

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
E.A.P. DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE DE UNA
VELA CUADRADA**

TESISTA

GILMER YACSSON ROJAS CHAVEZ

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

ASESOR

ING. EVER OSORIO FLORES

HUÁNUCO – PERU

2017



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE
ARRASTRE DE UNA VELA CUADRADA**

Tesista: GILMER YACSSON ROJAS CHAVEZ

Para optar el título profesional de ingeniero civil

Huánuco – Perú

2017

DEDICATORIA

- A Dios, por guiar mi vida por buenos caminos.
- A mi padre y a mi madre, por sus apoyos constantes.

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la magnitud de la fuerza real y fuerza teórica del viento en una vela cuadrada de tamaños establecidos: 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm, 120cm y 140cm de lado, expuestas a velocidades de viento desde 2.3m/s hasta 15.5m/s.

Mediante procedimientos algebraicos, división de la fuerza real y la fuerza teórica, se determinó el coeficiente de arrastre de las velas cuadradas.

Para encontrar la fuerza real se realizó el experimento en un campo abierto, mayor a 25m del suelo, con un equipo que permite registrar tanto la velocidad del viento y la magnitud de la fuerza real en un tiempo instantáneo.

La validación del equipo se realizó mediante análisis no paramétrico (Chi cuadrado o χ^2) a los datos cuantitativos, también se analizó mediante análisis paramétrico (coeficiente de correlación de Pearson) a la relación entre fuerza teórica y fuerza real.

La prueba de hipótesis se realizó mediante análisis no paramétrico (ANOVA y coeficiente de correlación de Pearson) a la relación entre fuerza teórica y fuerza real.

Para finalizar, se obtuvo en la presente investigación el siguiente resultado: El coeficiente de arrastre medido de las velas cuadradas propuestas es **1.343 3/4** y está en el rango de 1.18 a 1.4.

INDICE

DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	4
INDICE.....	5
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS.....	11
INTRODUCCION.....	13
CAPITULO I.....	15
1 MARCO TEORICO.....	15
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Fundamentación.....	18
1.3 Investigación bibliográfica.....	33
1.3.1 Fuerza de arrastre de fluido.....	33
1.3.2 Coeficiente de arrastre.....	38
1.3.3 Términos básicos.....	38
1.4 Hipótesis General y Específico.....	45
1.4.1 Hipótesis general.	45
1.4.2 Hipótesis específicos.	45

1.5. Sistema de Variables.....	45
1.5.1 Variable independiente.	45
1.5.2 Variable dependiente.	45
1.6. Indicadores.....	46
1.6.1 Indicador de variable independiente.....	46
1.6.2 Indicador de variable dependiente.....	44
1.7 Objetivos.....	46
1.7.1 Objetivos generales.	46
1.7.2 Objetivos específicos.	46
1.8 Población y Muestra.....	47
CAPITULO II.....	48
2 MARCO METODOLOGICO.....	48
2.1 Método de investigación.....	49
2.2 Diseño de la Investigación.....	49
2.3 Operacionalización de variables.....	49
2.4 Lugar de investigación.....	49
2.5 Aplicación práctica.....	50
2.6 Equipos y herramientas.....	50
2.7 Experimentación para validación.....	55
2.8 Ejecución de la experimentación.....	56
2.9 Datos obtenidos.....	58

CAPITULO III.....	70
3 DISCUSION DE RESULTADOS.....	70
3.1 Pruebas estadísticas para el análisis de datos cuantitativos.....	71
3.1.1. Prueba no paramétrica Chi cuadrada: prueba de bondad.....	71
3.1.2. Prueba paramétrica coeficiente de correlación de Pearson.....	71
3.1.3. Prueba paramétrica ANOVA (análisis de la varianza).....	72
3.2 Análisis estadístico e Interpretación de datos obtenidos.....	74
3.2.1. Interpretación del análisis estadístico.....	88
CONCLUSIONES.....	90
DECLARACION JURADA SIN CONFLICTO DE INTERESES.....	91
SUGERENCIAS.....	93
LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION.....	94
REFERENCIA S BIBLIOGRAFIA.....	95
ANEXOS.....	97

ANEXO A: Plano ecológico de la cuenca del alto Huallaga.

ANEXO B: Cuadro de cálculo de la descarga media multianual.

ANEXO C: Planos de ubicación, detalles de equipos y turbina eólica.

ANEXO D: Ficha técnica de instrumentos de medición.

ANEXO E: Fotografía de datos digitales de placa 100cmx100cm.

ANEXO F: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 20cmx20cm

ANEXO G: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 40cmx40cm

ANEXO H: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 60cmx60cm

ANEXO I: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 80cmx80cm

ANEXO J: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 100cmx100cm

ANEXO K: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 120cmx120cm

ANEXO L: Fotografía de datos digitales de vela cuadrada 140cmx140cm

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama de un cuerpo sumergido en un fluido.....	16
Figura 1.2: Medios de transporte marítimo y terrestre en la antigüedad.....	17
Figura 1.3: Aerogeneradores de eje horizontal.....	20
Figura 1.4: Detalle del rotor Savonius	22
Figura 1.5: Aerogenerador vertical Darrieus.....	23
Figura 1.6: Aerogenerador Vertical Windside.....	24
Figura 1.7: Prototipo Giromill.....	25
Figura 1.8: Límite de coeficiente de potencia.....	25
Figura 1.9: Aerogenerador vertical con velas	27
Figura 1.10: Sistema para generación de energía eólica con velas.....	27
Figura 1.11: HAWT de 3 palas.....	29
Figura 1.12: VAWT Darrieus Giromill.....	29
Figura 1.13: VAWT Exawind.....	29
Figura 1.14: Turbina eólica diseñada	30
Figura 1.15: Comportamiento de los cuerpos sumergidos en un fluido.....	33
Figura 1.16: Vista frontal, perfil e isométrico de la deformación de la vela cuadra.....	37
Figura 2.1: Lugar de instalación del equipo para la experimentación.....	50
Figura 2.2: Equipo para la medición de la fuerza del viento	51

Figura 2.3: Disposición de equipos para su buen funcionamiento.....	51
Figura 2.4: Equipos de medición.....	53
Figura 2.5: Vista de la vela cuadrada sometido a fuerzas de viento.....	54
Figura 2.6: Herramientas usadas para el análisis y proceso de datos.....	54
Figura 2.7: Placa plana de 100cmx100cm para prueba de validación de equipo.....	55
Figura 2.8: Modelo de hoja Excel usado para el análisis de datos.....	56
Figura 2.9: Vela cuadrada de 20cmx20cm instalado en el lugar de experimentación.....	56
Figura 2.10: Vela cuadrada de 140cmx140cm instalado en el lugar de experimentación.....	57
Figura 3.1: Grafica de fuerza real vs fuerza teórico placa 100cmx100cm.	74
Figura 3.2: Tabla de distribución F.....	78
Figura 3.3: Grafico de la distribución F.....	79
Figura 3.4: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 20cmx20cm.	80
Figura 3.5: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 40cmx40cm.	79
Figura 3.6: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 60cmx60cm.	83
Figura 3.7: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 80cmx80cm.	85
Figura 3.8: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 100cmx100cm.	86
Figura 3.10: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 120cmx120cm.	87
Figura 3.10: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 140cmx140cm.	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Rendimiento de Turbinas Eólicas de Ejes Horizontales (HAWT).....	30
Tabla 1.2: Rendimiento de Turbinas Eólicas de Ejes Verticales (VAWT).....	31
Tabla 1.3: Presión atmosférica y densidad del aire.....	43
Tabla 1.4. Propiedades de una atmósfera estándar.....	43
Tabla 2.1. Datos obtenidos en placa cuadrada.	59
Tabla 2.2. Datos obtenidos en vela cuadrado de 20cm X 20cm.	60
Tabla 2.3. Datos obtenidos en vela cuadrado de 40cm X 40cm.....	61
Tabla 2.4. Datos obtenidos en vela cuadrado de 60cm X 60cm.....	63
Tabla 2.5. Datos obtenidos en vela cuadrado de 80cm X 80cm.....	65
Tabla 2.6. Datos obtenidos en vela cuadrado de 100cm X 100cm.....	67
Tabla 2.7. Datos obtenidos en vela cuadrado de 120cm X 120cm.....	68
Tabla 2.8. Datos obtenidos en vela cuadrado de 140cm X 140cm.....	70
Tabla 3.1. Correlación lineal entre dos variables.....	72
Tabla 3.2. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Placa plana 100cmx100cm.....	74
Tabla 3.3. Datos para prueba de bondad, chi cuadrado. Placa plana 100cmx100cm...75	
Tabla 3.4. Coeficientes de arrastre de las velas halladas en las pruebas.....	76
Tabla 3.5. Cuadrado de los coeficientes de arrastre de las velas.....	77
Tabla 3.6. Tabla del ANOVA.....	78

Tabla 3.7. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 20cmx20cm.....	79
Tabla 3.8. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 40cmx40cm.....	80
Tabla 3.9. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 60cmx60cm.....	82
Tabla 3.10. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 80cmx80cm.....	84
Tabla 3.11. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 100cmx100cm.....	85
Tabla 3.12. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 120cmx120cm.....	86
Tabla 3.13. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 140cmx140cm.....	87
Tabla 3.14: Prueba de correlación para las fuerzas de la placa y las velas.....	89
Tabla 3.15: prueba de chi cuadrado para los coeficientes de arrastre.....	89

INTRODUCCIÓN

En diversas aplicaciones de la mecánica de fluidos, surge un factor propio de la misma, el coeficiente de arrastre, el mismo que es dependiente de la forma del cuerpo sumergido en el fluido. Este coeficiente es de suma importancia para conocer el impulso de las velas en el mar, por lo que se busca contar con un cuerpo que tenga mayor coeficiente de arrastre. Por el contrario es un factor negativo en campos del automovilismo y la aeronáutica por lo que se busca reducir su efecto mediante cuerpos aerodinámicos.

La importancia de esta investigación radica en la búsqueda de avances tecnológicos en la ingeniería y conocer la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada que permitirá contar con ese dato indispensable para su uso; como en el diseño de mecanismos para captar la energía eólica, puesto que la magnitud de la potencia a extraer con velas depende de dicho parámetro, siendo las velas cuerpos con alto coeficiente de arrastre.

En el **capítulo I** se presenta las propiedades físicas de los factores de los que depende el valor numérico del coeficiente de arrastre.

Asimismo en este capítulo se menciona el proceso teórico seguido para conocer la relación matemática entre la fuerza de arrastre, densidad del viento, área del cuerpo y la velocidad del viento, relacionada por una constante que es el coeficiente de arrastre que es el mismo usado para conocer la potencia.

En el **capítulo II** se muestra el proceso seguido para la recopilación de datos experimentalmente para la determinación del coeficiente de arrastre, mediante un equipo compuesto por un dinamómetro digital, anemómetro digital de alta precisión, cronómetros, cámaras para grabar y principalmente por velas cuadradas de 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm, 120cm y 140cm de lado, en campo abierto mayor a 25m del suelo, en Cayhuaynita-Pilcomarca - Huánuco, con velocidades de viento de 2.3– 15.5m/s y para una zona ecológica **mte-PMT**.

En el **capítulo III** se discute los datos obtenidos, resultado del experimento consignados en tablas, mediante un proceso científico como la estadística, aceptando o rechazando la hipótesis y del cual se da la interpretación en las conclusiones y recomendaciones.

Los ensayos se realizaron en campo abierto mayor a 25m del suelo en Cayhuaynita-Pilcomarca-Huánuco, con velas desde 20cmx20cm hasta 140cmx140cm por la viabilidad de las pruebas y tratándose de fuerzas manejables para velocidades desde 2.3m/s hasta 15.5m/s.

El equipo para la experimentación fue diseñado tal que permita obtener lectura de la fuerza ocasionada por el viento en la vela cuadra.

La lectura de la fuerza se realizó con una balanza digital con precisión hasta 3 decimales.

La lectura de la velocidad del viento se obtiene mediante un anemómetro de copas de doble precisión.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes

El viento es el flujo de la masa de aire en la atmósfera, se produce por la compensación de las diferencias de presiones atmosféricas entre dos puntos; el viento es también agente: De transporte, erosivo, sedimentación y destructivo en caso de los tornados. [1.1] Para desarrollar los procesos descritos, confluyen una serie de factores como: Climatológicos, atmosféricos y físicos que generan fuerzas con intensidad variable en los vientos, en función a la magnitudes de la velocidad y masa alcanzada en un momento y espacio dado.

La fuerza de arrastre de un fluido como el viento, sobre un cuerpo sumergido, es una fuerza en la dirección del flujo del fluido; esta fuerza se origina por la diferencias de presiones (arrastre de forma) y de los esfuerzos de cizalla viscosa (arrastre viscoso). Según:

$$F_d = \frac{1}{2} C_p A_p \rho V^2 + \frac{1}{2} C_f A_f \rho V^2 \dots\dots\dots (1.1)$$

Fuerza de arrastre: Fuerza por diferencia de presión + Fuerza de fricción por viscosidad.

Dónde: A_p = Área frontal proyectada, A_f = Área de fricción, ρ = Densidad del fluido, V^2 = Cuadrado de la velocidad relativa entre el objeto y el fluido, C_p = Coeficiente de presión, que depende en gran medida, de la forma del cuerpo y que se halla por métodos experimentales, C_f : Coeficiente de fricción por la teoría de límite de capas. Además, C_p y C_f están en función del n.º de Reynolds (Re), del número de Mach (Ma) y del Número de Froude (Fr). En un flujo compresible, la velocidad del sonido es relevante. [1.2]

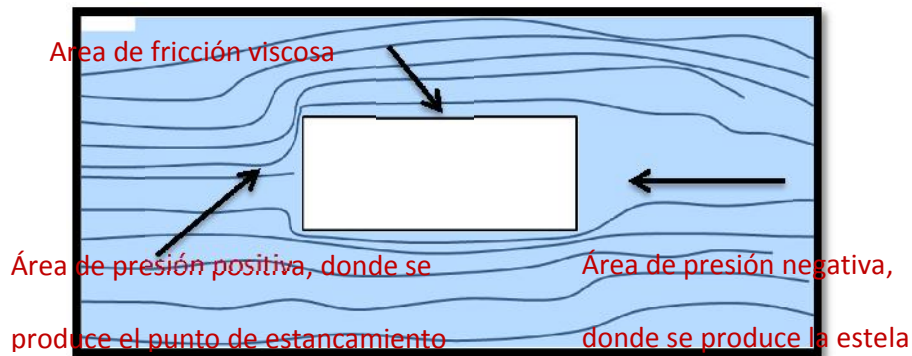


Figura 1.1: Diagrama de un cuerpo sumergido en un fluido. Fuente: Elaboración propia

La vela cuadra o cuadrada, aunque el nombre no tiene relación con su forma, ya que puede llegar ser incluso de forma trapezoidal, es una tela, que se usó y se sigue usando para dar propulsión a las embarcaciones, utilizando la fuerza del viento. Las velas se sujetan en las vergas, y estos a los mástiles, orientados en la dirección normal al rumbo del viento.

