viento diario, se aprecian en la figura siguiente. Como característica general del lugar, se indica que las velocidades menores se inician a partir de las 23:00 horas hasta las 5:00 horas, llegando incluso hasta parar la máquina en algunos casos por falta de viento; pero, en promedio casi todo el tiempo se encuentra generando energía eléctrica y las horas punta (18:00 a 23:00 horas).





**Figura N° 41 : Velocidad de viento diario en Puerto Malabrigo**

Fuente : ADINELSA. 2017.

En los resultados registrados a la fecha, se muestran los promedios de velocidad de viento entre 6 m/s y mayores de 10 m/s, estadísticamente, se han registrado velocidades de viento de hasta 17 m/s.

## 7. Generación de Energía

Los potenciales energéticos que podemos extraer con el viento, se han calculado de acuerdo a la siguiente relación:

$$E = f(v) \cdot (\text{horas}) \cdot (\text{Potencia de la Turbina}) \cdot \text{N}^\circ \text{ de Turbinas}$$

Donde:

E = en kWh Potencia de la turbina en kW (curva de potencia)

$f(v)$  = función de Weibull en función de C y k, por cada rango de velocidad

Los valores de energía ( E ) son afectados por factores de pérdidas y utilización, los resultados se aproximan a la energía real de salida.

La disposición de las turbinas en el terreno dependerá del diseño de la disposición de las turbinas en el plano del bosque eólico, sin embargo, como información de base, la configuración del terrenos es del tipo arenoso y cuyo parámetro de rugosidad ( $Z_0$  (m) ) se estima entre  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  m.

La energía eléctrica generada por la Central Eólica es entregada a la sub-estación de Malabrigo en la barra de 10 kV de propiedad de Hidrandina S.A, El promedio de generación de energía mensual durante los 7 años ( desde 1996 hasta 20014) es de 48,300.0 kWh.

(ADINELSA. GERENCIA DE COMERCIALIZACION Y SISTEMAS. 2017. *Informe técnico Central de Malabrigo*. La Libertad.)

La energía acumulada a mayo 2004 es de 4`509,683.0 kWh con 57,907 horas de funcionamiento.

### **8. Factor de Capacidad (FC)**

Los registros acumulados desde la fecha de funcionamiento de la máquina han dado como resultado de 35 %

En Alemania, las instalaciones evaluadas promedian un FC de 21%.

### **9. Costos de la Central Piloto**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO EN DÓLARES US\$</b>
Central Eólica Malabrigo 250 Kw	432,838.00 US\$
Costo Unitario	1731.00 US\$ / Kwh

Este costo es el resultado del proceso de adquisición llave en mano realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (por lo que están libres de impuestos).

(ADINELSA. GERENCIA DE COMERCIALIZACION Y SISTEMAS. 2017. *Informe técnico Central de Malabrigo*. La Libertad.)

### **4.3. INFORMACION TOPOGRAFICA**

La información topográfica ha sido obtenida a través de topografía directa utilizando equipo de estación total, colocando hitos y BMs a lo largo de los tramos de redes de alcantarillado que se une con las lagunas de oxidación de la Ciudad de Puerto Malabrigo



Esta topografía directa ha consistido básicamente en levantamientos topográficos donde se han tomado datos en la red de alcantarillado y buzones, lagunas de oxidación. Para ello fueron usados los Hitos y BMs que se encuentran en el recorrido de las redes de alcantarillado , esquina de calles y que han sido usados como puntos de apoyo para los trabajos de campo.

Los estudios han sido realizados en tres etapas:

- Obtención de datos e información de campo.
- Procesamiento y verificación de la información de campo.
- Elaboración de la propuesta con los equipos necesarios para transmitir energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias.

En esta parte de la investigación, se realizó una descomposición de los resultados globales para obtener sus particularidades.



**Fotografía N° 09 : Vista de Tesista en las lagunas de estabilización de Puerto Malabrigo.**



Fotografía N° 10 : Vista de Tesista en las lagunas de estabilización de Puerto Malabrigo.

#### 1.7.6. BENEFICIOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es una **fuentes de energía renovable**, no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles, origen de las emisiones de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Además, la energía eólica es una energía autóctona, disponible en la práctica totalidad del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza y empleo de forma local.

**La producción de electricidad mediante energía eólica y su uso de forma eficiente contribuyen al desarrollo sostenible.** Es importante destacar que **la energía eólica no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire**, que pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y el ser humano. Las sustancias tóxicas pueden acidificar los ecosistemas terrestres y acuáticos, y corroer edificios. Los contaminantes de aire pueden desencadenar enfermedades del corazón, cáncer y enfermedades respiratorias como el asma.

**La energía eólica no genera residuos ni contaminación del agua**, un factor importantísimo teniendo en cuenta la escasez de agua. A diferencia

de los combustibles fósiles y las centrales nucleares, la energía eólica tiene una de las huellas de consumo de agua más bajas, lo que la convierte en clave para la preservación de los recursos hídricos.

### **Resumen de beneficios de la energía eólica**

- Energía que se renueva
- Inagotable
- No contaminante
- Reduce el uso de combustibles fósiles
- Reduce las importaciones energéticas
- Genera riqueza y empleo local
- Contribuye al desarrollo sostenible.

#### **1.7.7. DETERMINACION DE VALORES PROMEDIOS A MAYOR DE 10 METROS DE ALTURA EN PUERTO MALABRIGO**

La medición meteorológica se realiza a 10 metros de altura, los valores de velocidad de viento promedio determinados que se pueden esperar para mayores alturas sobre el terreno, en el Puerto de Malabrigo, lo determinamos mediante la fórmula:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^a$$

Siendo: V1 : la velocidad del viento a la altura h1

V2 : la velocidad del viento a la altura h2

El coeficiente “a” es un parámetro que depende de la topografía del terreno y de las condiciones meteorológicas. Generalmente este parámetro se calcula sobre la base de mediciones de viento.

Álvaro Pinilla S. ( 2003) del Instituto de Ciencias Nucleares (INEA), sugiere que en el caso de no existir información medida del perfil de velocidades, para una buena aproximación en terreno plano, libre de obstáculos se puede utilizar el parámetro **a equivalente a 0.14 (1/7)**; como es el caso de la Ciudad de Puerto Malabrigo.

**Tabla N° 14 : Valores de velocidad de viento a diferentes alturas en Puerto Malabrigo, zona de la Investigacion.**

Velocidad de viento, promedio medido en m/seg a 10 metros	Velocidad de viento promedio esperado en m/seg		
	20 metros	30 metros	40 metros
3	3.3	3.5	3.7
4	4.4	4.7	4.9
5	5.5	5.8	6.1
6	6.6	7.0	7.3
7	7.7	8.2	8.5
8	8.8	9.4	9.8
9	9.9	10.5	11.0
10	11.0	11.7	12.2

**1.7.8. PROPUESTA DE UN SISTEMA EOLICO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS PARA LA CIUDAD PUERTO MALABRIGO**



**Fotografía N° 11 : Vista de Laguna de estabilización y tesista en Puerto de Malabrigo**

### 1.7.9. ESTIMACION DE LA ENERGIA EOLICA

Cuando se tiene información confiable sobre el régimen de viento en un lugar, como es el caso de la Ciudad de Puerto Malabrigo, que ésta estudiada adecuadamente, para ser combinada con las características de generación de un equipo; se puede estimar la cantidad de energía que puede suministrar el equipo eólico en el lugar seleccionado.

La Tabla N° 15 (Power Guide, 1994) indica las posibilidades de uso de la energía eólica, con base a valores promedios de velocidad de viento anual, en la que nos ubicamos de acuerdo a la tabla N° 15 a mas de 6 m/seg. El promedio anual de velocidad de viento a 10 metros de altura, la que es **Viable para aerobombeo, aerogeneración con sistemas autónomos.**

**Tabla N° 15 : Relaciones generales entre viabilidad y velocidad de viento para su uso como fuente de energía**  
**Fuente : Power Guide, 1994**

<b>Promedio Anual de Velocidad de Viento 10 metros de altura</b>	<b>POSIBILIDAD DE USO DE LA ENERGÍA EÓLICA</b>
Menor a 3 m/s	Usualmente no es viable, a menos que existan circunstancias especiales para evaluar mejor el recurso
3 - 4 m/s	Puede ser una buena opción para equipos eólicos de bombeo de agua (Aerobombeo), poco viable para generación eléctrica con equipos eólicos (Aerogeneración)
4 - 5 m/s	Aerobombas son competitivas económicamente a los equipos Diésel, aerogeneración con equipos autónomos es viable.
Más de 5 m/s	Viable para aerobombeo y aerogeneración con sistemas autónomos
<b>Más de 6 m/s</b>	<b>Viable para aerobombeo, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica.</b>

En el caso de la Ciudad de Puerto Malabrigo tiene viento permanente con una velocidad promedio de 7 m/s a una altura de 10 metros; por lo que de acuerdo a la Tabla N°15 ; sugerida por Power Guide, 1994 ; estará **VIABLE**

**PARA AEROBOMBEO, AEROGENERACION CON SISTEMAS AUTONOMOS Y PARA SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELECTRICA;** en razón que Puerto Malabrigo, tiene un viento con Velocidad de 7 m/s a 10 metros de altura, medidos mediante la central eólica durante 21 años ( 1996 á 2017).