Los orígenes de estas velas, datan de las civilizaciones más antiguas del mundo, de probable aparición en el antiguo Egipto durante el periodo predinástico Egipto hacia los años 3200 a 2700 a.c. [1.3]

También, la vela es toda superficie de tela o lámina de material o plástico, que mediante cargas eólicas sobre ella, se utiliza para propulsar una embarcación en el mar. Otra de las atribuciones de su origen en el antiguo Egipto es, que se le atribuía su invención a la diosa Isis, que, cuando buscaba a su hijo, con el objeto de apresurar más el viaje, se le ocurrió elevar un palo en medio de la embarcación y poner en él un lienzo capaz de recibir el viento. [1.4]

Por los años 1950, los holandeses utilizaban vehículos terrestres impulsados por el viento a través de velas cuadradas, a modo de transporte o recreación. [1.5]

Las velas cuadradas son más eficientes en rumbos portantes. Los que han sido las más utilizadas en buques grandes que realizaban grandes travesías. [1.6]



(a)



(b)

Figura 1.2: Medios de transporte marítimo y terrestre en la antigüedad.

- a) La vela al tercio, sucesor de la vela cuadra (2016).
Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Land_sailing,
- b) Yate terrestre, por Simón Stevin. (2016)
Recuperado de: <http://bertan.gipuzkoakultura.net/23/caste/23.php>

Entonces, la fuerza del viento, cuya intensidad es dependiente de la forma del cuerpo, es más intensa en cuerpos como la vela, por la presión neta, en la dirección del flujo del viento, empleado para propulsar grandes embarcaciones y otros sistemas de aprovechamiento eólico.

1.2 Fundamentación

El poder del viento ha sido aprovechado en diversos campos de la ingeniería, por medio de variados sistemas para extraer su energía cinética y convertirla en energía eléctrica, pues uno de los mecanismos son los aerogeneradores; desarrollado con el propósito de minimizar la contaminación ambiental, buscando un desarrollo sostenible.

A continuación se describe los aerogeneradores más comunes, señalando sus virtudes y desventajas.

Aerogeneradores.

Son turbinas eólicas o de viento, últimamente conocidas como aerogeneradores, son máquinas de motor que aprovechan la energía eólica, gracias al movimiento del viento, que permite hacer girar un rotor. Las componentes principales de un aerogenerador, con el que se transforma la energía cinética del viento a energía mecánica de rotación, son: El rotor y las palas.

El rotor, es donde la energía cinética del viento se convierte en energía rotativa, está acoplado al eje de baja velocidad del generador.

Las palas del rotor, capturan la energía del viento y transmiten hacia el rotor. Las palas son de diferente dimensiones y formas según la potencia y tipo, tienen diseños aerodinámicos, como el ala del avión, la copa y recientemente se están desarrollando palas compuestas de velas, y todas construidas de material resistente y ligero.

En la actualidad se conocen dos principales tipos de aerogeneradores, según la orientación del eje del rotor, estos son: Generadores eólicos horizontales y generadores eólicos verticales.

Generadores Eólicos Horizontales.

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso y al flujo del viento. Hasta ahora, comercialmente, esta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia, confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias; con respecto a otros tipos.

Aerogenerador Horizontal Tripala, Bipala y Monopala

La mayoría de los aerogeneradores modernos tiene diseño tripala, con el rotor a barlovento, usando motores eléctricos en su mecanismo de orientación. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser de 200 KW.

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el costo de una pala, y por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual.

Las máquinas bipala y monopala requieren de un diseño más complejo, con un rotor basculante (buje oscilante), como el mostrado en la figura 1.3. Así pues el rotor está montado en el extremo de un eje perpendicular al eje principal, y que gira junto con el eje principal. Esta disposición puede necesitar de amortiguadores adicionales que eviten que las palas del rotor choquen contra la torre.

Estos diseños, monopala, existen, y de hecho, ahorran el costo de otra pala. Si algo puede ser construido, los ingenieros lo harán. Sin embargo, los aerogeneradores monopala no están muy extendidos comercialmente, pues los inconvenientes de los bipala también son

aplicables, e incluso en mayor medida, a las máquinas monopalas. Además de una mayor velocidad de giro, y de los problemas de ruido y de instrucción visual, necesitan un contrapeso en el lado del buje opuesto a la pala que equilibre el rotor.



(a)



(b)



(c)

Figura 1.3: Aerogeneradores de eje horizontal: (a) Aerogenerador horizontal tripala. Recuperado de: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/wp-content/uploads/2012/06/Aerogeneradores-de-eje-horizontal.jpg>, (b) Aerogenerador horizontal Bipala y Buje oscilante (2016) . Recuperado de: <http://static.naukas.com/media/2010/10/Modelo-bipala-Mod-5B.jpg>, (c) Aerogenerador horizontal Monopala y contrapeso (2016). Recuperado de: http://static.naukas.com/media/2010/10/Mod-0_Versi+%C2%A6n-monopala.jpg.

Desventajas de las turbinas de ejes horizontales.

Las turbinas horizontales tienen problemas para funcionar cerca del suelo, debido a las turbulencias.

Las torres altas y las palas largas son difíciles de transportar. El transporte puede costar un 20% del costo de equipamiento.

Las turbinas altas son difíciles de instalar y necesitan grúas poderosas y operadores hábiles.

Las turbinas altas pueden afectar los radares de los aeropuertos.

Presentan impacto visual en el entorno, y con frecuencia suscitan reclamaciones por afectamiento del paisaje y la fauna.

Exigen un control cuidadoso, de lo contrario, son propensas a la fatiga del material y los daños estructurales.

Tienen que orientarse hacia el viento. [1.7]

Generadores eólicos verticales.

Son aquellos, en los que el eje de rotación del equipo se encuentra perpendicular al piso.

Consideraciones Técnicas.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento y por ello se les llama omnidireccional. No precisan dispositivos de orientación; trabajan por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento.

Esta diferencia de resistencia al viento hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección específica. A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con vientos de baja velocidad donde difícilmente superan las 200 (RPM). En estricto rigor no necesitan de una torre. Generalmente se caracterizan por tener altos torques de partida.

Otra particularidad de estos aerogeneradores es que son mucho más fáciles de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran a nivel del suelo.

La velocidad del viento crece de forma importante con la altura, con lo que estos aerogeneradores han sido desplazados por los de eje horizontal. De todas formas, colocar un aerogenerador a más altura mediante una torre implica incurrir en costos adicionales ligados a la seguridad del soporte del aerogenerador.

Aerogenerador vertical Savonius.

Las turbinas Savonius son un tipo de turbinas usadas para convertir el poder del viento en torsión sobre un eje rotatorio. Fueron inventadas por el ingeniero finés Sigurd J. Savonius en 1922. Puede arrancar con poco viento, siendo muy sencilla su fabricación; tiene una velocidad de giro pequeña y su rendimiento es relativamente bajo.

El modelo del rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una “S”; las partes cóncavas de la “S” captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que girarán en el sentido que menos resistencia ofrezcan.



Figura 1.4: Detalle del rotor Savonius (2016). Recuperado de:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Savonius_wind_turbine.jpg

Aerogenerador vertical Darrieus.

Patentado por Georges. J. M. Darrieus en 1931, este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical. Nace por la necesidad de evitar la construcción de hélices sofisticadas como las que se utilizan en los aerogeneradores de eje horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal.



Figura 1.5: Aerogenerador vertical Darrieus. Recuperado de:
<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/wp-content/uploads/2012/06/Aerogenerador-de-eje-vertical.jpg>

El rotor Darrieus consta de unas finas palas con forma de ala de avión simétricas, que están unidas al eje sólo por los dos extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las dos uniones del eje. El modelo de curva más utilizado es el denominado Troposkien, aunque también se utiliza la catenaria.

Como los otros aerogeneradores de eje vertical, el Darrieus no necesita de un sistema de orientación. Esta característica de captación omnidireccional le permite ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro sustancial. Al poseer una forma parecida a una cuerda para saltar, hace que los alerones del Darrieus experimenten una fuerza centrífuga. Al trabajar en pura tensión hace que los alerones sean simples y económicos.

Este rotor presenta el problema que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a la aerodinámica de sus palas. Muchas veces se aplica al diseño de este aerogenerador, rotores Savonius para facilitar la partida. La otra forma es usar un sistema eléctrico para la partida. Usualmente se ocupa un generador de inducción conectado a la red. Una vez que el Darrieus se encuentra en velocidad de operación empieza a otorgar potencia.

Aerogenerador Vertical Windside.

Este es un prototipo concebido por una empresa finlandesa Windside. Este aerogenerador es capaz de producir 50 KW y tiene la tarea de climatizar un centro comercial de Turku

(Finlandia). Esta tecnología relativamente nueva y prometedora tiene rendimientos similares a los aerogeneradores de eje horizontal y es aplicada para abastecer pequeños consumos.



Figura 1.6: Aerogenerador Vertical Windside (2016). Recuperado de:
<http://www.archiexpo.com/prod/windside/product-88530-959470.html>

Aerogenerador vertical Giromill.

Este es un nuevo modelo de aerogenerador, eficaz para soportar vientos de velocidad mayor a los de eje horizontal. De esta configuración han surgido varios modelos capaces de soportar mayores velocidades de vientos con más alerones presentando una resistencia máxima al viento cuando se sitúa en la zona de avance de giro y prácticamente nula resistencia cuando están en la zona de retorno del generador mediante palas abatibles.



Figura 1.7: Prototipo Giromill (2016). Recuperado de:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Windgenerator_antarktis_hg.jpg
Coefficiente de potencia.

El coeficiente de potencia indica, con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía cinética del viento en energía rotacional; simplemente, dividiendo la potencia disponible por la potencia eólica de entrada. [1.8]

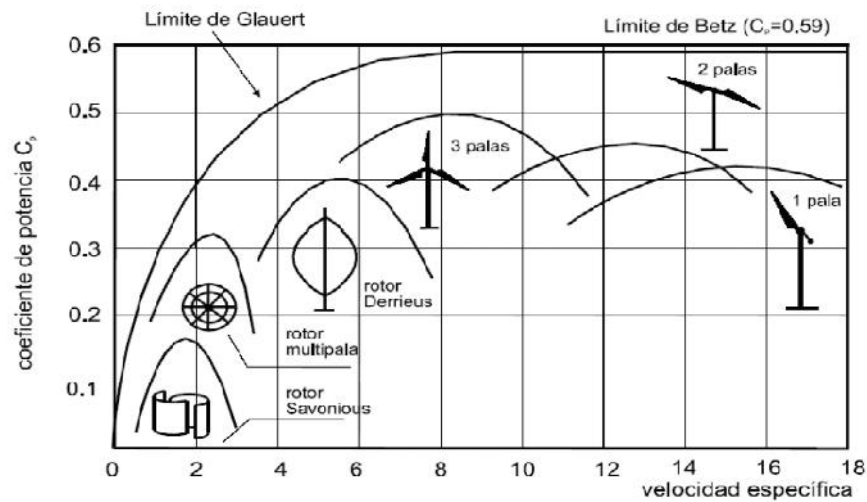


Figura 1.8: Límite de coeficiente de potencia.
 Recuperado de: <http://slideplayer.es/slide/5979731/>

Aerogenerador Vertical Exawind.

Es un Aerogenerador dinámico de eje vertical y alto rendimiento. La energía eólica mejor aliada con el medio ambiente y el entorno urbano. Su construcción es modular a medida de cada necesidad de viento y potencia.

Ventajas:

La ventaja de estos aerogeneradores, sobre sus similares de eje vertical, es el movimiento constante de las velas de cada brazo, para conseguir la mayor resistencia en el sentido de la dirección del viento y la menor resistencia a contraviento.

La turbina de estos aerogeneradores consta de seis brazos con un número de velas diferente en cada modelo según la superficie deseada, según velocidad del viento de la zona y potencia requerida. Su construcción permite ampliarlos incluso después de estar instalados. Los brazos pueden alargarse con facilidad para aumentar la superficie con mayor número de velas.

Al no disponer de largas aspas como en los aerogeneradores de eje horizontal, el transporte y el montaje en obra se reduce permitiendo incluso instalarlos en parajes de difícil acceso.

Son respetuosos con el medio ambiente; el cual, es el mayor argumento de interés por el respeto con las aves. Estas no son sorprendidas por el corte de las aspas.

Al no cruzarse las aspas con la torre vertical la turbina carece de vibraciones y ruido.

Ideal para montar en zonas urbanas y sobre edificios. La facilidad de transporte, la facilidad de montaje, la ausencia de vibraciones, la ausencia de ruido, la menor cimentación de la base y la menor altura total lo convierten en la mejor opción para el autoconsumo o la distribución en zonas urbanas.



Figura 1.9: Aerogenerador vertical con velas. Recuperado de:
<http://www.fiagro.org/index.php/noticias/158-energias-renovables/2700-aerogenerador-de-eje-vertical-para-la-ciudad>

Aerogenerador diseñado por el tesista.

Es una turbina eólica de eje transversal al flujo del fluido, inspirado en los barcos de vela, con palas conformado por velas cuadradas; funciona por arrastre(ver ANEXO A (3)).

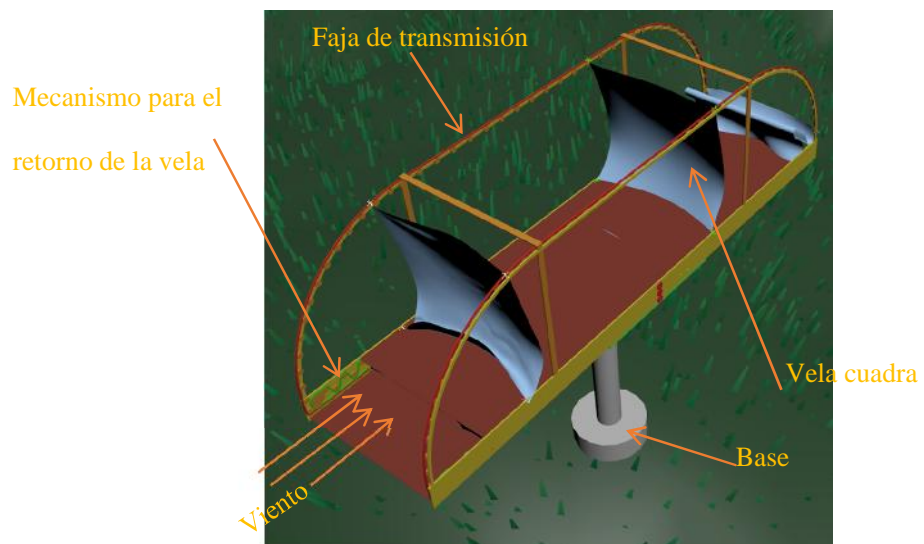


Figura 1.10: Sistema para generación de energía eólica con velas.

Fuente: Elaboración propia

Sus características básicas son las siguientes:

Las paletas están conformadas por velas cuadradas, el cual capta la energía dinámica del viento con mucha eficiencia, por el alto coeficiente de arrastre.

Utiliza fajas para la transición de la energía de las velas hacia un eje rotatorio.

En lo que se trata a la magnitud de ancho y alto, no tiene límite.

No representa un peligro para las aves, por la baja velocidad lineal de las velas.

Kimball, John. p.31. Señala que: "... la Potencia en veleros está dado por la fórmula:

$P = \frac{1}{2} C_d \rho A V^3$. Dónde: C_d es el coeficiente de arrastre por presión; ρ es la densidad del aire; A es el área transversal normal al flujo del viento y V es la velocidad del viento en el cual la potencia está en función del coeficiente de arrastre. Además, señala que el límite de Betz no es riguroso ya que hay la posibilidad de que la potencia obtenida con veleros podría ser mayor debido a que algunos cuerpos poseen alto coeficiente de arrastre".

La misma filosofía de veleros podría ser empleado para la generación de energía eólica mediante un sistema como la que se muestra en la figura 1.10.

Solidez de un rotor.

Es la relación del área de las palas o aspas del rotor, al área interceptada por el viento, al girar el rotor. Se describe la solidez de los aerogeneradores comunes.

Los rotores tripala, bipala y monopala, tienen poca solidez, alrededor de 5%, por el que disminuye el momento o par respecto al eje. Además, para maximizar el área de barrido debe incrementar el TSR (proporción de velocidad de la punta), alcanzando una solidez de 70%.^[1.9]

Aumentar la solidez, en una turbina de eje horizontal, trae muchas consecuencias: Como ruido, muerte de muchas aves, vibraciones molestas al medio ambiente, etc.

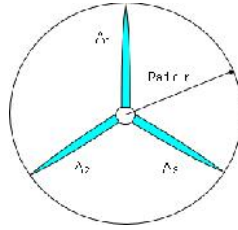


Figura 1.11: HAWT de 3 palas (2016). Recuperado de :
http://www.industriaytecnologia.com/wpimages/wp47523ae3_06.png

Los rotores de la turbina eólica vertical, Darrieus tipo Giromill, son de mayor eficiencia que el Savonius, su desventaja está en que tiene una solidez de rotor de 33%.^[1.10]

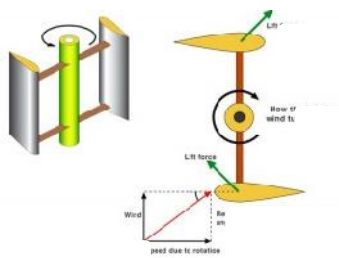


Figura 1.12: VAWT Darrieus Giromill. (2016), Recuperado de:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Darrieus.jpg>

La turbina eólica de eje vertical, Exawind, tiene el 50% de SOLIDEZ, porque el otro 50% del área se utiliza para el mecanismo de retorno, con la ventaja de que, tiene un mecanismo que disminuye el arrastre del viento en sentido de la rotación disminuyendo el rendimiento a la mitad respecto al área total de viento expuesto. Usa velas, con alto coeficiente de arrastre, en las palas para incrementar el aprovechamiento de la energía del viento.

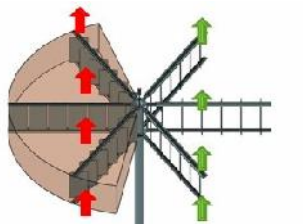


Figura 1.13: VAWT Exawind. (2016). Recuperado de:
<https://biod2.files.wordpress.com/2010/11/aerogeneradores-ec3b3licos-de-eje-vertical-exawind.pdf>

La turbina eólica diseñada con rotores de vela tiene aproximadamente mayor a 95% de solidez, con un alto valor del coeficiente de arrastre. La eficiencia en la solidez es gracias a la flexibilidad de la vela. Debido a que emplea un área mínima para el mecanismo de retorno, tiene un incremento en la solidez.

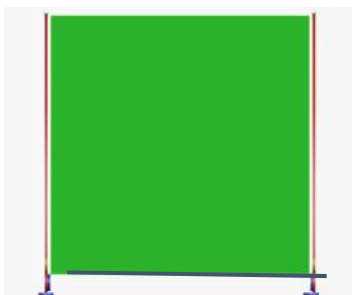


Figura 1.14: Turbina eólica diseñada

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra la eficiencia de algunas turbinas eólicas comerciales, cuyas características han sido obtenidos de sus respectivas fichas técnicas.

La energía teórica es la energía del viento, en el área de transversal del aerogenerador, y lo que puede aprovechar un aerogenerador eficiente es el 59% (ley de Betz).

La eficiencia se halla dividiendo la potencia nominal mostrada por los fabricantes entre la potencia teórica.

Tabla 1.1 Rendimiento de Turbinas Eólicas de Ejes Horizontales (HAWT)

MODELO	M1	M2	M3	M4	M5
Radio (m)	50	61	50.2	77	82
Área Barrido (m ²)	7853.98	11689.87	7916.94	18626.50	21124.07
Densidad (Kg/m ³)	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
Velocidad Viento (m/s)	11.7	10	12	13	12
POTENCIA TEORICA(Kw)	7704.66	7160.04	8379.29	25064.99	22357.71
Límite de Betz	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Potencia Nominal (Kw)	4565.73	4242.99	4965.50	14853.33	13249.02
Potencia Nominal (Kw) (Ficha Técnica de Fabrica)	3000	2700	3000	7000	8000
Eficiencia teórica %	38.94%	37.71%	35.80%	27.93%	35.78%

Nota:

M1 = Acciona AW-100/3000, Fuente: <http://en.wind-turbine-models.com/models>

M2 = Alstom ECO 122/2700, Fuente: <http://en.wind-turbine-models.com/model/188/acciona/aw-100-3000/desktop>

M3 = MAN GROWIAN, Fuente: <http://en.wind-turbine-models.com/model/437/alstom/eco-122-2700/desktop>

M4 = Siemens SWT-7.0-154, Fuente: <http://en.wind-turbine-models.com/model/464/man/growian/self-assembly>

M5 = V164-8.0MW, Fuente: <http://www.4coffshore.com/windfarms/turbine-mhi-vestas-offshore-wind-v164-8.0-mw-tid89.html>

Tabla 1.2 Rendimiento de Turbinas Eólicas de Ejes Verticales (VAWT)

MODELO		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Altura de rotor	(m)	3.5	1.6	2.1	2.5	4.5	4.5	10	10
Diámetro de rotor	(m)	2.3	1.5	2.7	9	9.5	13.5	26	35
Área de Barrido	(m ²)	8.05	2.40	5.67	22.50	42.75	60.75	260.00	350.00
Densidad de viento (Kg/m ³)		1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
Velocidad Viento (m/s)		12	8	10	11	10	13	12.5	17.5
POTENCIA TEORICA(Kw)		8.52	0.75	3.47	18.34	26.18	81.75	311.04	1148.92
Límite de Betz		0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Potencia Nominal (Kw)		5.05	0.45	2.06	10.87	15.52	48.44	184.32	680.84
Potencia Nominal (Kw) (ficha técnica de fabricante)		2.00	0.6	2	10	20	50	100	500
Eficiencia teórico (%)		23.47	79.72	57.59	54.52	76.38	61.16	32.15	43.52

Nota:

M1=GC-2kw, fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/cheap-vawt-roof-top-high-output-2kw-vertical-axis-wind-turbine-prices-for-sale-60039199096.html>

M2=HF-VAH-600W, Fuente:

http://www.alibaba.com/product-detail/600W-Vertical-Axis-Wind-Turbine_470589761.html

M3=HF-VAC-2KW, Fuente:

http://www.alibaba.com/product-detail/Manufacturers-supply-2kw-vertical-axis-wind_60278102491.html

M4=EXAWIND-10, Fuente:

http://www.jbastan.com/renovables/energia_eolica/eolica_2014/aerogeneradores_eolicos_exawind-10_kw.htm

M5=EXAWIND-20,Fuente:

http://www.jbastan.com/renovables/energia_eolica/eolica_2014/aerogeneradores_eolicos_exawind-20-50_kw.htm

M6=EXAWIND-50, Fuente:

http://www.jbastan.com/renovables/energia_eolica/eolica_2014/aerogeneradores_eolicos_exawind-20-50_kw.htm

M7=EXAWIND-100, Fuente:

http://www.jbastan.com/renovables/energia_eolica/eolica_2014/aerogeneradores_eolicos_exawind-100_kw.htm

M8=EXAWIND-500, Fuente:

http://www.jbastan.com/renovables/energia_eolica/eolica_2014/aerogeneradores_eolicos_exawind-350-500_kw.htm

En realidad, para la mayoría de las turbinas eólicas, la potencia útil será mucho menor a la potencia nominal, debido a múltiples factores. Un aspecto fundamental para aprovechar la energía es la solidez de área y la configuración o el mecanismo de funcionamiento del equipo.

Pues a través de la historia, las velas han sido muy bien aprovechadas, por el gran arrastre y su gran solidez.

Pues es necesario saber la magnitud del coeficiente de arrastre, para ello se requiere experimentos empíricos con velas cuadradas.

1.3 Investigación bibliográfica

Todo cuerpo sumergido en un fluido que esté en movimiento relativo, experimenta; ya sea la fuerza de sustentación y la fuerza de arrastre, en algunos casos solamente la fuerza de arrastre, según su disposición geométrica.

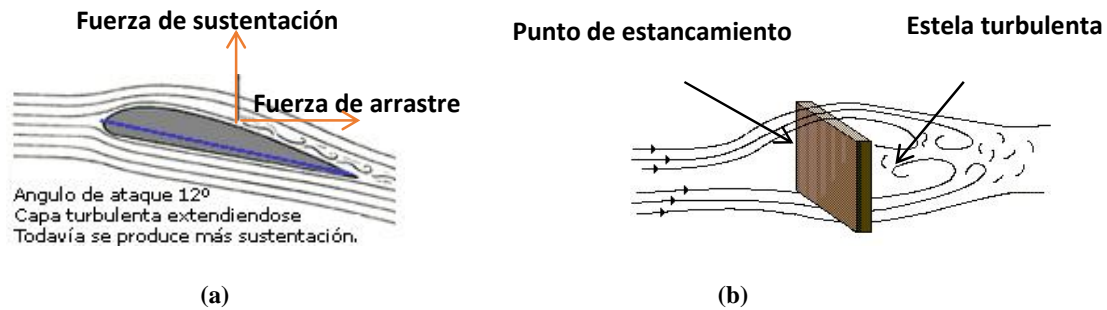


Figura 1.15: Comportamiento de los cuerpos sumergidos en un fluido.

(a) Perfil Aerodinámico, experimenta fuerza de sustentación y de arrastre. Recuperado de:

<http://m.forocoches.com/foro/showthread.php?t=1650311>

(b) Cuerpo despuntado, experimenta solamente fuerza de arrastre. Recuperado de:

<http://es.wikihow.com/calcular-la-velocidad-terminal>

1.3.1 Fuerza de arrastre del fluido.

Cualquier objeto sumergido, en un fluido con una velocidad relativa, experimentara una fuerza neta de arrastre en la dirección del flujo, debido a la fuerza por presión y fuerza por arrastre sobre la superficie del cuerpo.

Munson, Young y Okiishi (2006). Señalan que: “Con los avances actuales en el análisis computacional se encuentran valores, de dichas fuerzas, muy aproximados pero la mayoría de las informaciones obtenidas provienen de experimentos en túneles de viento, túneles de agua y otros ingeniosos equipos”.

Un cuerpo de cualquier forma, inmersa en un fluido, experimenta fuerzas y momento en los 3 ejes; la fuerza en el eje paralelo al flujo se le llama arrastre. El arrastre es esencialmente la pérdida de flujo y este debe ser vencido moviendo el cuerpo. (White, 1998, p.452)

Las fuerzas del fluido es ocasionado por la desviación del flujo. Un cuerpo en movimiento relativo, inmerso en un fluido experimenta fuerzas.

El arrastre, es cuando el fluido opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Existe dos tipos de arrastre: El arrastre de presión y forma se debe a los disturbios de la corriente de flujo conforme pasa el cuerpo lo que crea una estela turbulenta, las características de los disturbios dependen de la forma del cuerpo y a veces del número de Reynolds.

El arrastre de fricción se debe a las fuerzas cortantes en la capa delgada del fluido cerca de la superficie, llamado capa limite. (Mott, 2006, p.523)

Arrastre por fricción.

Munson, Young y Okiishi (2006) señalan que, el arrastre por fricción, está directamente relacionado con el esfuerzo a corte en el objeto y de la orientación de área; será máxima, si la orientación es paralela al flujo.

Arrastre por presión.

Depende directamente de la presión sobre un objeto, y depende fuertemente de la forma del cuerpo y es mayor en cuerpos planos, normal a la dirección del fluido. (Munson, Young y Okiishi, 2006)

La diferencia entre la alta presión, en la región frontal de estancamiento y la baja presión en la región de separación, en la región posterior, produce un gran arrastre, el cual se llama, arrastre por presión. (White, 1998, p.453)

Es una fuerza neta que actúa en la dirección opuesta a la del movimiento relativo, este se produce porque la presión en la estela es mucha más baja que la presión en el punto de estancamiento en el frente del cuerpo. (Mott, 2006, p.524)

La fuerza de arrastre por presión está dada por la ecuación:

$$F_a = C_d \left(\rho \frac{v^2}{2} \right) A \dots\dots\dots (1.2)$$

Donde: $\rho \frac{v^2}{2}$: Presión dinámica del fluido; A: Área máxima de la sección transversal del cuerpo, perpendicular al flujo; C_d : Es el coeficiente de arrastre para el arrastre de presión, depende de muchos factores, sobre todo de la forma del cuerpo, número de Reynolds del fluido y la rugosidad de la superficie.

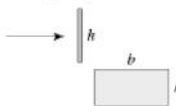
Cuerpos con mayores valores de coeficientes de arrastre por presión.

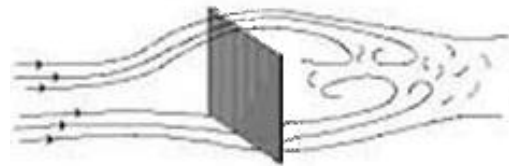
Placa plana rectangular.

Es un cuerpo con área perpendicular al flujo del fluido y con un área despreciable, paralela al flujo, para el esfuerzo de corte, por lo que el arrastre podría considerarse generado únicamente por la diferencia de presiones.

Para placas de alto (h), ancho (b) y espesor despreciable se tiene que cuando la relación $b/h=1$, el Coeficiente de arrastre tiene el valor de 1.18. [1.11]

Para valores de $Re \geq 10^4$

Body	Ratio	C_d based on frontal area
Rectangular plate:		
	b/h	
	1	1.18
	5	1.2
	10	1.3
	20	1.5
	∞	2.0




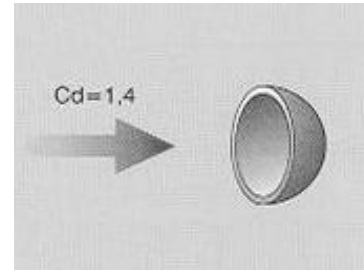
Copa.