**1.7.10. MOLINOS DE VIENTO (sistema de conversión de eje vertical  
SCEV).**

Durante las últimas dos décadas se ha dado una gran importancia a los equipos de conversión de energía eólica, siempre con miras en la búsqueda de alternativas al suministro de combustibles fósiles, como fuente de energía.

Los equipos eólicos se dividen en dos tipos:

Los Sistemas de Conversión de energía eólica de eje Horizontal (SCEH) con dos subdivisiones como son los de baja velocidad (muchas aspas) o los de alta velocidad (pocas aspas) .

Los Sistemas de Conversión de Eje Vertical (SCEV), con subdivisión similar a los de eje horizontal .

Los equipos eólicos de eje horizontal basan su principio de extracción de energía del viento en el fenómeno de sustentación que se presenta en alabes y formas aerodinámicas, tal como sucede con los perfiles en las alas de los aviones. (CADIZ DELEITO,J. & CABRERO, J. 2014)

Por el contrario, algunos equipos eólicos de eje vertical basan su principio de operación en la fuerza de arrastre sobre superficies como es el molino de viento Savonius o el mismo principio de operación de los anemómetros de cazoletas. A excepción de estos dos sistemas los demás equipos de eje vertical, como los diseños Darrieus, utilizan el principio de sustentación para la extracción de energía. (CADIZ DELEITO,J. & CABRERO, J. 2014).

Para la correcta selección de utilización de equipos eólicos horizontales o verticales, es independiente de la eficiencia de conversión ya que presentan valores parecidos, sin embargo vale la pena contrastar algunas ventajas y desventajas de estos sistemas.

El equipo de eje vertical ( Darrieus), el sistema puede atrapar el viento en cualquier dirección, mientras que los equipos de eje horizontal requieren de un sistema de control para enfrentar el rotor con la dirección de viento.

En los de eje vertical se pueden encontrar los subsistemas como caja de cambios, generador eléctrico, frenos, controles, etc. en la base de la torre facilitándose su mantenimiento.

Los Sistemas de Conversión de Eje Vertical (SCEV) de pocas aspas (baja solidez) usualmente vienen provistos de un pequeño motor para iniciar el arranque, para facilitar la entrega de energía, mientras los Sistemas de Conversión de energía eólica de eje Horizontal ( SCEH) se diseñan para que arranquen sin ayuda externa, a velocidades adecuadas del viento.

#### **1.7.11. MECANISMOS PARA EL APROVECHAMIENTO EÓLICO: Las máquinas eólicas.**

Las maquinas eólicas son mecanismos desarrollados para emplear el medio eólico o del viento con la finalidad de transformar su energía (energía eólica) en energía mecánica o en energía eléctrica.

##### **Principios de funcionamiento.**

**Los molinos de viento**, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica. Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo así como su clasificación diversa.

La captación de la energía eólica se desarrolla mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor).

El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es semejante al que hace que los aviones vuelen.

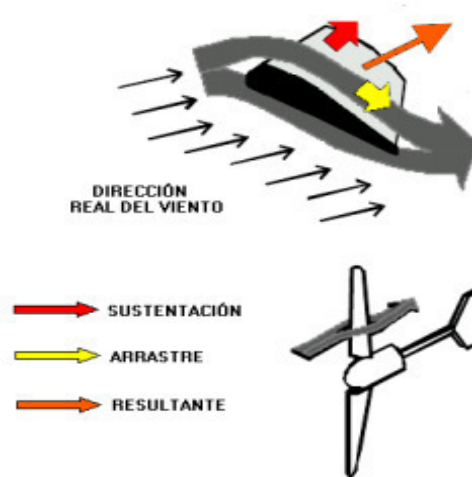


Figura N° 42 : Fuerzas de sustentación y arrastre  
Fuente : GARY L. JOHNSON. (2001).

### Clasificación de las máquinas eólicas.

Las máquinas eólicas han sido estudiadas por el hombre en forma intensiva y dentro de ellas existen en la actualidad diferentes tipos que van desde pequeñas potencias, a las grandes máquinas americanas y alemanas de varios MW. (CADIZ DELEITO,J. & CABRERO, J. *La Energía Eólica Tecnología e Historia*. Editorial Blume, Madrid, España. 2014)

Son numerosos los dispositivos que permiten el aprovechamiento de la energía eólica, pudiéndose hacer una clasificación de los mismos según la posición de su eje de giro, respecto a la dirección del viento. En las máquinas eólicas de eje horizontal, para obtener en las palas una velocidad angular regular y uniforme ( $\omega$ ) para una determinada velocidad del viento  $V$  se requiere que tanto la dirección del viento, como su velocidad, se mantengan constantes con respecto a las palas. (CADIZ DELEITO,J. & CABRERO, J. *La Energía Eólica Tecnología e Historia*. Editorial Blume, Madrid, España. 2014)



En las máquinas eólicas de eje vertical, por el contrario, manteniendo las mismas condiciones regulares en la velocidad del viento y en la velocidad angular de las palas, resulta que éstas pueden estar sometidas a un viento aparente de dirección y velocidad continuamente variables, por lo que en estas máquinas, el flujo aerodinámico resulta ser muy complicado, ignorándose en muchas ocasiones las verdaderas posibilidades de las mismas. (CADIZ DELEITO, J. & CABRERO, J. *La Energía Eólica Tecnología e Historia*. Editorial Blume, Madrid, España. 2014)

Las máquinas eólicas se pueden clasificar en: (GIPE, P. (2016).

**A. Por su potencia nominal.**

- Baja Potencia < 3 KW (equivalente eléctrico).
- Media Potencia < 30 kW (equivalente eléctrico).
- Alta potencia >100 kW (equivalente eléctrico).

**B. Por la orientación del rotor.**

- Eje vertical.
- Eje horizontal.

**C. Por el mecanismo de regulación de potencia.**

- De paso variable.
- Vasculación del rotor.
- Pérdida aerodinámica de la pala.

**D. Por el tipo de generador eléctrico.**

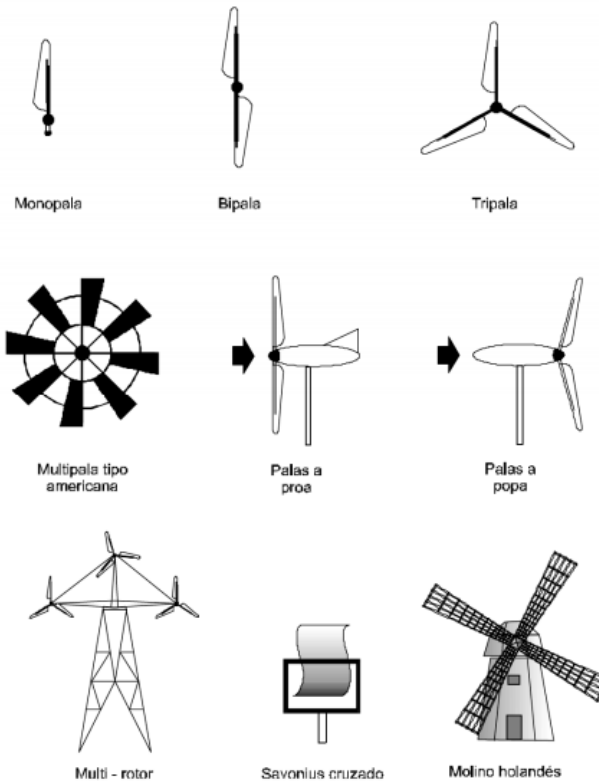
- Generador de corriente continua.
- Generador de corriente alterna (síncrono y asíncrono).

**E. Por el número y tipología de palas.**

- Bipalas.
- Tripalas.
- Multipalas.