Es un cuerpo, muy usado en diversas áreas como por ejemplo en sistemas de medición (anemómetros), con área transversal normal al flujo del fluido y con un área despreciable, paralela al flujo, por lo que el arrastre por corte se puede considerar despreciable y, considerarse solamente el arrastre debida a la diferencia de presiones en el punto de estancamiento y estela turbulenta. Las copas con área transversal perpendicular al flujo tiene el coeficiente de arrastre igual a $C_d=1.40$. [1.11]

Para copas con el hoyo en la parte frontal de radio cualquiera y espesor despreciable, el coeficiente de arrastre tiene el valor de $C_d= 1.40$. [1.12]

Para valores de $Re \geq 10^4$

Body	C_D based on frontal area
Cup: 	1.4



Paracaídas redondo.

Equipo utilizado, por su gran arrastre, para disminuir la velocidad de caída de objetos arrojados de grandes alturas y desaceleradores en el aterrizaje de aviones, cohetes, etc.

Los paracaídas, en su forma tienen un parecido a una copa pero aun así tiene un menor coeficiente de arrastre. Las paracaídas, tienen un coeficiente de arrastre aproximadamente, $C_d=1.2$. [1.13]



Vela Triangular (Thistle sailboat).

Es un cuerpo de geometría triangular, diseñado para impulsar transportes marinos y terrestres por su alta capacidad de arrastre, en la dirección del flujo tiene su mayor aprovechamiento cuando su trayectoria es la misma que la del viento y con una forma típica de un cuerpo sometido a la acción del viento.

Kimball (2010), Señala que: “Las velas Thistle, cuando va a favor de la corriente del viento tiene un coeficiente de arrastre aproximadamente $C_d=4/3=1.33$ ”.



Vela triangular

Geometría del cuerpo en estudio.

Cuando una tela o plástico rectangular, mostrado en la figura 17, es sujeta por los 4 esquinas y expuesta al viento, este tiende a una copa cuyo coeficiente del arrastre del viento sobre ella es poco conocida, lo cual es materia de investigación.

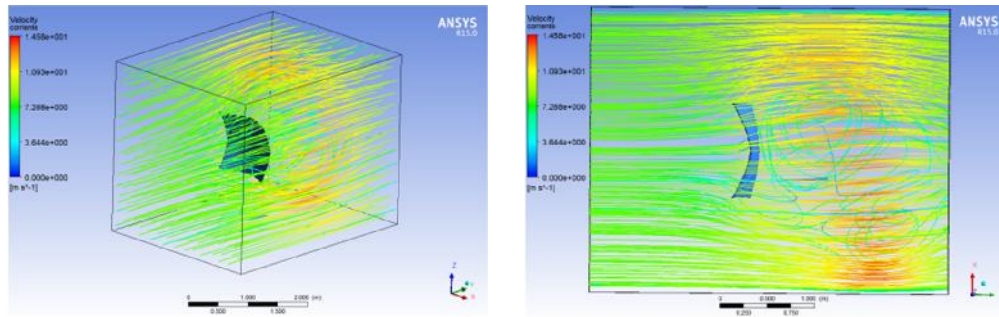


Figura 1.16: Vista frontal, perfil e isométrico de la deformación de la vela cuadra, sometida a la fuerza del viento.

Fuente : Elaboración propia.

Para hallar el coeficiente de arrastre, se despeja la ecuación (1.2).

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

Dónde:

F_d : Fuerza de arrastre, C_d : Coeficiente de Arrastre, ρ : Densidad del fluido, A :
área frontal perpendicular al flujo, V : velocidad del viento

La fuerza nominal o teórica de viento, cuando $C_d=1$, es: $F_d = \frac{1}{2} \rho V^2$

1.3.2 Coeficiente de arrastre.

Es un número adimensional que depende de la forma del cuerpo y su orientación con respecto a la orientación del fluido. (Mott, 2006, p.522)

Mott (2006) sostiene que “La magnitud del coeficiente de arrastre, para el arrastre de presión depende de parámetros como: La forma del cuerpo, número de Reynolds del flujo, número de Mach, número de Froude y rugosidad de la superficie.

$C_d=f$ (Forma, Re, Ma, Fr, Rugosidad).

Forma: El arrastre por presión, es mayor para cuerpos planos perpendiculares al flujo que para los perfiles aerodinámicos como la esfera.

Nro. de Reynolds: Este parámetro produce efectos para flujos turbulentos.

Nro. de Mac: Afecta en la fuerza de arrastre para velocidades ultrasónicas

Nro. de Froude: afecta cuando hay altas compresiones en los flujos.

Rugosidad: Este parámetro tiene efectos cuando el cuerpo es muy rugoso. “

Densidad del aire.

Es una propiedad termodinámica del fluido, en el ambiente la densidad del aire depende fuertemente de la presión atmosférica, temperatura y de la altitud del punto en cuestión.

La presión atmosférica, que es la cantidad de fuerza aplicada por superficie, sufre una variación a medida que ascendemos en el seno de la atmósfera.

La presión atmosférica disminuye a medida que ganamos altura a razón de 1 milibar cada 9 metros.

A medida que ascendemos en la atmósfera la temperatura sufre una variación. Ésta cambia de manera inversamente proporcional a la altura, es decir, la temperatura disminuye a medida que nos adentramos en el seno de la atmósfera. La temperatura disminuye a razón de 6,5 grados centígrados cada mil metros, hasta una altitud de 11000 metros, por encima de la cual su valor es constante de -56,5 grados centígrados.

Por lo que la magnitud de la densidad del aire está en función de la altitud y la temperatura según la ecuación mostrada a continuación.

Según la ley general de los gases:

$$PV = nRT, \text{ o también, } P = \frac{n}{V}RT \dots\dots\dots (1.3)$$

Dónde:

P = Presión absoluta del aire (atm).

V = Volumen que ocupa el aire (L).

n = Cantidad de moles.

R = Constante universal de los gases, del aire es $0.0820562 \frac{\text{at} \cdot \text{L}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

T = Temperatura del aire (K), $T=C +273$.

También se sabe que:

$$m=nM \rightarrow n = \frac{m}{M}, \text{ donde } m, \text{ es la masa de aire.}$$

Dividiendo entre V, tenemos:

$$\frac{n}{V} = \frac{m}{V} \frac{1}{M}, \text{ y } \frac{n}{V} = \frac{1}{M} \dots\dots\dots (1.4)$$

Reemplazando la ecuación (3.3) en (3.2)

$$P = \frac{\rho R}{M} \dots\dots\dots (1.5)$$

También, partiendo de la ecuación fundamental de la estática:

$$dP = - \rho g dz \dots\dots\dots (1.6)$$

Dividiendo la ecuación (1.6) y (1.5).

$\frac{d}{P} = \frac{-g}{R T}$, Integrando y con las condiciones de frontera, para $z=0 \rightarrow P=P_0$ (presión atmosférica al nivel del mar).

$$P=P_0 e^{\frac{-g}{R} \frac{z}{T}} \dots\dots\dots (1.7)$$

Dónde:

P = Presión absoluta del aire (atm).

P₀ = Presión absoluta del aire a nivel del mar (atm).

g = Gravedad.

M = Masa molecular del aire, igual $28.98 \frac{g}{m}$.

Z = Altitud del lugar. (m.s.n.m).

R = Constante universal de los gases, del aire es $0.0820562 \frac{at \cdot L}{m \cdot K}$.

T = Temperatura del ambiente (K), T=C +273.15

Reemplazando los valores de las constantes respectivamente en la ecuación (1.6) queda como:

$$P=P_0 e^{-0.0: \frac{z}{T}} \dots\dots\dots (1.8)$$

Densidad del aire

$$= \frac{P}{Z} \dots\dots\dots (1.9)$$

Dónde:

P = Presión absoluta del aire (atm).

M = Masa molecular del aire, igual $28.98 \frac{g}{m}$.

Z = Factor de compresibilidad.

R = Constante universal de los gases, del aire es $0.0820562 \frac{at \cdot L}{m \cdot K}$.

T = Temperatura del ambiente (K), T=C +273.15

El aire húmedo consiste de una fracción molar de vapor de agua x_v , y una fracción molar de aire seco $(1 - x_v)$. En estas condiciones se tiene:

$$M = M_a \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M}{M} \right) \right]$$

Donde:

$$M_a = \text{Masa molar de aire seco} \left(M_a = 28.96351244 \frac{\text{g}}{\text{m}} \right)$$

$$M_v = \text{Masa molar del agua} \left(M_v = 18.015 \frac{\text{g}}{\text{m}} \right)$$

Factor de compresibilidad.

$$Z = 1 - \frac{P}{T} \left[a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t) x_v + (c_0 + c_1 t) x_v^2 \right] + \frac{P^2}{T^2} (d + e \cdot x_v^2)$$

Donde:

t temperatura en °C

T temperatura en °K

$$a_0 = 1.58123 \times 10^{-6} \text{KPa}^{-1}$$

$$a_1 = -2.9331 \times 10^{-8} \text{Pa}^{-1}$$

$$a_2 = 1.1043 \times 10^{-10} \text{K}^{-1} \text{Pa}^{-1}$$

$$b_0 = 5.707 \times 10^{-6} \text{KPa}^{-1}$$

$$b_1 = -2.051 \times 10^{-8} \text{Pa}^{-1}$$

$$c_0 = 1.9898 \times 10^{-4} \text{KPa}^{-1}$$

$$c_1 = -2.376 \times 10^{-6} \text{Pa}^{-1}$$

$$d = 1.83 \times 10^{-11} \text{K}^2 \text{Pa}^{-2}$$

$$e = -0.765 \times 10^{-8} \text{K}^2 \text{Pa}^{-2}$$

Fracción molar del vapor de agua

La fracción molar x_v no es medida directamente, pero se determina inicialmente de la humedad relativa (h).

La humedad relativa es definida como la fracción molar del vapor de agua en aire húmedo (x_v) entre la fracción molar del vapor del agua en aire húmedo saturado (x_{sv}), a las mismas temperaturas y presión:

$$x_v = h \cdot x_{sv}$$

x_{sv} es una función de la presión de saturación (P_{sv}) a la misma temperatura(t). Es necesario introducir un factor de corrección f, llamado “factor de fugacidad”, el cual depende de la temperatura y presión. Por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$x_{sv} = f(p,t) \cdot P_{sv}(t) \cdot P^{-1}$$

$$x_v = h \cdot f(P,t) P_{sv}(t) / P$$

Factor de fugacidad f

El factor de fugacidad f se calcula con la temperatura ambiente t expresada en °C.

$$f = a + bP + ct^2$$

Donde:

a 1.00062

b $3.14 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$

c $5.6 \times 10^{-7} \text{ K}^{-2}$

P La presión del aire en Pa

t Temperatura del aire en °C

Presión de vapor saturado P_{sv}

$$P_{sv} = 1 \text{ Pa} \cdot e^{(A + B + C + \frac{D}{T})}$$

Donde:

A $1.2378847 \times 10^{-5} \text{K}^{-2}$

B $-1.9121316 \times 10^{-2} \text{K}^{-1}$

C 33.93711047

D $-6.3431645 \times 10^3 \text{K}$

T Temperatura del aire en K.

Tabla 1.3 Presión atmosférica y densidad del aire.

Nº	Altitud (m.s.n.m)	Temperatura (K)	Presión (Pa)	Densidad (kg/m ³)
1	0	288.16	101350	1.226
2	500	284.91	95425.59	1.167
3	1000	281.66	89745.35	1.111
4	1500	278.41	84282.38	1.055
5	2000	275.16	79034.6	1.001
6	2500	271.91	73999.7	0.949
7	3000	268.66	69175.43	0.898
8	3500	265.41	64558.9	0.848
9	4000	262.16	60158.2	0.800
10	4500	258.91	55937.9	0.753
11	5000	255.66	51927.1	0.708
12	5500	252.41	48111.6	0.664

Tabla 1.4 Propiedades de una atmósfera estándar (White, 1998, p.773)

z, m	T, K	p, Pa	ρ , kg/m ³
0	288.16	101,350	1.2255
500	284.91	95,480	1.1677
1,000	281.66	89,889	1.1120
1,500	278.41	84,565	1.0583
2,000	275.16	79,500	1.0067
2,500	271.91	74,684	0.9570
3,000	268.66	70,107	0.9092
3,500	265.41	65,759	0.8633
4,000	262.16	61,633	0.8191
4,500	258.91	57,718	0.7768
5,000	255.66	54,008	0.7361
5,500	252.41	50,493	0.6970

Comparando los valores de densidad mostrada en la Tabla 1.3, calculado con la ecuación (1.10), y los valores de densidad descrita en el libro “Fluid Mechanics” de Fran M.White como se muestra en la Tabla 4, percibimos que se obtienen resultados muy aproximados. Por lo que, usando la ecuación (1.10) es posible conseguir la densidad del aire para una altitud y temperatura en un lugar deseado.

1.3.3 Términos Básicos

Coficiente: Número o parámetro que se escribe a la izquierda de una variable o incógnita y que indica el número de veces que este debe multiplicarse.

Arrastre: Fricción entre un objeto sólido y el fluido por el que se mueve.

Coficiente de arrastre: En dinámica de fluidos, es una cantidad que se usa para cuantificar el arrastre o resistencia de un objeto en un medio fluido como el aire o el agua.

Vela cuadrada: Superficie generalmente de tela o lámina de material plástico, utilizada para propulsar una embarcación mediante la acción del viento sobre ella.

Aerodinámico: Que tiene la forma adecuada para reducir la resistencia del aire.

Palas: Representan la porción de un generador eólico que tiene la tarea de "capturar" el viento y convertirla en energía cinética de rotación. A partir de aquí el término "rotor", es decir, componente que gira.

Potencia: Capacidad para realizar una función o una acción, o para producir un efecto determinado.

Energía: Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento.

1.4 Hipótesis General y Específico

1.4.1 Hipótesis general.

- ✓ El coeficiente de arrastre de la vela cuadra está entre los valores de 1.18 y 1.40.

1.4.2 Hipótesis específicos.

- A mayor fuerza del viento, la vela cuadra tendrá mayor coeficiente de arrastre.
- A mayor área de la vela, menor será la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.
- A mayor velocidad del viento, menor será la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.
- A mayor densidad del aire, menor será la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.

1.5. Sistema de Variables

1.5.1 Variable independiente.

- Fuerza de arrastre del viento
- El área de la vela cuadra
- La velocidad del viento
- La densidad del Aire

1.5.2 Variable dependiente.

- El coeficiente de arrastre

1.6. Indicadores

1.6.1 Indicador de variable independiente

- Magnitud

1.6.2 Indicador de variable dependiente

- Registro de fuerza en la balanza digital
- Medida de superficie
- Registro de velocidad en el anemómetro
- Resultado de cálculo matemático

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivos generales.

- ❖ Demostrar experimentalmente que el valor del coeficiente de arrastre de una vela cuadrada esta entre 1.18 y 1.4.

1.7.2 Objetivos específicos.

- Indicar la influencia que tiene la fuerza del viento en la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.
- Indicar la influencia que tiene el área en la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.
- Indicar la influencia que tiene la velocidad del viento en la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.
- Indicar la influencia que tiene la densidad del aire en la magnitud del coeficiente de arrastre de la vela cuadrada.

1.8 Población y Muestra

Universo.

Datos numéricos obtenidos en los ensayos de campo.

Población.

La población son los datos tomados de la experimentación y es de cantidad infinita.

Muestra

El tamaño de la muestra, de variables cuantitativa, a tomar, se estima con la fórmula de estadística inferencial, por proporción:

$$n = \frac{(Z)^2 p q}{d^2},$$

Donde:

Z = nivel de confianza, Z=95%, entonces $Z_{\alpha}=1.96$

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada, p=95%

q = probabilidad de fracaso (1-p), q=5%

d = precisión (error máximo admisible en términos de proporción), d=5%

Entonces, $n = \frac{1.9^2 \cdot 0.9 \cdot 0.05}{0.05^2}$, n=73 muestras.

En las páginas consultadas en el internet, el nivel de confianza más usado, con una precisión aceptable, es 95%. Además, para las velas cuadradas de (20, 40, 60, 80, 100, 120 y 140) cm. con cada uno se realizarán pruebas para velocidades de vientos desde 2.3m/s hasta 15.5m/s haciendo un total de 84 pruebas, mínimamente; el cual resulta mayor al número de muestras.

CAPITULO II

MARCO METODOLOGICO

2.1 Método de investigación

El método de investigación a llevar a cabo es **Investigación Descriptiva**; porque se conoce, aunque sean mínimos, las cualidades o rasgos característicos del problema, o se supo establecer su estructura o comportamiento. Además, con los estudios descriptivos se miden de forma independiente las variables. Y el tipo de investigación a realizar será una investigación experimental, porque se someterá a un objeto o grupo de datos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente).

2.2 Diseño de la Investigación

El tipo de diseño de investigación es experimental, para ver la relación que tienen las variables dependientes e independientes se realiza la prueba estadística paramétrica de coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal y para conocer la similitud de los datos se realiza el prueba estadístico paramétrico ANOVA (análisis de varianza).

2.3 Operacionalización de variables

Variable dependiente	variable independiente	Indicador
- Coeficiente de arrastre	- Fuerza del viento	-Lectura en dinamómetro
	- Densidad	-Cálculo matemático
	- Velocidad	-Lectura en anemómetro
	- Área	-Superficie

2.4 Límites de contorno.

Contorno de espacio: El proceso de experimentación para la prueba de la hipótesis se llevó a cabo en azotea de un edificio, a una altura mayor a 30 metros del suelo, espacio libre para el flujo del viento y a 1943 m.s.n.m. Ubicado en Cayhuayna-Huánuco-Huánuco (ver ANEXO C1). Con las coordenadas: (0363131E, 8899635N, 18L). Perteneciente a una zona ecológica **mte-PTE** (ver ANEXO A) descrito como Monte Espinoso - Premontano Tropical (ver ANEXO B).

Contorno de tiempo: El proceso de experimentación se llevó a cabo entre los meses de junio y agosto pasado el mediodía.

Contorno de velocidad del viento: En el proceso de experimentación se ha obtenido velocidades de viento desde 2.3m/s hasta 15.5m/s perteneciente a la zona ecológica **mte-PTE**.

Contorno de temperatura: La temperatura, como la altitud, son influentes en el valor de la densidad del viento, en la experimentación se obtuvo temperaturas de ambiente desde 25.9C° hasta 30.1C° perteneciente a la zona ecológica **mte-PTE**, registrada con un termómetro digital.



Figura 2.1: Instalación del equipo para la experimentación.
Fuente : Elaboración propia.

2.5 Aplicación práctica

El coeficiente de arrastre de una vela cuadrada obtenidos en esta investigación pueden ser aplicados en cálculos matemáticos para diseños alternativos de aerogeneradores mucho más eficientes que los descritos en el antecedente, o en otras situaciones similares concernientes con los fluidos como en cálculo de la fuerza del viento sobre los paneles publicitario compuestos de material similar a la vela .

2.6 Equipos y herramientas

El proceso de la experimentación se inició con el armado del equipo (ver figura 2.2) para la medición de la fuerza del viento en las velas cuadradas (ver ANEXO A2).



Figura 2.2: Equipo para la medición de la fuerza del viento.
Fuente : Elaboración propia.



Figura 2.3: Disposición de equipos para su buen funcionamiento: (a) Equipo medidor de fuerza, (b) equipo medidor de velocidad del viento. Fuente: Elaboración propio

A continuación se detalla los componentes del equipo.

Medidor de altitud: Se usó un GPS (ver figura 2.4 a) para saber la altitud del lugar con respecto al mar y este nos proporciona un dato importante del cual depende el valor de la densidad del viento. El lugar está a una altitud de 1943 m.s.n.m.

Medidor de Temperatura: Se usó un termómetro digital (ver figura 2.4 b) para obtener la temperatura instantánea del ambiente del lugar y este también nos proporciona un dato importante del cual depende el valor de la densidad del viento.

Medidor de velocidad del viento: Se usó un anemómetro digital de copas de doble precisión (ver figura 2.4 c) para obtener la velocidad instantánea del viento y este también nos proporciona un dato importante del cual depende la fuerza del viento.

Medidor de la fuerza: Se usó una balanza digital con lectura de precisión hasta 3 dígitos (ver figura 2.4 c) para obtener la fuerza instantánea causada por la velocidad del viento y este también nos proporciona un dato importante para el cálculo del coeficiente de arrastre de la vela.

Medidor de la tiempo: Se usó 2 relojes digital (ver figura 2.4 d) para obtener el tiempo instantáneo que se miden tanto la velocidad del viento y la fuerza ya que estas se lectura independientemente y para su posterior análisis en gabinete.

Grabador de datos: Se usó 2 cámaras digitales (ver figura 2.4 f) para grabar los datos de la velocidad del viento y la fuerza para su posterior análisis en gabinete.

Vela cuadrada: Como material para vela cuadrada se ha usado los banners (ver figura 2.5) debido a que tienen una contextura parecido a plástico y a la tela, son muy resistentes a la fuerza de tracción y livianos.

Gabinete: Se usó el software de Camtasia Studio 8 (ver figura 2.6) para unir los videos grabados en las 2 cámaras digitales y luego obtener los valores de la velocidad del viento, temperatura y la fuerza. Todos en un tiempo instantáneo.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2.4: Equipos de medición: (a) Medidor de altitud (GPS), (b) medidor de temperatura digital, (c) medidor de fuerza, (d) medidor de fuerza, (e) medidor de fuerza, (f) medidor de fuerza,

Fuente: elaboración propio



Figura 2.5: Vista de la vela cuadrada sometido a fuerzas de viento.
Fuente: Elaboración propio

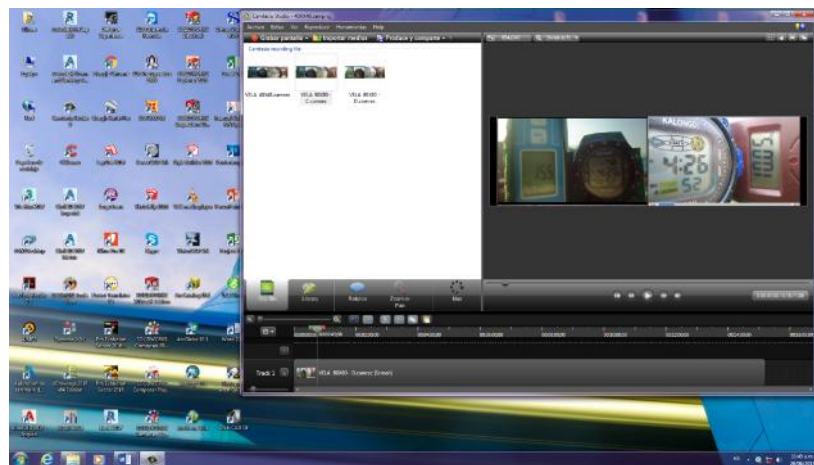


Figura 2.6: Herramientas usadas para el análisis y proceso de datos.
Fuente: Elaboración propio

2.7 Experimentación para validación

La primera experimentación se realizó para determinar el coeficiente de arrastre en una placa cuadrada (ver figura 2.7), puesto que en la muchos bibliografías consultadas se conoce su coeficiente de arrastre $C_d=1.18$ para comprobar que el equipo es fiable para realizar los experimentos.



Figura 2.7: Placa plana de 100cmx100cm para prueba de validación de equipo.

Fuente: Elaboración propio

Los datos recopilados y su procesamiento se muestran en la **Tabla 3.2**, asimismo, la prueba de bondad chi cuadrado aplicados a los datos se muestran en la **Tabla 3.3**.

2.8 Ejecución de la experimentación

Se inicia el proceso de experimentación instalando los equipos en horas tempranas aprovechando el poco flujo del viento. A partir de las 12:00pm se incrementa la velocidad del viento, es en esos momentos cuando se enciende el anemómetro, y el medidor de fuerza para registrar la fuerza según el tamaño de las velas cuadradas 20cmx20cm (ver figura 2.9), 40cmx40cm, 60cmx60cm, 80cmx80cm, 100cmx100cm, 120cmx120cm y 140cmx140cm (ver figura 2.10).

Luego de haber grabado los datos en el campo, en el gabinete se llenó el formato en Excel (ver figura 2.8) los datos registrados con las cámaras, para el cual se echó mano del software Camtasia estudio 8.

Z	:	1942		m.s.n.m
A	:	1.00		m ²
HR	:	0.65		

CALCULO DE COEFICIENTE DE ARRASTRE													
Nº	T C°	Pa atm	Pa pascal	Pvs pascal	Ff	Fmva	Fc	ρ_a kg/m ³	V m/s	Ft newton	Ft kg	Fr newton	Cd
1	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	5.1	12.0333	1.450	14.225	1.1820918
2	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	3.6	5.9958	0.695	6.818	1.1371123
3	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	3.0	4.1638	0.475	4.660	1.1191149
4	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	2.6	3.1275	0.390	3.826	1.2233239
5	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	4.3	8.5543	1.040	10.202	1.1926692
6	29.7	0.80317	83408.0000	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.9253	4.8	10.6593	1.195	11.723	1.099788
7	29.6	0.80311	83402.1084	4150.249	1.0037	0.03247	0.99969	0.9256	5.6	14.5132	1.630	15.990	1.1017733
8	29.5	0.80306	83396.2132	4126.412	1.0037	0.03228	0.99969	0.9259	6.4	18.9623	2.215	21.729	1.1459132
9	29.5	0.80306	83396.2132	4126.412	1.0037	0.03228	0.99969	0.9259	7.0	22.6844	2.625	25.751	1.1351968
10	29.4	0.80300	83390.3147	4102.694	1.0037	0.03210	0.99969	0.9262	7.3	24.6785	2.925	28.694	1.16272

Figura 2.8: Modelo de hoja Excel usado para el análisis de datos.

Fuente: Elaboración propio



Figura 2.9: Vela cuadrada de 20cmx20cm instalado en el lugar de experimentación.
Fuente: Elaboración propio



Figura 2.10: Vela cuadrada de 140cmx140cm instalado en el lugar de experimentación.
Fuente: Elaboración propio

2.9 Datos obtenidos.

Se ha realizado pruebas para determinar el coeficiente de arrastre de una placa de 1.0mx1.0m con el cual se valida el equipo y se ha realizado pruebas para hallar los coeficientes de arrastre con las velas con diferentes medidas propuestos, los que se muestran a continuación para su siguiente proceso de análisis estadístico.

Datos:

Z	:	Altitud del lugar de ensayo
T	:	Temperatura ambiental del lugar de ensayo
Pa	:	Presión absoluta del aire en el lugar de ensayo
Pvs	:	Presión de vapor saturado
Ff	:	Factor de fugacidad
Fmva	:	Factor molecular del vapor de agua
Fc	:	Factor de compresibilidad
a	:	Densidad del aire
V	:	Velocidad del viento
A	:	Área
HR	:	Humedad relativa
Ft	:	Fuerza teórico
Fr	:	Fuerza real
Cd	:	Coeficiente de arrastre

Z : 1943 m.s.n.m A : 1.00 m2 HR : 0.65

Tabla 2.1. Datos obtenidos en placa cuadrada 100cmx100cm. en zona ecológica mte-PMT en julio – 2016.

N°	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Fr	Cd	
	C°	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
1	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	5.1	12.0320	1.450	14.225	1.1822
2	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	3.6	5.9952	0.695	6.818	1.1372
3	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	3.0	4.1633	0.475	4.660	1.1192
4	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	2.6	3.1271	0.390	3.826	1.2235
5	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	4.3	8.5533	1.040	10.202	1.1928
6	29.7	0.8031	83398.8154	4174.206	1.0037	0.03265	0.99969	0.925	4.8	10.6581	1.195	11.723	1.0999
7	29.6	0.8030	83392.9213	4150.249	1.0037	0.03247	0.99969	0.925	5.6	14.5116	1.630	15.990	1.1019
8	29.5	0.8030	83387.0239	4126.412	1.0037	0.03229	0.99969	0.926	6.4	18.9601	2.215	21.729	1.1460
9	29.5	0.8030	83387.0239	4126.412	1.0037	0.03229	0.99969	0.926	7.0	22.6818	2.625	25.751	1.1353
10	29.4	0.8029	83381.1229	4102.694	1.0037	0.03210	0.99969	0.926	7.3	24.6757	2.925	28.694	1.1629
11	29.4	0.8029	83381.1229	4102.694	1.0037	0.03210	0.99969	0.926	4.0	7.4087	0.875	8.584	1.1586
12	29.4	0.8029	83381.1229	4102.694	1.0037	0.03210	0.99969	0.926	8.3	31.8992	3.775	37.033	1.1609
13	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	2.5	2.8950	0.375	3.679	1.2707
14	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	9.6	42.6883	4.725	46.352	1.0858
15	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	8.5	33.4660	3.925	38.504	1.1505
16	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	9.1	38.3574	4.485	43.998	1.1470
17	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	8.9	36.6899	4.205	41.251	1.1243
18	29.3	0.8028	83375.2185	4079.095	1.0037	0.03192	0.99969	0.926	10.1	47.2508	5.450	53.465	1.1315

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 0.04 m2 HR : 0.65

Tabla 2.2. Datos obtenidos en vela cuadrado de 20cm X 20cm. en zona ecológica mte-PMT en julio – 2016.