La clasificación más común y difundida de las máquinas eólicas son las de eje horizontal y las de eje vertical. Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han logrado obtener las

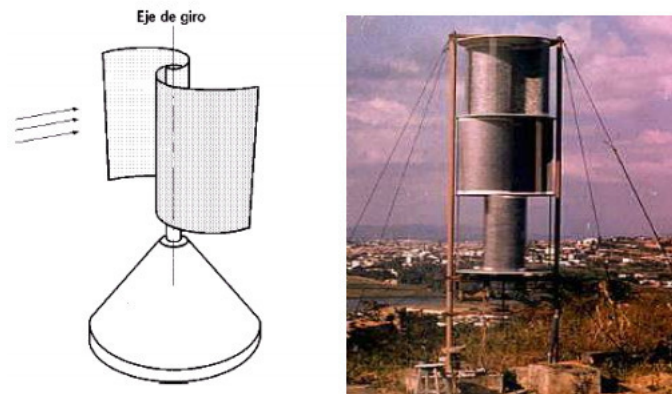
mayores eficiencias de conversión; los diseños más utilizados de este tipo de máquinas eólicas están representados en la siguiente ilustración:



**Figura N° 43 : Maquinas eólicas de eje horizontal**  
Fuente : GIPE, P. 2016

Existen dos diseños básicos de rotores de eje vertical: Savonius y Darrieus.

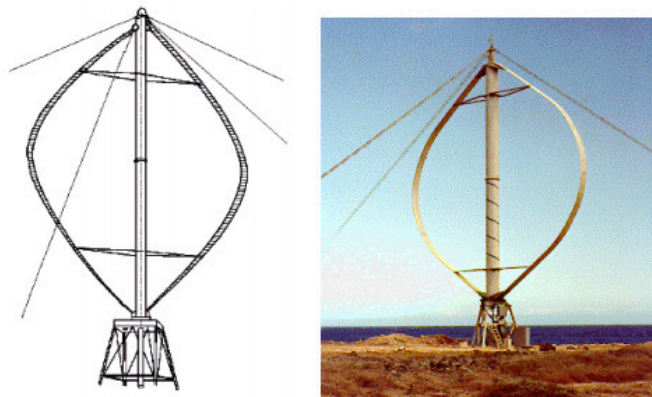
El rotor Savonius (ver Figura N° 44) trabaja esencialmente por arrastre, tiene un alto par de arranque pero su eficiencia es pobre. Por su sencillez y bajo costo es fácil de construir con técnicas artesanales. Se los emplea en aplicaciones que requieren potencias pequeñas como es el caso de los extractores de aire en grandes edificios industriales o depósitos y en bombeo de agua. (GIPE, P. 2016).



**Figura N° 44 : Rotor Savonius**

**Fuente : GIPE, P. 2016.**

Los rotores Darrieus (ver Figura N° 45 ), inventados por G.J.M.Darrieus en Francia en la década del 20, son actualmente los principales competidores de los de eje horizontal de palas aerodinámicas para la generación de electricidad. Las fuerzas dominantes son las de sustentación, tienen un par de arranque prácticamente nulo, pero entregan potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo. El diseño original de palas curvadas a dado origen a otras configuraciones, tratando de mejorar algunas características constructivas u operacionales. Tal es el caso de la combinación con rotores Savonius para aumentar el par de arranque.



**Figura N° 45 : Aerogenerador Darrieus**

**Fuente : GIPE, P. (2016).**

**El molino vertical de palas tipo giromill o ciclogiro**, deriva del Darrieus; tiene entre 2 y 6 palas. El modelo Darrieus arranca mal, mientras que el Savonius se puede poner en funcionamiento con una pequeña brisa; debido a ello se puede hacer una combinación sobre un mismo eje de ambas máquinas de forma que un rotor Savonius actúe durante el arranque y un rotor Darrieux sea el que genere la energía para mayores velocidades del viento. (GIPE, P. *Wind Power for Home & Business*.USA. 2016)

**Las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical frente a los de eje horizontal, son: GIPE, P. (2016).**

- No necesitan sistemas de orientación.
- Los elementos que requieren un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo.
- No requieren mecanismos de cambio de revoluciones, por cuanto no suelen emplearse en aplicaciones que precisen una velocidad angular constante.

**Las ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal respecto de los de eje vertical son: (GIPE, P. 2016).**

- Mayor rendimiento.
- Mayor velocidad de giro (multiplicadores más sencillos).
- Menor superficie de pala S a igualdad de área barrida A.
- Se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa

En la tabla siguiente se resumen las características salientes de los rotores eólicos más utilizados

**Tabla N° 16 : Características de los rotores eólicos más utilizados**

Fuente : GIPE, P. (2016).

<b>EJE</b>	<b>TIPO DE ROTOR</b>	<b>RENDIMIENTO MAXIMO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>HORIZONTAL</b>	<b>HOLANDES</b>	<b>0.17</b>	<b>- 30 – 60 KW</b> - Alto par de arranque -Velocidad media -Diseño ineficiente de las palas -4 Palas
	<b>MULTIPALA AMERICANO</b>	<b>0.15</b>	<b>-0.4 – 6 KW</b> -Alto par de arranque -Bajas velocidades -Muchas pérdidas -12-15 Palas
	<b>PERFIL AERODINAMICO (Hélices)</b>	<b>0.47</b>	<b>-0.5 – 200 KW</b> -Bajo par de arranque -Altas velocidades -Alto Rendimiento <b>-1 a 3 Palas</b>
<b>VERTICAL</b>	<b>SAVONIUS</b>	<b>0.30</b>	<b>-0 – 1.5 KW</b> -No requiere ser orientado -Alto par de arranque -Bajas velocidades -2 a 4 Palas
	<b>DARRIEUS</b>	<b>0.35</b>	<b>-5 – 500 KW</b> -No requiere ser orientado -No arranca solo -Altas velocidades -Buen rendimiento <b>-2 a 3 Palas</b>

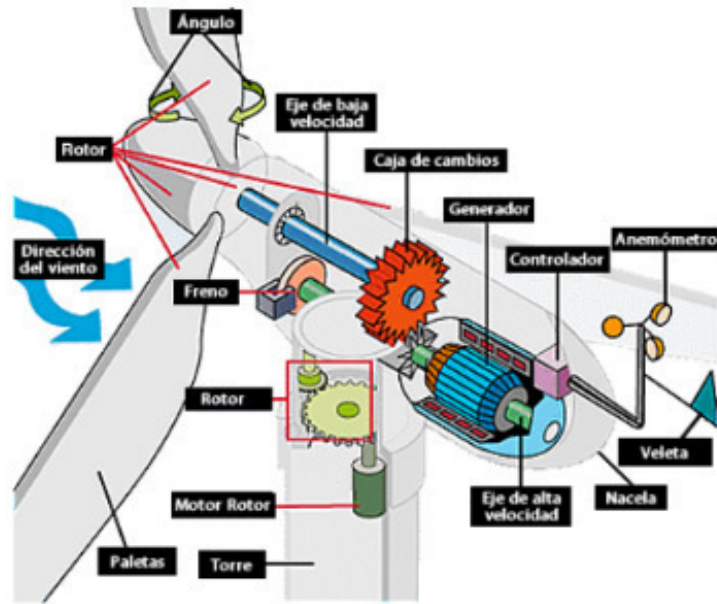


Figura N° 46 :Rotor de un Aerogenerador  
Fuente : GIPE, P. 2016.

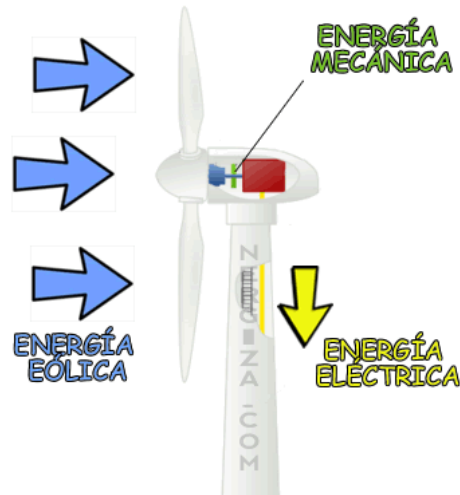
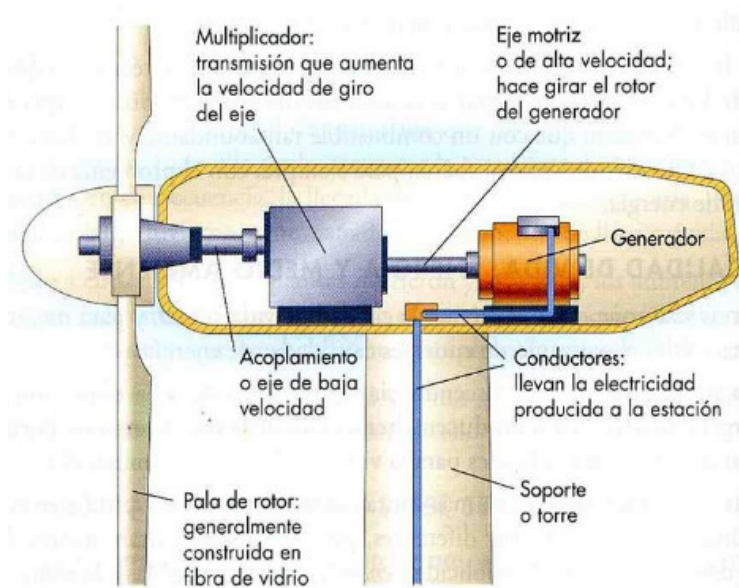


Figura N° 47 : La transformación de la Energía Eólica se lleva a cabo a través de aerogeneradores, en energía Mecánica y en Energía Eléctrica.  
Fuente : Renovables Verdes. 2017.