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Fr	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
1	28.7	0.8008	83164.957	3939.964	1.0037	0.03091	0.99969	0.9262	5.0	0.4631	0.060	0.5886	1.2710
2	28.7	0.8008	83164.957	3939.964	1.0037	0.03091	0.99969	0.9262	7.4	1.0144	0.150	1.4715	1.4507
3	28.7	0.8008	83164.957	3939.964	1.0037	0.03091	0.99969	0.9262	8.6	1.3700	0.190	1.8639	1.3605
4	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	5.5	0.5605	0.075	0.73575	1.3126
5	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	7.1	0.9341	0.135	1.32435	1.4178
6	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	8.9	1.4678	0.185	1.81485	1.2365
7	28.9	0.8009	83176.895	3985.875	1.0037	0.03126	0.99969	0.9256	4.1	0.3112	0.045	0.44145	1.4186
8	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	3.6	0.2401	0.035	0.34335	1.4297
9	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	3.1	0.1781	0.025	0.24525	1.3772
10	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	6.7	0.8321	0.125	1.22625	1.4737
11	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	5.7	0.6022	0.080	0.7848	1.3031
12	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	4.8	0.4269	0.060	0.5886	1.3787
13	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	4.7	0.4093	0.055	0.53955	1.3181
14	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	7.5	1.0423	0.135	1.32435	1.2706
15	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	8.9	1.4678	0.205	2.01105	1.3701
16	28.6	0.8007	83158.983	3917.181	1.0037	0.03073	0.99969	0.9265	9.4	1.6373	0.230	2.2563	1.3781
17	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	10.0	1.8536	0.260	2.5506	1.3760
18	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	10.7	2.1222	0.300	2.943	1.3868
19	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	11.8	2.5810	0.350	3.4335	1.3303
20	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	11.2	2.3252	0.320	3.1392	1.3501
21	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	12.4	2.8501	0.365	3.58065	1.2563
22	28.5	0.8007	83153.006	3894.514	1.0037	0.03056	0.99969	0.9268	9.8	1.7802	0.240	2.3544	1.3225

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 0.16 m2 HR : 0.65

Tabla 2.3. Datos obtenidos en vela cuadrado de 40cm x 40cm. en zona ecológica mte-PMT en julio-2016. (Continua)

N°	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	V ^a	Ft	Ft	Fr	Cd	
	C°	atm	pascal	pascal				kg/m ³	newton	kg	newton		
1	28.6	0.80244	83333.790	3917.181	1.0037	0.03067	0.9997	0.9285	6.1	2.764	0.395	3.87495	1.402
2	28.6	0.80244	83333.790	3917.181	1.0037	0.03067	0.9997	0.9285	6.3	2.948	0.380	3.7278	1.264
3	28.6	0.80244	83333.790	3917.181	1.0037	0.03067	0.9997	0.9285	7.6	4.290	0.605	5.93505	1.383
4	28.6	0.80244	83333.790	3917.181	1.0037	0.03067	0.9997	0.9285	8.9	5.884	0.785	7.70085	1.309
5	28.6	0.80244	83333.790	3917.181	1.0037	0.03067	0.9997	0.9285	8.0	4.754	0.710	6.9651	1.465
6	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	9.2	6.289	0.795	7.79895	1.240
7	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	8.0	4.756	0.635	6.22935	1.310
8	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	6.7	3.336	0.455	4.46355	1.338
9	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	6.5	3.139	0.430	4.2183	1.344
10	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	5.8	2.500	0.355	3.48255	1.393
11	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	6.8	3.436	0.470	4.6107	1.342
12	28.5	0.80238	83327.858	3894.514	1.0037	0.03049	0.9997	0.9288	7.0	3.641	0.490	4.8069	1.320
13	28.4	0.80232	83321.922	3871.960	1.0037	0.03032	0.9997	0.9291	7.4	4.070	0.565	5.54265	1.362
14	28.4	0.80232	83321.922	3871.960	1.0037	0.03032	0.9997	0.9291	5.4	2.167	0.295	2.89395	1.335
15	28.4	0.80232	83321.922	3871.960	1.0037	0.03032	0.9997	0.9291	4.8	1.713	0.240	2.3544	1.375
16	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	3.7	1.018	0.135	1.32435	1.301
17	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	3.4	0.860	0.120	1.1772	1.370
18	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	7.7	4.408	0.670	6.5727	1.491
19	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	9.1	6.157	0.940	9.2214	1.498
20	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	11.8	10.353	1.550	15.2055	1.469

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.3. Datos obtenidos en vela cuadrado de 40cm x 40cm. (continuación)

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
21	28.3	0.80226	83315.982	3849.520	1.0037	0.03014	0.9997	0.9294	13.4	13.351	1.780	17.4618	1.308
22	28.2	0.80221	83310.040	3827.194	1.0037	0.02997	0.9997	0.9297	11.0	9.000	1.005	9.85905	1.095
23	28.2	0.80221	83310.040	3827.194	1.0037	0.02997	0.9997	0.9297	10.4	8.045	1.080	10.5948	1.317
24	28.2	0.80221	83310.040	3827.194	1.0037	0.02997	0.9997	0.9297	12.3	11.253	1.450	14.2245	1.264
25	28.1	0.80215	83304.093	3804.980	1.0037	0.02980	0.9997	0.9300	9.6	6.857	1.020	10.0062	1.459
26	28.1	0.80215	83304.093	3804.980	1.0037	0.02980	0.9997	0.9300	10.6	8.360	1.180	11.5758	1.385
27	28.1	0.80215	83304.093	3804.980	1.0037	0.02980	0.9997	0.9300	8.4	5.250	0.710	6.9651	1.327
28	28	0.80209	83298.143	3782.879	1.0037	0.02963	0.9997	0.9303	10.5	8.206	1.220	11.9682	1.459
29	28	0.80209	83298.143	3782.879	1.0037	0.02963	0.9997	0.9303	8.5	5.377	0.720	7.0632	1.314
30	27.8	0.80197	83286.233	3739.011	1.0037	0.02929	0.9997	0.9309	9.0	6.032	0.800	7.848	1.301
31	27.8	0.80197	83286.233	3739.011	1.0037	0.02929	0.9997	0.9309	5.2	2.014	0.280	2.7468	1.364
32	27.8	0.80197	83286.233	3739.011	1.0037	0.02929	0.9997	0.9309	6.0	2.681	0.365	3.58065	1.336
33	27.9	0.80203	83292.190	3760.889	1.0037	0.02946	0.9997	0.9306	4.4	1.441	0.200	1.962	1.361
34	27.9	0.80203	83292.190	3760.889	1.0037	0.02946	0.9997	0.9306	12.4	11.448	1.465	14.37165	1.255

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 0.36 m2 HR : 0.65

Tabla 2.4. Datos obtenidos en vela cuadrado de 60cm x 60cm. en zona ecológica mte-PMT en julio-2016 (continua)

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
1	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	8.3	11.510	1.555	15.25455	1.3253
2	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	9.2	14.142	1.985	19.47285	1.3770
3	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	7.6	9.650	1.325	12.99825	1.3469
4	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	8.5	12.071	1.645	16.13745	1.3368
5	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	9.9	16.375	2.295	22.51395	1.3749
6	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	6.5	7.059	0.985	9.66285	1.3689
7	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	5.1	4.346	0.560	5.4936	1.2641
8	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	4.9	4.012	0.575	5.64075	1.4061
9	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	5.7	5.428	0.740	7.2594	1.3373
10	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	4.5	3.383	0.455	4.46355	1.3193
11	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	3.8	2.413	0.330	3.2373	1.3418
12	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	3.5	2.047	0.280	2.7468	1.3421
13	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	3.0	1.504	0.215	2.10915	1.4026
14	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	7.4	9.149	1.245	12.21345	1.3349
15	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	5.4	4.872	0.620	6.0822	1.2484
16	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	8.0	10.693	1.420	13.9302	1.3027
17	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	9.6	15.398	2.020	19.8162	1.2869

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4. Datos obtenidos en vela cuadrado de 60cm x 60cm. (continuación)

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
18	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	12.0	24.059	3.285	32.22585	1.3394
19	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	11.5	22.096	3.005	29.47905	1.3341
20	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	12.3	25.277	3.570	35.0217	1.3855
21	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	13.0	28.236	3.220	31.5882	1.1187
22	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	10.4	18.071	2.450	24.0345	1.3300
23	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.0308	0.9997	0.9282	12.4	25.690	3.470	34.0407	1.3251
24	28.9	0.8026	83351.566	3985.875	1.0037	0.0312	0.9997	0.9276	7.0	8.182	1.200	11.772	1.4389
25	28.9	0.8026	83351.5659	3985.875	1.0037	0.0312	0.999694	0.9276	2.3	0.883	0.120	1.1772	1.3328

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 0.64 m2 HR : 0.65

Tabla 2.5. Datos obtenidos en vela cuadrado de 80cm x 80cm. en zona ecológica mte-PMT en julio – 2016. (Continúa)

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	V _a	Ft	Ft	Fr	Cd	
	Cº	atm	pascal	pascal				m/s	newton	kg	newton		
1	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	3.7	4.066	0.575	5.641	1.387
2	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	3.8	4.289	0.600	5.886	1.372
3	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	4.5	6.015	0.855	8.388	1.394
4	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	4.0	4.752	0.640	6.278	1.321
5	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	2.5	1.856	0.250	2.453	1.321
6	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	3.1	2.854	0.405	3.973	1.392
7	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	5.5	8.985	1.180	11.576	1.288
8	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	6.4	12.166	1.635	16.039	1.318
9	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	7.0	14.554	2.080	20.405	1.402
10	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	8.9	23.528	3.195	31.343	1.332
11	27.7	0.8019	83280.273	3717.243	1.0037	0.02912	0.9997	0.9312	5.1	7.751	1.075	10.546	1.361
12	28.7	0.8025	83339.719	3939.964	1.0037	0.03084	0.9997	0.9282	6.7	13.334	1.845	18.099	1.357
13	27.5	0.8018	83268.341	3674.040	1.0037	0.02878	0.9997	0.9318	7.3	15.890	2.115	20.748	1.306
14	30.1	0.8033	83422.357	4271.239	1.0037	0.03340	0.9997	0.9240	5.8	9.946	1.365	13.391	1.346
15	30.2	0.8034	83428.234	4295.802	1.0038	0.03359	0.9997	0.9237	7.4	16.185	2.190	21.484	1.327
16	30.2	0.8034	83428.234	4295.802	1.0038	0.03359	0.9997	0.9237	8.2	19.874	2.665	26.144	1.315
17	30.2	0.8034	83428.234	4295.802	1.0038	0.03359	0.9997	0.9237	9.6	27.240	3.725	36.542	1.342

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5. Datos obtenidos en vela cuadrado de 80cm x 80cm. (continuación)

Nº	T	Pa	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	V _a	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal	pascal			kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
18	26.3	0.8011	83196.455	3423.883	1.0036	0.02685	0.9997	0.9354	11.2	37.549	5.040	49.442	1.317
19	26.3	0.8011	83196.455	3423.883	1.0036	0.02685	0.9997	0.9354	12.2	44.554	6.085	59.694	1.340
20	26.3	0.8011	83196.455	3423.883	1.0036	0.02685	0.9997	0.9354	13.1	51.370	6.770	66.414	1.293
21	26.3	0.8011	83196.455	3423.883	1.0036	0.02685	0.9997	0.9354	15.5	71.917	10.050	98.591	1.371
22	26.3	0.8011	83196.455	3423.883	1.0036	0.02685	0.9997	0.9354	13.8	57.007	7.835	76.861	1.348
23	26.2	0.8010	83190.441	3403.724	1.0036	0.02669	0.9997	0.9357	12.8	49.060	6.770	66.414	1.354
24	26.2	0.8010	83190.441	3403.724	1.0036	0.02669	0.9997	0.9357	9.3	25.898	3.546	34.786	1.343
25	26.2	0.8010	83190.441	3403.724	1.0036	0.02669	0.9997	0.9357	14.1	59.531	8.105	79.510	1.336
26	26.2	0.8010	83190.441	3403.724	1.0036	0.02669	0.9997	0.9357	10.7	34.283	4.890	47.971	1.399
27	26.1	0.8010	83184.424	3383.668	1.0036	0.02654	0.9997	0.9360	12.5	46.802	6.315	61.950	1.324
28	26.1	0.8010	83184.424	3383.668	1.0036	0.02654	0.9997	0.9360	10.6	33.656	4.685	45.960	1.366
29	26.1	0.8010	83184.424	3383.668	1.0036	0.02654	0.9997	0.9360	15.0	67.395	9.405	92.263	1.369
30	26.1	0.8010	83184.424	3383.668	1.0036	0.02654	0.9997	0.9360	13.2	52.191	6.970	68.376	1.310

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 1.00 m2 HR : 0.65

Tabla 2.6. Datos obtenidos en vela cuadrado de 100cm x 100cm. en zona ecológica mte-PMT en julio - 2016 .

Nº	T	Pa	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	kg	newton	
1	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	10.7	53.3087	7.450	73.085	1.3710	
2	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	9.5	42.0221	5.555	54.495	1.2968	
3	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	10.0	46.5618	7.055	69.210	1.4864	
4	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	11.4	60.5118	8.835	86.671	1.4323	
5	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	12.5	72.7529	9.630	94.470	1.2985	
6	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	12.0	67.0491	9.220	90.448	1.3490	
7	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	13.8	88.6724	11.660	114.385	1.2900	
8	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	7.5	26.1910	3.645	35.757	1.3653	
9	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	8.3	32.0765	4.445	43.605	1.3594	
10	27.5	0.80179	83268.341	3674.040	1.0037	0.028785	0.9997	0.9318	5.0	11.6480	1.605	15.745	1.3517	
11	27.5	0.80179	83268.341	3674.040	1.0037	0.028785	0.9997	0.9318	6.2	17.9100	2.430	23.838	1.3310	
12	27.5	0.80179	83268.341	3674.040	1.0037	0.028785	0.9997	0.9318	6.4	19.0841	2.540	24.917	1.3057	
13	27.5	0.80179	83268.341	3674.040	1.0037	0.028785	0.9997	0.9318	11.9	65.9789	9.080	89.075	1.3501	
14	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	8.6	34.4371	4.640	45.518	1.3218	
15	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	5.9	16.2082	2.220	21.778	1.3437	
16	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	7.4	25.4973	3.655	35.856	1.4063	
17	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	5.8	15.6634	2.095	20.552	1.3121	
18	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	4.5	9.4288	1.250	12.263	1.3005	
19	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	14.5	97.8963	12.670	124.293	1.2696	
20	27.7	0.80191	83280.273	3717.243	1.0037	0.029119	0.9997	0.9312	13.3	82.3632	11.090	108.793	1.3209	

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 1.44 m2 HR : 0.65

Tabla 2.7. Datos obtenidos en vela cuadrado de 120cm x 120cm. en zona ecológica mte-PMT en julio- 2016

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	V _a	Ft	Ft	Fr	Cd	
	Cº	atm	pascal	pascal			kg/m ³	m/s	newton	kg	newton		
1	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	4.9	16.1919	2.275	22.318	1.3783
2	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	4.0	10.7901	1.515	14.862	1.3774
3	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	7.0	33.0446	4.650	45.617	1.3805
4	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	7.7	39.9840	5.450	53.465	1.3371
5	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	8.4	47.5843	6.465	63.422	1.3328
6	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	5.9	23.4752	3.370	33.060	1.4083
7	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	7.3	35.9377	4.975	48.805	1.3580
8	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	8.5	48.7240	6.530	64.059	1.3147
9	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	6.8	31.1833	4.240	41.594	1.3339
10	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	9.6	62.1509	9.450	92.705	1.4916
11	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	5.2	18.2352	2.510	24.623	1.3503
12	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	3.5	8.2612	1.165	11.429	1.3834
13	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	2.7	4.9162	0.670	6.573	1.3369
14	25.9	0.8008	83172.379	3343.864	1.0036	0.0262	0.99969	0.9366	3.0	6.0694	0.845	8.289	1.3658
15	26.9	0.8014	83232.462	3547.041	1.0036	0.0278	0.99969	0.9336	10.1	68.5735	9.305	91.282	1.3312
16	26.9	0.8014	83232.462	3547.041	1.0036	0.0278	0.99969	0.9336	6.3	26.6805	3.595	35.267	1.3218
17	26.9	0.8014	83232.462	3547.041	1.0036	0.0278	0.99969	0.9336	10.6	75.5310	9.900	97.119	1.2858
18	27.2	0.8016	83250.418	3610.054	1.0036	0.0283	0.99969	0.9327	12.5	104.9335	13.390	131.356	1.2518
19	27.2	0.8016	83250.418	3610.054	1.0036	0.0283	0.99969	0.9327	11.4	87.2778	10.720	105.163	1.2049
20	27.2	0.8016	83250.418	3610.054	1.0036	0.0283	0.99969	0.9327	11.3	85.7533	11.350	111.344	1.2984

Fuente: Elaboración propia.