**Figura N° 48 : El rotor es el “corazón” de todo molino de viento, ya que sostiene las palas de la turbina, moviéndolas de manera mecánica y rotacional para transformar el empuje del viento en energía.**

Fuente : Renovables Verdes. 2017.

### 1.7.12. APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS EÓLICAS.

La energía captada por el rotor de una máquina eólica se transforma inicialmente en energía mecánica disponible en un movimiento rotativo. Este movimiento puede utilizarse para impulsar dispositivos que la transformen en otras formas de energía: mecánica, eléctrica, térmica o potencial.

Las aplicaciones más efectivas serán aquellas en las que se llega al uso final de la energía con el menor número de transformaciones.

**Tabla N° 17 : Aplicaciones más usuales de los molinos de viento**

**Fuente : Propia**

<b>OBJETIVO</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>TIPO DE ROTOR</b>	<b>APLICACION</b>
<b>GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA</b>	Sistemas aislados o remotos	-Horizontal bipala o tripala rápidos	-Radioenlaces -Comunicaciones -Iluminación -Electrodomesticos -Seguridad
	Sistemas híbridos diésel eólicos	-Vertical Darrieus -Horizontal 1 á 3 palas,rápidos.	-Abastecimiento eléctrico de comunidades o industrias aisladas.
	Sistemas conectados a las redes eléctricas	-Vertical Darrieus -Horizontal 1 á 3 palas,rápidos.	-Abastecimiento eléctrico a través de redes de distribución
<b>GENERACION DE ENERGIA MECANICA</b>	Sistemas aislados o remotos	-Horizontal multipala -Vertical Savonius -Horizontal 1 á 3 palas,rápidos	-Bombeo de agua residual. -Molienda. -Etc.

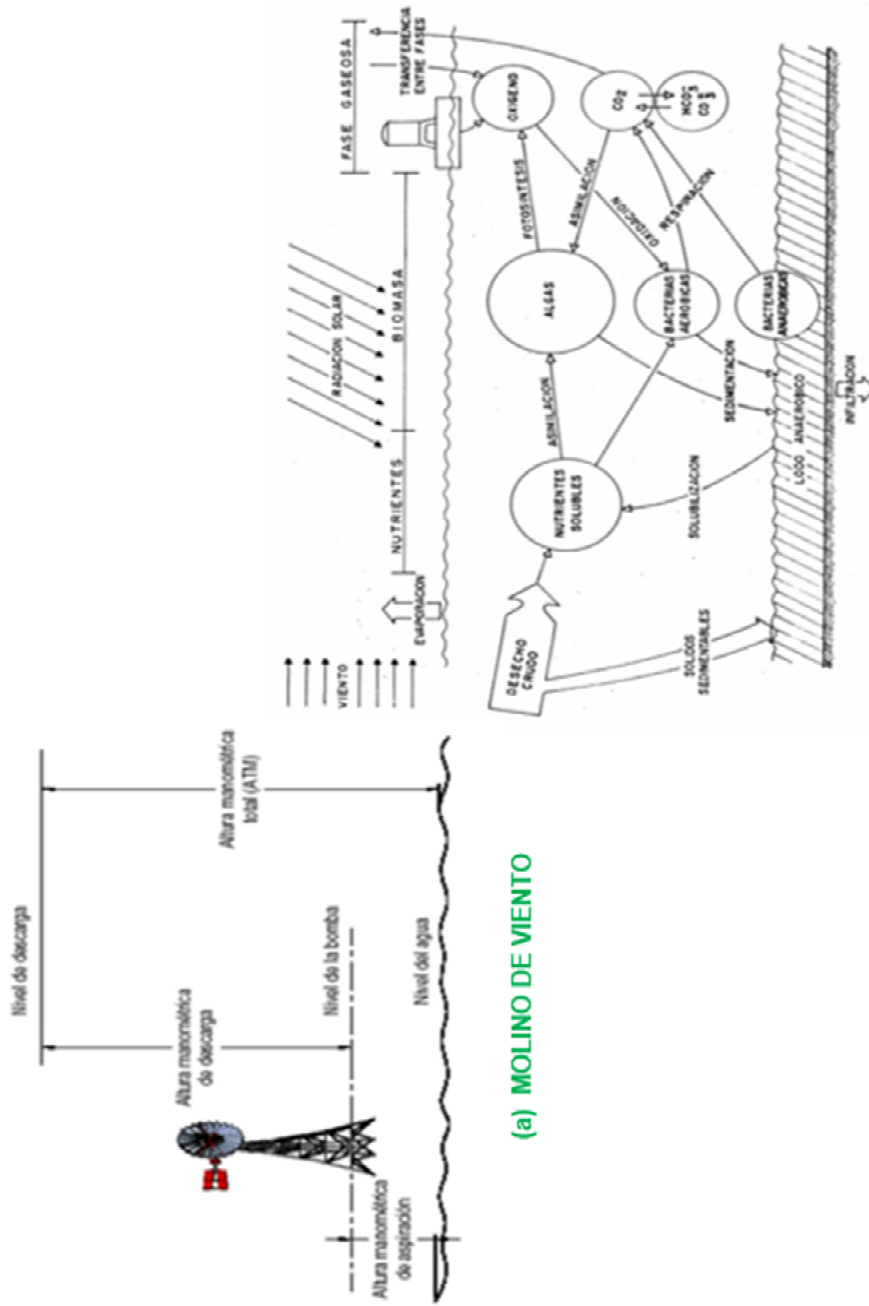
**PROPUESTA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS.**

De acuerdo con la información de SEDALIB, el Tratamiento de aguas residuales domiciliarias de la Ciudad de Puerto Malabrigo, es mediante un RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) construido en el 2010, y el tratamiento secundario es mediante un biofiltro que no funciona, el personal no cuenta con manual de operación.

El caudal del agua residual domiciliaria de la Ciudad de Puerto Malabrigo, para su respectivo tratamiento es 8.5 litros por segundo, por lo se propone la instalación de 4 molinos de viento, distribuidos en las dos lagunas de estabilización, de tal manera que el viento (Energía Eólica ) es transformada en energía mecánica, para que los molinos de viento



bombeen el agua residual en forma permanente de una laguna de estabilización a la otra laguna de estabilización, de tal manera que exista un tratamiento de aguas residuales domiciliarias, como se indica en la Figura N° 49.



(b) LAGUNA DE ESTABILIZACION

(a) MOLINO DE VIENTO

Figura N° 49 : Esquema del Molino de Viento (a) , que utilizando el viento (Energía Eólica) convierte en energía mecánica, para así bombear el agua residual domiciliar de una laguna de estabilización (b) a otra laguna de estabilización, en el menor tiempo posible, para que haya un tratamiento de las aguas residuales domiciliarias en Puerto Malabrigo.

## **EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), es un proceso que comprende un conjunto de técnicas y procedimientos, destinados a prever e informar sobre los efectos que el mejoramiento de la Carretera, pueda ocasionar sobre el medio ambiente.

El término Impacto Ambiental, en general se refiere a cualquier cambio, modificación o alteración permanente de los elementos del medio ambiente o de las relaciones entre ellos, causada por las actividades de la obra en las Etapas Preliminar, de Construcción, así como en la de Operación de la carretera, en las áreas de influencia de la misma, tanto directa como indirecta.

Es importante tener en consideración la premisa de que el presente trabajo no implica ninguna modificación del trazo actual, la mayoría de las actividades se realizará sobre la vía existente, con ligeras modificaciones, relacionadas con la rasante, y cortes de algunos taludes.

Los impactos potenciales originados por el Mejoramiento de la carretera, son analizados respecto a los elementos del medio físico como; aire, agua, tierra, vegetación y aspectos socioeconómicos de la población y se presentan medidas complementarias al planteamiento de la obra, orientadas al control o mitigación de los mismos, en el Plan de Manejo Ambiental.

En la figura siguiente, se ilustra el proceso de determinación de los impactos ambientales y su interacción con la línea base y descripción del proyecto.

También muestra como el Plan de Gestión Socio-Ambiental (medidas preventivas, correctivas y/o de mitigación) resulta de la evaluación de impactos y el conocimiento de los componentes ambientales, recursos naturales y actividades del proyecto.

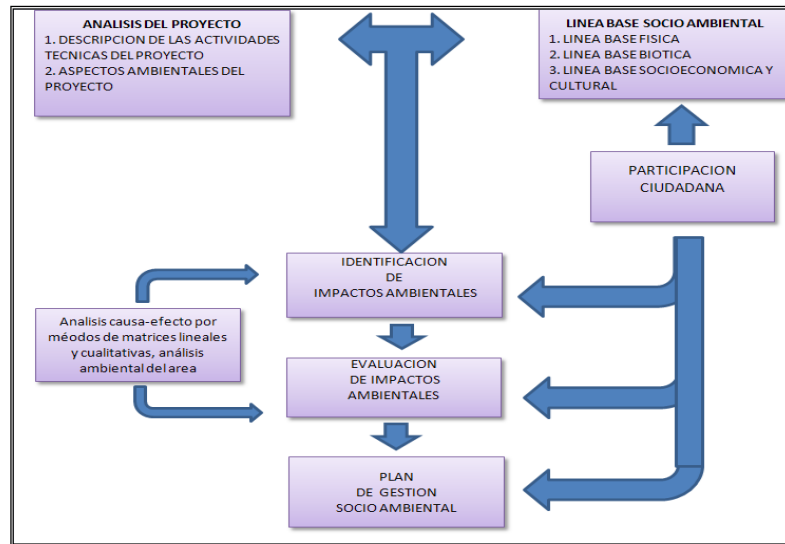


Figura N° 50 : Plan de Gestión Socio-Ambiental

## ANÁLISIS AMBIENTAL

El aprovechamiento de la energía del viento es una de las maneras más sostenibles y limpias de obtener electricidad puesto que no produce emisiones tóxicas o emisiones que contribuyan al calentamiento global. El viento es también abundante, inagotable, y una de las formas de energía renovable más rentable, lo que la convierte en una gran alternativa a gran escala a los combustibles fósiles.

A pesar de su inmenso potencial, hay una gran variedad de impactos medioambientales asociados con la generación de energía eólica que deben ser reconocidos para intentar mitigarlos lo más posible. ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

## Uso del suelo

El impacto sobre el uso del suelo de las instalaciones de energía eólica depende en gran medida del lugar de emplazamiento: los campos de aerogeneradores situados en áreas planas normalmente usan más terreno que aquellos situados en zonas altas, colinas o a pie de áreas escarpadas. Sin embargo, los aerogeneradores no ocupan todo el terreno. Deben

separarse aproximadamente entre 5 y 10 veces el diámetro de sus rotores (el diámetro de los rotores incluye las palas). Por ello, los aerogeneradores en sí y la infraestructura que acompaña (caminos de acceso, conexiones a la red eléctrica...) ocupan una pequeña zona del total de un parque eólico. Como media, se considera que en un parque eólico se requieren entre 4 y 20 ha por cada MW, aunque la superficie que ocupa un aerogenerador realmente es de tan sólo 0,43 ha/MW. El terreno que queda bajo los aerogeneradores podría emplearse para otros usos: agrícola, pastos para el ganado, comunicaciones terrestres, pistas de senderismo, etc. También podrían situarse en espacios industriales, lo que reduciría la preocupación por el uso del suelo en áreas de mayor interés natural. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

Los parques eólicos marinos requieren mayor superficie para trabajar, puesto que las turbinas y palas que usan son mayores que las de los aerogeneradores típicos de un parque eólico terrestre. Los parques eólicos marinos podrían ser compatibles con una gran variedad de actividades como la extracción de gas y petróleo, acuicultura, actividades recreativas, pesca, etc. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

Se requiere un buen estudio de planificación y situación para minimizar los impactos potenciales sobre el terreno y poder hacerlas compatibles en la medida que sea posible con otros usos. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **Impacto sobre la fauna y los hábitats naturales**

El impacto de los aerogeneradores sobre la vida salvaje, sobretodo sobre la avifauna y los murciélagos, está ampliamente estudiado y documentado. Se han documentado muertes de aves y murciélagos no sólo por impactos directos sino por los cambios en la presión atmosférica provocados por el giro de las palas. También se producen alteraciones en sus hábitats. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

En cuanto a los murciélagos es de destacar que se ha comprobado que éstos son más activos con velocidades de viento bajas. Si tenemos en cuenta que la rentabilidad de los aerogeneradores aumenta conforme a la velocidad del viento, se podrían desconectar a bajas velocidades incidiendo muy positivamente sobre las poblaciones animales sin grandes penalizaciones de índole económico. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

Los parques eólicos marinos también tienen un efecto similar sobre las poblaciones de aves marinas. Se cree de igual forma que el impacto es bajo. Por el contrario, sobre poblaciones piscícolas podrían tener un impacto positivo, ya que las torres actuarían como refugios o arrecifes artificiales. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **Impacto visual y acústico**

El impacto visual y acústico son también una de las mayores preocupaciones de la gente sobre la instalación de aerogeneradores.

El ruido que ocasionan los aerogeneradores es debido precisamente al movimiento de las palas en el aire. También hay un cierto ruido proveniente de las partes mecánicas de la turbina. Que ese ruido sea más o menos notable dependerá del diseño de cada aerogenerador y de la velocidad del viento. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

Al objeto de disminuir en lo posible el ruido generado por los aerogeneradores, se está investigando en la minimización de las imperfecciones de la superficie de las palas de los rotores y en el uso de materiales que absorban el ruido por sí mismos. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

Respecto al impacto visual, los aerogeneradores generan opiniones diversas. Para mucha gente, son elementos gráciles que son dignos de ser admirados, por su tecnología y por el beneficio “verde” que aportan. Para

otros, son en cambio, aberraciones del ser humano que daña irremediablemente el paisaje. Obviamente, en tanto se pretendan instalar en zonas de especial protección natural o belleza, la balanza quedará desplazada más en el segundo sentido que en el primero. De ahí que sea de nuevo muy necesario una buena planificación y justificación del emplazamiento. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **Emisiones a la atmósfera durante el ciclo de vida de un aerogenerador**

Aunque en pleno funcionamiento un parque eólico no genera emisiones de efecto invernadero a la atmósfera, se producen emisiones en otras etapas del ciclo productivo de un aerogenerador, por ejemplo, en la fabricación, transporte de materiales, construcción, mantenimiento y desinstalación.

Sin embargo, en el cómputo global de emisiones se considera que éstas son muy inferiores a las producidas por generación de energía a partir del gas o petróleo, por lo que sigue siendo una fuente de energía mucho más limpia y alternativa a los combustibles fósiles.

#### **1. Fase de planificación y diseño**

A partir de la fase de concepción del aerogenerador se tienen en cuenta algunos aspectos que pueden causar efectos importantes durante la fase de explotación u operación. Uno de los efectos negativos que producen los aerogeneradores es el ruido que hacen cuando están en funcionamiento, por eso, se tienen que buscar diseños de palas y elementos mecánicos de transmisión que no produzcan mucho ruido.