Z : 1943 m.s.n.m A : 1.96 m2 HR : 0.65

Tabla 2.8. Datos obtenidos en vela cuadrado de 140cm x 140cm. en zona ecológica mte-PMT en julio-2016.

Nº	T	Pa	Pa	Pvs	Ff	Fmva	Fc	a	V	Ft	Ft	Fr	Cd
	Cº	atm	pascal	pascal				kg/m ³	m/s	newton	newton	kg	newton
1	30	0.80326	83416.477	4246.799	1.004	0.0332	0.99970	0.9243	4.3	16.747864	2.280	22.3668	1.3355
2	30	0.80326	83416.477	4246.799	1.004	0.0332	0.99970	0.9243	2.5	5.661122	0.835	8.19135	1.4469
3	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	3.2	9.272121	1.255	12.31155	1.3278
4	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	4.0	14.487689	1.670	16.3827	1.1308
5	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	5.4	26.403814	3.660	35.9046	1.3598
6	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	5.0	22.637015	3.085	30.26385	1.3369
7	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	6.8	41.869423	5.860	57.4866	1.3730
8	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	8.5	65.420973	8.170	80.1477	1.2251
9	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	8.1	59.408582	7.440	72.9864	1.2285
10	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	7.6	52.300559	6.940	68.0814	1.3017
11	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	4.8	20.862273	2.970	29.1357	1.3966
12	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	4.9	21.740589	3.170	31.0977	1.4304
13	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	6.3	35.938525	4.925	48.31425	1.3444
14	30.1	0.80331	83422.357	4271.239	1.004	0.0334	0.99970	0.9240	3.4	10.467356	1.505	14.76405	1.4105

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Pruebas estadísticas para el análisis de datos cuantitativos

Luego de haber recopilado los datos posteriores a la experimentación con la placa y las velas se procede al análisis mediante los métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos como los siguientes.

3.1.1. Prueba no paramétrica Chi cuadrada: Prueba de bondad

Este tipo de prueba se realizará para validar el resultado de la placa plana ya que se necesita conocer la diferencia entre los coeficientes obtenidos con el coeficiente esperado, mediante la siguiente formula:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Con } k-1 \text{ grados de libertad}$$

El numerador de cada término es la diferencia entre la frecuencia observada y la frecuencia esperada. Por tanto, cuanto más cerca estén entre sí ambos valores más pequeño será el numerador, y viceversa.

Las ideas anteriores sugieren que, cuanto menor sean el valor del estadístico χ^2 , más coherentes serán las observaciones obtenidas con los valores esperados. Por el contrario, valores grandes de este estadístico indicarán falta de concordancia entre las observaciones y lo esperado.

3.1.2. Prueba paramétrica coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal

Este tipo de prueba se realizará a los datos obtenidos tanto de la placa plana y de las diferentes velas, para conocer la tendencia lineal entre la fuerza teórica y fuerza real el cual se ajustara a una recta con sus respectivas coeficientes de correlación, mediante las siguientes formula:

Ecuación: $Y = b_1X + b_0$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b_0 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Coefficiente de Pearson:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}$$

Tabla 3.1. Correlación lineal entre dos variables

Valores de r				Tipo y grado de correlación	
		-1			Negativa perfecta
-1	<	r	<	-0.8	Negativa fuerte
-0.8	<	r	<	-0.5	Negativa moderada
-0.5	<	r	<	0	Negativa débil
		0			No existe
0	<	r	<	0.5	Positiva débil
0.5	<	r	<	0.8	Positiva moderada
0.8	<	r	<	1	Positiva fuerte
		1			Positiva perfecta

3.1.3. Prueba paramétrica ANOVA (análisis de la varianza)

Este tipo de prueba se realizará a los coeficientes de arrastre de las 07 velas cuadradas, para conocer la relación de similitud entre los coeficientes obtenidos.

Se usa el ANOVA para determinar si dos o más grupos son iguales, si dos o más cursos de acción arrojan resultados similares o si dos o más conjuntos de observaciones son parecidos. (Vicens, Herrarte & Sánchez, 2005).

Una aproximación simple sería comparar las medias de estos grupos y ver si las medias aritméticas de la variable estudiada son parecidas o diferentes. Pero tal aproximación no es válida ya que la dispersión de las observaciones influirá en la posibilidad de comparar los promedios o medias de cada grupo. Por tanto el análisis de la varianza se va a basar no sólo en la descomposición de la variación total, sino además en la comparación de la variación ENTRE-grupos y la variación INTRA-grupos, teniendo en cuenta sus correspondientes grados de libertad. Según el siguiente procedimiento.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F
FACTOR	S	$c-1$	C	C
ERROR	S	$n-c$	C	

Donde:

$$S = \sum x^2 - \sum \frac{C^2}{k} \qquad C = \frac{S}{c-1}$$

$$S = \sum \frac{C^2}{k} - \frac{(x)^2}{n} \qquad C = \frac{S}{n-c}$$

$$C_i = \text{Suma de datos de cada columna.} \qquad C = \frac{C}{C} \cdot r$$

k_i = Numero de datos en cada columna.

x = Datos originales.

c = Numero de columnas.

n = Número total de datos

El $CM_{factor}(F)$ se compara con $F_{g-1, n-g}$ (F de la tabla).

Si $CM_{factor} < F_{g-1, n-g}$, se acepta la hipótesis porque no existe efectos diferenciales entre los grupos.

3.2. Análisis estadístico e interpretación de los datos obtenidos

Prueba paramétrica, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (placa 100cm100cm)

Tabla 3.2. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Placa plana 100cmx100cm

Observación	F. Real (N)	F. Teórico (N)			
	xi	yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	2.8950	3.6788	10.650	8.380947963	13.533
2	3.1271	3.8259	11.964	9.778788095	14.638
3	4.1633	4.6598	19.400	17.33311674	21.713
4	5.9952	6.8180	40.875	35.94195088	46.484
5	7.4087	8.5838	63.595	54.88934916	73.681
6	8.5533	10.2024	87.264	73.1586134	104.09
7	10.6581	11.7230	124.944	113.5943139	137.43
8	12.0320	14.2245	171.149	144.7679243	202.34
9	14.5116	15.9903	232.045	210.5859984	255.69
10	18.9601	21.7292	411.988	359.4866529	472.16
11	22.6818	25.7513	584.085	514.4640527	663.13
12	24.6757	28.6943	708.051	608.8910022	823.36
13	31.8992	37.0328	1181.316	1017.561075	1371.4
14	33.4660	38.5043	1288.585	1119.976248	1482.6
15	36.6899	41.2511	1513.497	1346.14901	1701.6
16	38.3574	43.9979	1687.644	1471.29134	1935.8
17	42.6883	46.3523	1978.699	1822.292306	2148.5
18	47.2508	53.4645	2526.241	2232.639503	2858
Suma	366.0136	416.4836	12641.991	11161.18219	14327

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.122235091, \quad b_0 = 0.318349867 \quad Y = 1.222X + 0.31834$$

$$r = 0.999274037, \quad r^2 = 0.998548601$$



Figura 3.1: Grafica de fuerza real vs fuerza teórico placa 100cmx100cm.

Fuente: Elaboración propio

Prueba no paramétrica Chi cuadrada: prueba de bondad (placa 100cmx100 cm)

Tabla 3.3. Datos para prueba de bondad, chi cuadrado. Placa plana 100cmx100cm

Observación	Cd	Cd esperado		
	xi	Ei	(Oi - Ei) ²	(Oi - Ei) ² /Ei
1	1.1822	1.18	0.00000	0.0000042026
2	1.1372	1.18	0.00183	0.0015493428
3	1.1192	1.18	0.00369	0.0031283429
4	1.2235	1.18	0.00189	0.0016009282
5	1.1928	1.18	0.00016	0.0001389657
6	1.0999	1.18	0.00641	0.0054354352
7	1.1019	1.18	0.00610	0.0051692676
8	1.1460	1.18	0.00115	0.0009771178
9	1.1353	1.18	0.00200	0.0016912850
10	1.1629	1.18	0.00029	0.0002491472
11	1.1586	1.18	0.00046	0.0003881505
12	1.1609	1.18	0.00036	0.0003082177
13	1.2707	1.18	0.00823	0.0069764033
14	1.0858	1.18	0.00887	0.0075152596
15	1.1505	1.18	0.00087	0.0007351654
16	1.1470	1.18	0.00109	0.0009201214
17	1.1243	1.18	0.00310	0.0026277067
18	1.1315	1.18	0.00235	0.0019930790
Suma				0.041408139

Fuente: Elaboración propio

$$\chi^2: 0.041408139$$

$$\chi^2_{0.95}(17): 27.587$$

$$Gl: 17$$

$$\chi^2 < \chi^2_{0.95}(17)$$

➤ Por lo que, el equipo es válido para realizar experimentos con velas cuadradas.

Prueba paramétrica ANOVA de coeficientes de arrastre de las velas.

Tabla 3.4. Coeficientes de arrastre de las velas halladas en las pruebas.

N° PRUEBA	VELA 20X20	VELA 40X40	VELA 60X60	VELA 80X80	VELA 100X100	VELA 120X120	VELA 140X140
1	1.271	1.402	1.325	1.387	1.371	1.378	1.336
2	1.451	1.264	1.377	1.372	1.297	1.377	1.447
3	1.360	1.383	1.347	1.394	1.486	1.380	1.328
4	1.313	1.309	1.337	1.321	1.432	1.337	1.131
5	1.418	1.465	1.375	1.321	1.299	1.333	1.360
6	1.236	1.240	1.369	1.392	1.349	1.408	1.337
7	1.419	1.310	1.264	1.288	1.290	1.358	1.373
8	1.430	1.338	1.406	1.318	1.365	1.315	1.225
9	1.377	1.344	1.337	1.402	1.359	1.334	1.229
10	1.474	1.393	1.319	1.332	1.352	1.492	1.302
11	1.303	1.342	1.342	1.361	1.331	1.350	1.397
12	1.379	1.320	1.342	1.357	1.306	1.383	1.430
13	1.318	1.362	1.403	1.306	1.350	1.337	1.344
14	1.271	1.335	1.335	1.346	1.322	1.366	1.410
15	1.370	1.375	1.248	1.327	1.344	1.331	
16	1.378	1.301	1.303	1.315	1.406	1.322	
17	1.376	1.370	1.287	1.342	1.312	1.286	
18	1.387	1.491	1.339	1.317	1.301	1.252	
19	1.330	1.498	1.334	1.340	1.270	1.205	
20	1.350	1.469	1.385	1.293	1.321	1.298	
21	1.256	1.308	1.119	1.371			
22	1.323	1.095	1.330	1.348			
23		1.317	1.325	1.354			
24		1.264	1.439	1.343			
25		1.459	1.333	1.336			
26		1.385		1.399			
27		1.327		1.324			
28		1.459		1.366			
29		1.314		1.369			
30		1.301		1.310			
31		1.364					
32		1.336					
33		1.361					
34		1.255					
Promedio =	1.3541	1.3487	1.3328	1.3451	1.3431	1.3422	1.3320

Gran promedio = promedio/7 =1.343

Ci =	29.789	45.855	33.321	40.352	26.862	26.843	18.648	221.669
(Ci) ² =	887.39	2102.65	1110.26	1628.28	721.56	720.55	347.75	7518.44
ki =	22	34	25	30	20	20	14	165.00
(Ci) ² /ki=	40.336	61.843	44.410	54.276	36.078	36.027	24.839	297.810

Tabla 3.5. Cuadrado de los coeficientes de arrastre de las velas halladas en las pruebas.