Dentro de esta fase, se ha de buscar un emplazamiento óptimo tal que no genere un impacto visual ni un impacto derivado de las sombras que produce el aerogenerador así como que respete la avifauna existente en la zona. Es obvio que obtener un impacto nulo es imposible, así pues se buscarán emplazamientos donde éste sea mínimo. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

## **2. Fase de construcción**

Durante la etapa de construcción existe un impacto considerable sobre la flora de la zona donde se vaya a instalar debido a movimientos de tierra, cimentaciones, accesos, caminos, etc. En el caso de un aerogenerador de baja potencia las consecuencias de su instalación serán mínimas aun así es conveniente una vez realizada la instalación dejar el terreno lo más parecido posible al entorno natural. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

## **3. Fase de operación**

Es una de las etapas más importantes en cuanto a impacto medio ambiental se refiere, ya que se tienen que considerar diversos aspectos, tales como la avifauna, el impacto visual, el impacto derivado del ruido y el impacto de la sombra que produce el aerogenerador. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **3.1. Avifauna**

Existen casos puntuales de colisiones de aves con turbinas eólicas, aun así se debe tener en cuenta las rutas de migración y zonas peculiares con alto número de especies sensibles o en peligro de extinción. De todas formas al tratarse de un aerogenerador de tamaño pequeño los efectos sobre las aves son mínimos.(ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **3.2. Impacto Visual**

Cabe destacar la dificultad de evaluación del impacto visual, ya que si es verdad que los aerogeneradores atraen la atención, no es menos cierto que la reacción que provoca en los observadores es subjetiva y difícil de cuantificar. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)



### **3.3. Impacto derivado del ruido**

El ruido que hacen los aerogeneradores durante su funcionamiento puede clasificarse en dos tipos en función de la naturaleza de su fuente: ruido mecánico procedente del generador, caja multiplicadores y elementos de transmisión y ruido aerodinámico producido por el movimiento de las palas. El ruido mecánico se puede reducir mejorando los diseños. En cambio el ruido aerodinámico depende del número de palas, de la formas de las mismas y de las turbulencias locales. Al aumentar la velocidad del viento, aumenta la velocidad de rotación y por tanto el ruido se intensifica, por lo que se recomienda diseños en los que la velocidad del rotor no sea excesiva. A pesar de estas recomendaciones de cara a disminuir este efecto, es importante asegurar que el aerogenerador no supere los límites permisibles de ruido. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

### **3.4. Impacto derivado de las sombras**

Los aerogeneradores, al igual que el resto de estructuras altas, proyectan sombra en las áreas vecinas cuando el Sol esta visible. Si existen personas que vivan cerca de la turbina pueden verse molestados si las palas del rotor cortan la luz solar, causando un efecto de parpadeo cuando el rotor está en movimiento. Si se conoce la zona donde el potencial efecto de parpadeo va a tener un determinado tamaño, se es capaz de situar las turbinas de forma que se evite cualquier molestia para los vecinos. (ENERSAC. *Energías Renovables. Energía Eólica*. España. 2016)

#### 4.13. ANÁLISIS ECONÓMICO

Estudiamos todos los aspectos económicos del proyecto para verificar que sea viable desde el punto de vista económico. Primero estimamos el presupuesto del proyecto y a partir de éste se estudia la rentabilidad de la inversión y el período de retorno de la inversión.

##### 1. Presupuesto de para suministro e instalación molino de viento

En la Tabla N° 18; se muestra una estimación de la inversión del proyecto que comprende: materiales, mano de obra, equipo e Instalación.

Tabla N° 18 : Presupuesto del Proyecto para un Molino de viento ( Soles ) (S/.)

Descripción componentes del Molino de Viento	Costo Unitario	Costo Instalación	Costo Total
Alternador	1,500.00		
Batería	1,000.00		
Inversor	750.00		
Rectificador	750.00		
Rodamiento rígido de bolas de contacto angular 7211 B	200.00		
Rodamiento rígido de bolas de contacto angular 7214 B	200.00		
Dos rodamientos rígidos de bolas	200.00		
Dos engrasadores	100.00		
Anillos tuercas, arandelas, juntas, etc.	150.00		
Gondola	4,000.00		
Palas	1,000.00		
Torre	1500.00		
<b>SUMINISTRO E INSTALACION</b>	<b>11,350.00</b>	<b>2,000.00</b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>13,350.00</b>

El Costo para suministro e instalación de un molino de viento = 13,350.00 Soles

a.- Para la implementación de 4 molinos de viento será

$$\text{S/} 13,350.00 \times 4 \text{ molinos} = 53,400.00$$

b.- Costos para el mantenimiento durante un año para los 4 molinos de viento .

$$\text{S/} 500.00 / \text{mensual} \times 12 \text{ meses} = \text{S/} 6,000.00 \text{ al año}$$

**c.- Costo de los 4 molinos de Viento instalados y con mantenimiento durante 4 años .**

$$\text{S/. } 53,400.00 + \text{S/. } 6,000 \times 4 \text{ años} = \text{S/. } 77,400.00$$

Teniendo en cuenta que el precio de Kwh establecido por ley está alrededor de 0.55 /kW·h se deduce que el costo de generar 1 kW·h mediante energía eólica es más barato , en razón que se ha calculado para 6,000 conexiones de alcantarillado :

$$\text{S/. } 77,400.00 / 6,000 \text{ conexiones} = \text{S/. } 12.9 \text{ por cada conexión}$$

Cabe indicar que actualmente en la facturación existente de alcantarillado en Puerto Malabrigo es S/. 52.30 que es mucho mayor al calculado.

## CAPITULO V DISCUSIÓN

### 5.1. Estudio de Viento

El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual. En ausencia de mezcla inducida por el viento, la población de algas tiende a estratificarse en banda estrecha, de unos 20 cm de ancho, durante las horas de luz del día. Esta banda concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo en la capa superior, de 50 cm de espesor.

En la Figura N° 39 ; el parámetro  $k$ , en Puerto Malabrigo  $k = 3.38$  compete a la curva de distribución Normal o Gaussiana; los valores determinados son dinámicos en el tiempo y pueden variar de acuerdo al régimen del viento, y es improbable obtener valores menores que los hallados por los registros que se cuenta, estos resultados muestran buen potencial eólico de la región

Los valores medios de la mediana de la velocidad de viento a 2 y 10 m de altura corresponden a 2 Beaufort y a 3 Beaufort en el caso de la velocidad a 50 m en la escala Beaufort.,pero con la verificación en la central eólica de Puerto Malabrigo , la velocidad promedio a 10 metros de altura en la Ciudad de Malabrigo es 7 metros/segundo.

Algunos de los indicadores muestran dependencia creciente con la altura Como son la media, la mediana, la desviación estándar o el rango intercuartílico, en los que se observa un claro crecimiento al aumentar la altura, esta relación se comprobará posteriormente y se verá representada gráficamente.

Otros indicadores no muestran cambios de valor con la altura como es el caso de la asimetría robusta y la curtosis robusta, cuyos valores permanecen constantes.

En el caso del sesgo y la curtosis los valores son distintos para las diferentes alturas pero no parece existir ninguna relación de estos indicadores con la altura.

Se observa que el rango de variación de la asimetría robusta, que varía entre 0.03 y 0.30 es mucho menor que el del sesgo, entre 0.49 y 2.33, tratándose siempre de valores positivos correspondientes a distribuciones de datos sesgados hacia la izquierda.

Lo mismo ocurre con el rango de variación de la curtosis normal y la curtosis robusta, la primera entre -0.32 y 7.16 y la segunda entre 0.19 y 0.29.

## **5.2. Equipos para utilización de la energía eólica, para tratamiento de aguas residuales domiciliarias.**

El equipo necesario seleccionado es el Molino de viento, cuyo objetivo es obtención de energía mecánica, cuya categoría es de tener sistemas aislados o remotos, utilizando un tipo de rotor horizontal multipala, también usa rotor vertical Savonius , horizontal 1 a 3 palas , de tal manera que sería óptimo el bombeo permanente de aguas residuales en las lagunas de estabilización, que permitirá dicho movimiento de las aguas residuales llegar a un tratamiento con costos económicos por utilizar la energía eólica.

## **6.3. Equipos que pueden utilizar la energía eólica, para tratamiento aguas residuales domiciliarias.**

En La Tabla N°15, sugerido por Power Guide, 1994: indica las posibilidades de uso de la energía eólica, con base a valores

promedios de velocidad de viento anual a 10 metros de altura y teniendo la Ciudad de Puerto Malabrigo una velocidad promedio anual de más de 6 m/s, entonces es viable para aerobombeo, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica.

Así mismo en la tabla N° 16 ; según Gipe, P. 2016. Indica las características de los rotores eólicos más utilizados; pero en nuestro trabajo de investigación seleccionamos el Molino con el rotor de eje vertical; tipos Savonius y Darrieus ; cuyas características son apropiadas para la realidad y necesidad del tratamiento de aguas residuales en Puerto Malabrigo.

#### **6.4. Propuesta sistema eólico para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en Puerto Malabrigo.**

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire, la cual se transforma en energía mecánica mediante los aerogeneradores (MOLINO DE VIENTOS), lo cual permite que los molinos de viento bombeen el agua residual de una laguna de estabilización a otra laguna de estabilización y luego a otra laguna de estabilización, permitiendo que el agua residual domiciliar que se encuentra en las lagunas de estabilización no están en estado de reposo y ocurre los tratamientos correspondientes.

#### **6.5. Evaluación de Impacto ambiental (EIA)**

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir e rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales

térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación, etc... Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación, etc

#### **6.6. Estado actual de lagunas de estabilización y del sistema de tratamiento de las aguas residuales domiciliarias de Puerto Malabrigo.**

SEDALIB S.A. administra los servicios de saneamiento en 3 localidades : Puerto Malabrigo, Chocope y Pajjan y lo hace a través de un área administrativa denominada ZONA NORTE.

Puerto Malabrigo, capital del Distrito de Razuri; ubicada en la costa norte del Perú, a una altitud de 10 msnm .La mayor parte del terreno tiene topografía llana con pendientes no mayores a 3%.La cobertura de agua potable es de 97.91 % y del alcantarillado 88.60 %.

**El Sistema de Alcantarillado** cuenta con 12,3 km de redes colectores principales y secundarias. a. Interceptores y emisores .El emisor conduce las aguas servidas a la cámara de bombeo, habiendo sido renovado por la calle Leoncio Prado, con tubería de PVC y 350 mm de diámetro.

La Línea de Impulsión de Aguas Servidas, Son las líneas que salen de las estaciones de bombeo de aguas servidas y van hacia la unidad de tratamiento. En esta localidad se cuenta con una línea de impulsión instalada por la Municipalidad de Rázuri en el año 2005 para conducir las aguas residuales hacia unas pozas de tratamiento

de desagües. La Municipalidad amplió dicha línea en un tramo de 83 m.

La Estación de bombeo de aguas servidas La cámara se ubica en la parte más baja de la ciudad y fue renovada el año 2010. Esta cámara tiene dos motores eléctricos con una potencia de 25 HP y las bombas cuentan con un motor diesel de 37 HP, la tubería de descarga del árbol de salida es de 6".

El Tratamiento de Aguas Servidas es mediante RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) construido en el 2010, y el tratamiento secundario es mediante un biofiltro aireado que no funciona, el personal no cuenta con manual de operación. El caudal de tratamiento es **8,5 lps**. El agua servida tratada es evacuada y dispuesta en terrenos eriazos y humedales que se ubicados a un costado de las lagunas de estabilización de Puerto Malabrigo.

#### 6.7. Análisis económico

El costo de un molino de viento calculado e indicado en la tabla N° 18 es 13,350 soles que comprende suministro e instalación, en consecuencia los 4 molinos de viento costaran 53,400 soles que comprende suministro e instalación de 4 molinos de viento, al cual debemos incrementar el costo de mantenimiento, como se indica a continuación, haciendo un costo total de **S/. 77,400.00**

SUMINISTRO, INST. DE 4 MOLINOS DE VIENTO ( S/.)	MANTENIM. 1ER AÑO (12 MESES)	MANTENIM. 2DO AÑO (12 MESES)	MANTENIM. 3ER AÑO (12 MESES)	MANTENIM. 4TO AÑO (12 MESES)	TOTAL (SOLES)
53,400.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	<b>77,400.00</b>

Si hacemos una comparación con la energía eléctrica, OSINERGMIN , ha establecido la tarifa que el costo por KWh es S/. 0.55; por lo que si consideramos este costo que pagaría una familia



por la energía eléctrica durante 4 años y durante las 24 horas obtenemos un costo total de:

**A.- En el caso de una familia en su recibo de luz (Hidrandina)**

**S/. 0.55 /KWH x 24 horas x 365 días/año x 4 años x 1.35 kwh = 26,017.20**

**B.- El gasto de 6,000 familias de Puerto Malabrigo sería:**

**S/. 26,017.20 x 6,000 familias = S/. 156,103.20**

**C.- Comparación de la energía eólica con la Energía eléctrica**

**156,103.20 / 77,400 = 2.02 ( 200 % )**

**La energía eléctrica es más cara y contamina más al ambiente.**

Lo que se puede concluir que la energía eólica es más barata y no contamina al ambiente.

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES**

Realizada la investigación podemos concluir lo siguiente:

### **6.1. Estudio del Viento**

1.- Para el estudio del Viento en el Puerto de Malabrido, la velocidad promedio del viento durante 21 años desde 1996 hasta la actualidad 2017, es de 7 m/s; proporcionada por la central eólica existente en la indicada Ciudad de Puerto Malabrido y obtenida según el Instituto de Ciencias Nucleares (INEA), el perfil de velocidades, para una buena aproximación en terreno plano, libre de obstáculos se puede utilizar el parámetro a equivalente a 0.14 . Como se indica en la tabla N° 14 ; garantizándose que el viento o energía eólica en el Puerto de Malabrido existe en cantidad suficiente y en forma continúa

### **6.2. Equipos para utilizar energía eólica, para tratamiento aguas residuales domiciliarias .**

1.- Los equipos necesarios para transformar energía eólica en energía mecánica son los siguientes

#### **A. Por su potencia nominal.**

- Baja Potencia < 3 KW (equivalente eléctrico).
- Media Potencia < 30 kW (equivalente eléctrico).
- Alta potencia >100 kW (equivalente eléctrico).

#### **B.Por la orientación del rotor.**

- Eje vertical.
- Eje horizontal.

#### **C.Por el mecanismo de regulación de potencia.**

- De paso variable.
- Vasculación del rotor.
- Pérdida aerodinámica de la pala.

#### **D.Por el tipo de generador eléctrico.**

- Generador de corriente continúa.

- Generador de corriente alterna (síncrono y asíncrono).

#### **E. Por el número y tipología de palas.**

- Bipalas.
- Tripalas.
- Multipalas.

2.- Las máquinas eólicas son la de eje horizontal y las de eje vertical, es la clasificación más común y difundida. Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión.

#### **6.3. Equipos para utilizar energía la energía eólica para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en Puerto Malabrigo**

1.- Los Equipos necesarios para transmitir Energía Eólica, para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo, son cuatro (4) molinos de Viento, con tipo de Rotor Savonius y Darrieus , 2 a 4 palas y como se indica en la tabla N° 16 ; que permitirán transformar la energía eólica en energía mecánica, para usar en el bombeo del agua residual domiciliar de una laguna de estabilización a otra laguna de estabilización, en forma ininterrumpida y en el menor tiempo que las aguas residuales este en continuo movimiento.

2.- El caudal del agua residual domiciliar de la Ciudad de Puerto Malabrigo, para su respectivo tratamiento es 8.5 litros por segundo, por lo se propone la instalación de 4 molinos de viento, distribuidos en las dos lagunas de estabilización, de tal manera que el viento (Energía Eólica ) es transformada en energía mecánica y permite que bombeen el agua residual en forma permanente de una laguna de estabilización a la otra laguna de estabilización, de tal manera que exista un tratamiento de aguas residuales domiciliarias, como se indica en la Figura N° 49 y en la tabla N° 17.

3.- El tipo de Rotor del Molino de viento será Horizontal Multipala, Vertical Savonius, Horizontal 1 á 3 palas; categoría Sistema aislado y remotos, conforme se indica de color celeste en la tabla N°17 .

#### **6.4. Propuesta de un sistema eólico para tratamiento de aguas residuales domiciliarias en Puerto de Malabrigo.**

1.- se propone la instalación de 4 molinos de viento, distribuidos en las dos lagunas de estabilización, de tal manera que el viento (Energía Eólica) es transformada en energía mecánica, para que los molinos de viento bombeen el agua residual en forma permanente de una laguna de estabilización a la otra laguna de estabilización, de tal manera que exista un tratamiento de aguas residuales domiciliarias, como se indica en la Figura N° 49.

#### **6.5. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA).**

1.- La energía eólica no crea ningún contaminante que incida sobre el medio ambiente, supone un procedimiento muy favorable por ser limpio.

2.-La energía eólica **no produce** ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad a partir del viento **no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida.** No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes. Cada KW/H de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita: **0,60 Kg. de CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono ; 1,33 gr. de SO<sub>2</sub>, dióxido de azufre y 1,67 gr. de NO<sub>x</sub>, óxido de nitrógeno, como concluye el** Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Viceministerio de ambiente, dirección de desarrollo sectorial sostenible. Colombia (2010).

## **6.6. Estado Actual de Lagunas de estabilización**

1.- El Tratamiento de aguas residuales domiciliarias en Puerto Malabrigo es mediante un RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) construido en el 2010, y el tratamiento secundario es mediante un biofiltro que **no funciona**, el personal no cuenta con manual de operación. El caudal de tratamiento es 8,5 litros por segundo.

2.- Actualmente se realiza un tratamiento de las aguas residuales en un 40% y no existe un manual de mantenimiento y operacionalización en los equipos y en las lagunas de estabilización.

## **6.7. Análisis Económico**

1.- El costo de generación de 1 kW·h es menor comparándolo con el que ofrecen las compañías eléctricas, en nuestro país mediante la Comisión de tarifas (GART-OSINERGMIN ) De hecho, la energía eólica (parques eólicos) puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón, las centrales de combustible .

2.- El Costo del proyecto para la implementación de la propuesta para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en Puerto Malabrigo con 4 Molinos de viento, será el costo de 53,400.00 soles, que comprende Suministro e Instalación como se indica en la tabla N° 18.

3.-El período de retorno de la inversión es a los 4 años y dado que la vida útil del Molino de viento ( aerogenerador) es 11 años, entonces se generarán beneficios en 7 años restantes en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, significando un ahorro de la factura mensual si se utilizara la electricidad.

## **CAPITULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

- 1.-** Contar con dos operadores a tiempo completo durante el día para realizar las tareas de toma de datos, operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización de la Ciudad de Puerto Malabrigo , coordinando actividades que permitan el monitoreo y evaluación del sistema.
- 2.-** Se recomienda, hacer énfasis, en los beneficios económicos, sociales, técnicos, que se producen cuando se realizan actividades de mantenimiento y conservación sanitaria, en las lagunas de estabilización, redes de alcantarillado y en los dos equipos Molinos de viento a instalarse principalmente a SEDALIB y a la Municipalidad Distrital de Razuri.
- 3.-** Se recomienda que las Entidades inviertan en la complementación de un Sistema Integral de Gestión sanitaria del sistema de aguas residuales domiciliarias en la Ciudad de Puerto Malabrigo.
- 4.-** Se debe hacer Previsión permanente de evaluación, en la etapa de implementación y operación, dado que se requerirá de evaluaciones permanentes y ajustes periódicos, por lo menos cada año, tanto en operaciones de campo como de oficina, dado que el sistema de aguas residuales domiciliarias , se basa en proyecciones que están sujetas al aumento poblacional, debido las condicionantes climáticas y de turismo.
- 5.-** El Gobierno Regional y Gobierno Local deben Identificar actividades y proyectos de aprovechamiento de la energía eólica en la Ciudad de Malabrigo en beneficio de la educación, salud y turismo.



**Fotografía N° 12 : Vista de Tesista en la entrada de la Central Eólica**



**Fotografía N° 13 : Vista de Tesista con los Molinos de Viento en la Central Eólica**



**Fotografía N° 14 : Vista de Tesista calculando la velocidad del viento en la Central Eólica**



**Fotografía N° 15 : Vista de Tesista calculando la velocidad del viento en la Central Eólica**



## **CAPITULO VIII**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- ADINELSA. GERENCIA DE COMERCIALIZACION Y SISTEMAS ( 2017). Informe técnico Central de Malabrigo.Malabrigo. La Libertad.
- ALAVI, O., MOHAMMADI, K., MOSTAFAEIPOUR A. (2016).Evaluating the suitability of wind speed probability distribution models: A case of study of east and southeast parts of Iran .Energy Conversion and Management, 119, pp.
- ALVARO PINILLA S.(2003). Manual Aplicación Energía Eolica. Instituto de ciencias nucleares y Energía Alternativas. INEA. Colombia.
- ATLAS EÓLICO DEL PAÍS VASCO . 1981 y 1993.
- BARBEITO ANZORENA, E. (2004). Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS. Editorial CEPIS. Lima. Perú.
- BEYCHOK, M. R.(1994). Fundamentals of gas Stack dispersion .
- CADIZ DELEITO,J. & CABRERO, J. (2014). La Energia Eolica Tecnologia e Historia. Editorial Blume, Madrid, España.
- CARRASCO-DÍAZ, M., RIVAS, D., OROZCO-CONTRERAS, M., SÁNCHEZ-MONTANTE, O. (2015). An assessment of wind power potential along the coast of Tamaulipas, northeastern Mexico .Renewable Energy, 78, pp. 295-305.
- CORDOVA VILLAR , R. ( 2011). Guía para la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación y estabilización. Gobierno Regional Junín.
- DEL ANGEL RAMOS, J. A., SARMIENTO SERA, A.(2004). Utilización de la escala beaufort en la determinación del potencial eólico. Ingeniería Energética, 25(1), pp. 13-17
- ENERSAC. (2016). Energias Renovables.Energia Eolica.España
- GARY L. JOHNSON. (2001).Wind Energy Systems. Manhattan, KS, electronic edition number six. USA.

- GIPE, P. (2016). Wind Power for Home & Business.USA.
  
- HERNÁNDEZ ROBERTO (2014). Metodología de la Investigación. Edit. McGraw Hill. México. 474p.
  
- HERRERO NOVOA,CRISTINA (2015). Estudio de la Velocidad del Viento: Análisis Espacial y ajuste a una función de distribución.Valladolid. España.
  
- HUNT V. DANIEL. ( 2014). Wind Power .Van Nostrand Reinhold .USA .
  
- JOBBER (2014). Características Técnicas para la Implementación de Molinos de Viento para bombeo de agua. Editorial Atenas. Colombia.545 pp.
  
- MERIDA, M. PEREZ, B. LOBON, R. y FROLONA, M (2009). Hacia la Caracterización de Paisaje de Energías Renovables. Editorial Nuevo Mundo .España. 258 pp.
  
- METEROLOGICAL ASPECTS OF THE UTILIZATION OF WIND AS AN ENERGY SOURCE. ( 1981). NOTA TÉCNICA NO. 175 .
  
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS DEL PERU. (2016).Atlas Eólico del Perú. .Implementación del Sistema Digital para Evaluación Preliminar del Potencial de Recurso Eólico – VIENTOGIS.
  
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL VICEMINISTERIO DE AMBIENTE DIRECCIÓN DE DESARROLLO SECTORIAL SOSTENIBLE. COLOMBIA (2010). Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.
  
- OPS. COSUDE. (2006). Criterios básicos para la implementación de sistemas de agua y saneamiento en los ámbitos rural y de pequeñas ciudades. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Editorial CEPIS. Lima. Perú. 543 pp.
  
- PANER, Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (2012), Informe técnico, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España

- PÉREZ, I. A., SÁNCHEZ, M. L., GARCÍA, M. Á.,(2007). Weibull wind speed distribution: Numerical considerations and use with sodar data Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 112(D20).
- PÉREZ, I. A., GARCÍA, M. A., SÁNCHEZ, M. L., DE TORRE, B (2004). Analysis of height variations of sodar-derived wind speeds in Northern Spain. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 92(10), pp. 875-894
- PÉREZ, I. A., GARCÍA, M. A., SÁNCHEZ, M. L., DE TORRE, B. (2005) Analysis and parameterisation of wind profiles in the low atmosphere. Solar Energy, 78(6), pp. 809-821
- PÉREZ, I. A., SÁNCHEZ, M. L., GARCÍA, M. Á., DE TORRE, B.(2008). Description and distribution fitting of transformed sodar wind observations Journal of Atmospheric and SolarTerrestrial Physics, 70(1), pp. 89-100.
- QUAMMI, A., DAGDOUGUI, H., SACILE, R.,(2010). Mimet, A. Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy) Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (7), pp.
- RENOVABLES VERDES (2017). <https://www.renovablesverdes.com/molino-de-viento>.
- Reglamento para optar el título profesional de Ingeniero Civil mediante la modalidad de presentación y aprobación de una tesis.2016. Edit. UPAO. Trujillo.
- REHMAN, S., AHMAD (2004). A. Assessment of wind energy potential for coastal locations of the Kingdom of Saudi Arabia .Energy, 29 (8), pp. 1105-111
- RIVAS GALARRETA ENRIQUE. 1998. Diseño de la Investigación Científica. Edit. UPAO. Trujillo.
- ROLIM (2000). Lagunas de Estabilización. Editorial Limusa. México. 135 pp.
- ROMERO (2013). Tratamiento de aguas residuales. Editorial América. Colombia. 345 pp.

- SANTOS-ALAMILLOS, F.J., THOMAIDIS, N.S., QUESADA-RUIZ, S., RUIZ-ARIAS, J.A., POZO VÁZQUEZ, D. (2016). Do current wind farms in Spain take maximum advantage of spatiotemporal balancing of the wind resource? *Renewable Energy*, 96, pp. 574-582

-WEIBULL, W. A (1951).Statistical Distribution Function of Wide Applicability *Journal of Applied Mechanics, Transactions of the American Society Of Mechanical Engineers.* pp. 293-297

-WILKS, D. S.(2006) *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Second Edition, Elsevier Inc. chapter 3