N° PRUEBA	VELA 20X20	VELA 40X40	VELA 60X60	VELA 80X80	VELA 100X100	VELA 120X120	VELA 140X140
1	1.6154	1.9654	1.7565	1.9243	1.8796	1.8998	1.7836
2	2.1044	1.5988	1.8961	1.8833	1.6817	1.8972	2.0937
3	1.8509	1.9135	1.8141	1.9446	2.2094	1.9056	1.7631
4	1.7229	1.7130	1.7871	1.7453	2.0515	1.7880	1.2787
5	2.0101	2.1465	1.8903	1.7453	1.6861	1.7764	1.8491
6	1.5289	1.5377	1.8738	1.9373	1.8198	1.9833	1.7874
7	2.0125	1.7159	1.5981	1.6598	1.6640	1.8443	1.8851
8	2.0442	1.7907	1.9772	1.7380	1.8639	1.7285	1.5009
9	1.8968	1.8054	1.7884	1.9655	1.8480	1.7792	1.5093
10	2.1718	1.9411	1.7405	1.7747	1.8272	2.2249	1.6945
11	1.6982	1.8008	1.8005	1.8512	1.7716	1.8233	1.9504
12	1.9008	1.7430	1.8011	1.8426	1.7048	1.9139	2.0460
13	1.7375	1.8543	1.9674	1.7048	1.8226	1.7874	1.8073
14	1.6144	1.7827	1.7820	1.8125	1.7471	1.8653	1.9895
15	1.8773	1.8900	1.5585	1.7619	1.8054	1.7720	
16	1.8990	1.6927	1.6971	1.7304	1.9775	1.7472	
17	1.8934	1.8758	1.6562	1.7996	1.7216	1.6533	
18	1.9231	2.2229	1.7941	1.7338	1.6914	1.5670	
19	1.7698	2.2429	1.7799	1.7951	1.6120	1.4518	
20	1.8228	2.1571	1.9196	1.6715	1.7448	1.6859	
21	1.5784	1.7106	1.2515	1.8794			
22	1.7491	1.2001	1.7689	1.8179			
23		1.7344	1.7558	1.8326			
24		1.5979	2.0703	1.8041			
25		2.1295	1.7763	1.7838			
26		1.9174		1.9580			
27		1.7602		1.7521			
28		2.1274		1.8649			
29		1.7253		1.8741			
30		1.6925		1.7164			
31		1.8605					
32		1.7836					
33		1.8529					
34		1.5761					
Suma cuadrados =	40.4217	62.0585	44.5010	54.3047	36.1300	36.0944	24.9386
Suma total de cuadrados =	298.449						

$\sum x =$	221.6692
$(\sum x)^2 =$	49137.24
n	165
$(\sum x)^2/n =$	297.801

Tabla 3.6. Tabla del ANOVA.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADO	F(0.05,6,158) TABLA
FACTOR	0.0082	6	0.0014	0.3325	2.154
ERROR	0.6473	158	0.0041		

$$F < F(0.05, 6, 158)$$

$$0.3325 < 2.154$$

VALORES DEL 5% SUPERIOR PARA LA DISTRIBUCION F

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	161.446	199.499	216.707	224.683	230.160	233.998	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.906	244.690	245.363	245.949	246.466
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.406	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.190	2.102	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654

Figura 3.2: Tabla de distribución F.
Fuente: Estadística (Gómez Gira, Hugo, 2009)

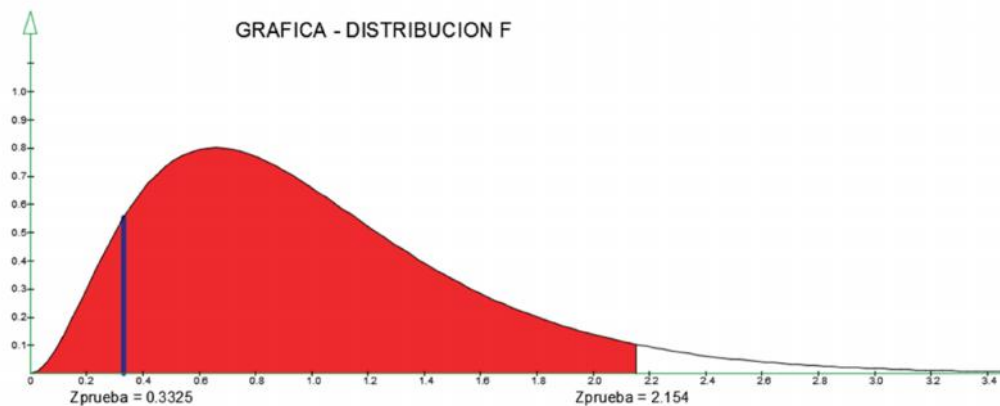


Figura 3.3: Gráfica de la distribución F.

Fuente: Elaboración propia.

Prueba paramétrica, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (vela 20cmx20cm)

Tabla 3.7. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 20cmx20cm

Observación	F. Teórico(N)	F. Real(N)			
	x_i	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	0.17807	0.2453	0.044	0.032	0.0601
2	0.24015	0.3434	0.082	0.058	0.1179
3	0.31118	0.4415	0.137	0.097	0.1949
4	0.40933	0.5396	0.221	0.168	0.2911
5	0.46310	0.5886	0.273	0.214	0.3464
6	0.42693	0.5886	0.251	0.182	0.3464
7	0.56053	0.7358	0.412	0.314	0.5413
8	0.60224	0.7848	0.473	0.363	0.6159
9	0.83208	1.2263	1.020	0.692	1.5037
10	0.93410	1.3244	1.237	0.873	1.7539
11	1.04231	1.3244	1.380	1.086	1.7539
12	1.01437	1.4715	1.493	1.029	2.1653
13	1.46776	1.8149	2.664	2.154	3.2937
14	1.37003	1.8639	2.554	1.877	3.4741
15	1.46776	2.0111	2.952	2.154	4.0443
16	1.63731	2.2563	3.694	2.681	5.0909
17	1.78020	2.3544	4.191	3.169	5.5432
18	1.85360	2.5506	4.728	3.436	6.5056
19	2.12219	2.9430	6.246	4.504	8.6612
20	2.32516	3.1392	7.299	5.406	9.8546
21	2.58095	3.4335	8.862	6.661	11.7889
22	2.85010	3.5807	10.205	8.123	12.8211
Suma	26.4694	35.5613	60.418	45.273	80.7686

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.313226844, \quad b_0 = 0.036402651 \quad Y = 1.3132X + 0.0364$$

$$r = 0.997167497, \quad r^2 = 0.99434302$$

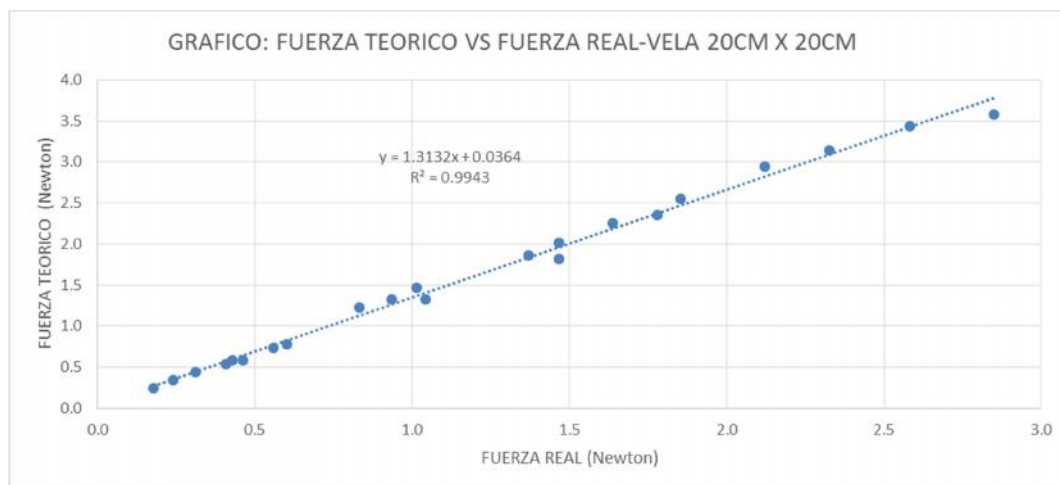


Figura 3.4: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 20cmx20cm.
Fuente: Elaboración propio

Prueba paramétrica, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (vela 40cmx40cm)

Tabla 3.8. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 40cmx40cm

observación	F. Teórico(N)	F. Real(N)	xi.yi	xi ²	yi ²
	xi	yi			
1	0.85953	1.1772	1.012	0.739	1.3858
2	1.01791	1.3244	1.348	1.036	1.7539
3	1.44137	1.9620	2.828	2.078	3.8494
4	1.71256	2.3544	4.032	2.933	5.5432
5	2.01380	2.7468	5.532	4.055	7.5449
6	2.16746	2.8940	6.273	4.698	8.3749
7	2.49964	3.4826	8.705	6.248	12.1282
8	2.68109	3.5807	9.600	7.188	12.8211
9	2.94823	3.7278	10.990	8.692	13.8965
10	2.76401	3.8750	10.710	7.640	15.0152
11	3.13942	4.2183	13.243	9.856	17.7941
12	3.33558	4.4636	14.889	11.126	19.9233
13	3.43590	4.6107	15.842	11.805	21.2586
14	3.64098	4.8069	17.502	13.257	23.1063
15	4.07031	5.5427	22.560	16.567	30.7210
16	4.29050	5.9351	25.464	18.408	35.2248
17	4.75556	6.2294	29.624	22.615	38.8048
18	4.40845	6.5727	28.975	19.434	43.2004
19	4.75402	6.9651	33.112	22.601	48.5126

20	5.24983	6.9651	36.566	27.561	48.5126
21	5.37732	7.0632	37.981	28.916	49.8888
22	5.88384	7.7009	45.311	34.620	59.3031
23	6.28923	7.7990	49.049	39.554	60.8236
24	6.03246	7.8480	47.343	36.391	61.5911
25	6.15726	9.2214	56.779	37.912	85.0342
26	8.99977	9.8591	88.729	80.996	97.2009
27	6.85693	10.0062	68.612	47.017	100.1240
28	8.04475	10.5948	85.233	64.718	112.2498
29	8.35986	11.5758	96.772	69.887	133.9991
30	8.20553	11.9682	98.205	67.331	143.2378
31	11.25269	14.2245	160.064	126.623	202.3364
32	11.44754	14.3717	164.520	131.046	206.5443
33	10.35306	15.2055	157.423	107.186	231.2072
34	13.35102	17.4618	233.133	178.250	304.9145
Suma	177.7974	238.3340	1687.961	1268.984	2257.8264

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.301898729, \quad b_0 = 0.201756432 \quad Y = 1.3019x + 0.2018$$

$$r = 0.989567371, \quad r^2 = 0.97924358$$

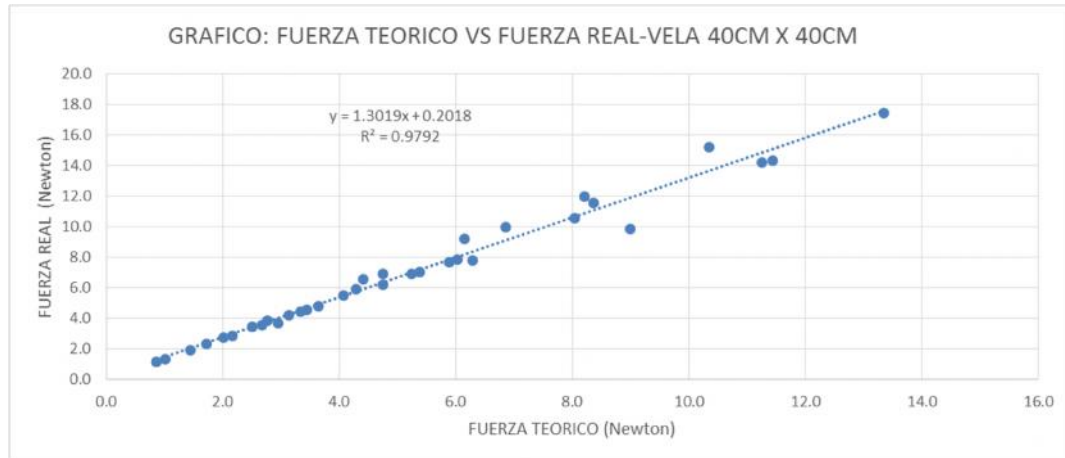


Figura 3.5: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 40cmx40cm.
Fuente: Elaboración propio

Tabla 3.9. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 60cmx60cm

Observación	F. Real(N)	F. Teórico(N)			
	xi	yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	1.17720	0.8833	1.040	1.386	0.7802
2	2.10915	1.5037	3.172	4.449	2.2611
3	2.74680	2.0467	5.622	7.545	4.1890
4	3.23730	2.4126	7.810	10.480	5.8207
5	4.46355	3.3833	15.102	19.923	11.4470
6	5.49360	4.3457	23.874	30.180	18.8853
7	5.64075	4.0116	22.628	31.818	16.0926
8	6.08220	4.8720	29.633	36.993	23.7366
9	7.25940	5.4284	39.407	52.699	29.4674
10	9.66285	7.0591	68.211	93.371	49.8306
11	11.77200	8.1815	96.313	138.580	66.9372
12	12.21345	9.1492	111.744	149.168	83.7086
13	12.99825	9.6505	125.439	168.955	93.1317
14	13.93020	10.6930	148.956	194.050	114.3412
15	15.25455	11.5101	175.581	232.701	132.4815
16	16.13745	12.0714	194.802	260.417	145.7198
17	19.47285	14.1416	275.376	379.192	199.9835
18	19.81620	15.3980	305.130	392.682	237.0980
19	22.51395	16.3754	368.675	506.878	268.1537
20	24.03450	18.0712	434.333	577.657	326.5700
21	29.47905	22.0962	651.374	869.014	488.2411
22	31.58820	28.2363	891.935	997.814	797.2901
23	32.22585	24.0594	775.333	1038.505	578.8525
24	34.04070	25.6900	874.507	1158.769	659.9783
25	35.02170	25.2774	885.256	1226.519	638.9449
Suma	378.3717	286.5477	6531.252	8579.747	4993.9428

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.28359993, \quad b_0 = 0.42236535 \quad Y = 1.2836X + 0.4224$$

$$r = 0.99359699, \quad r^2 = 0.98723497$$

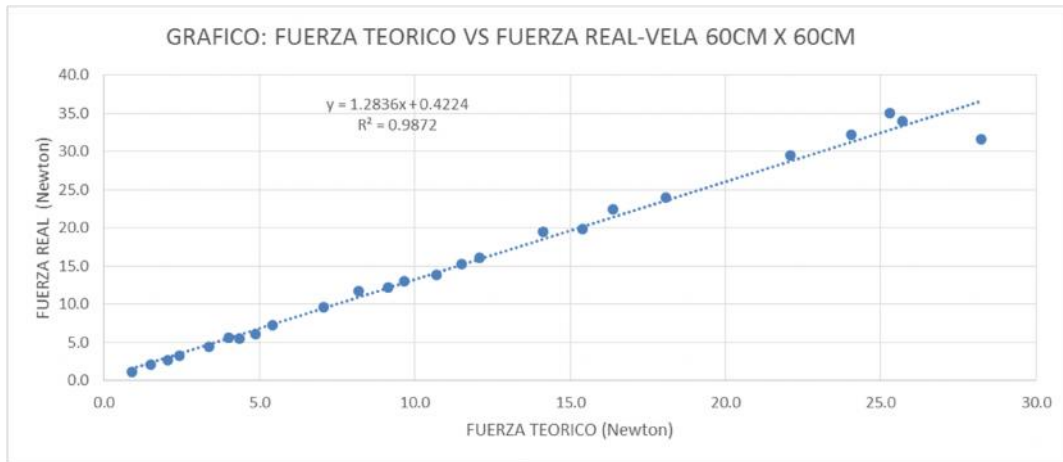


Figura 3.6: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 60x60cm².
Fuente: Elaboración propio

Tabla 3.10. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 80cmx80cm

Observación	F. Real(N)	F. Teórico(N)			
	x_i	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1.85643	2.4525	4.553	3.446	6.0148
2	2.85445	3.9731	11.341	8.148	15.7851
3	4.06633	5.6408	22.937	16.535	31.8181
4	4.28910	5.8860	25.246	18.396	34.6450
5	4.75246	6.2784	29.838	22.586	39.4183
6	6.01484	8.3876	50.450	36.178	70.3510
7	7.75087	10.5458	81.739	60.076	111.2128
8	8.98513	11.5758	104.010	80.733	133.9991
9	9.94624	13.3907	133.187	98.928	179.3095
10	12.16631	16.0394	195.140	148.019	257.2607
11	13.33363	18.0995	241.331	177.786	327.5901
12	14.55442	20.4048	296.980	211.831	416.3559
13	15.89047	20.7482	329.698	252.507	430.4857
14	16.18538	21.4839	347.725	261.967	461.5580
15	19.87409	26.1437	519.581	394.979	683.4904
16	23.52767	31.3430	737.427	553.551	982.3805
17	25.89834	34.7863	900.906	670.724	1210.0839
18	27.23968	36.5423	995.399	742.000	1335.3360
19	33.65554	45.9599	1546.804	1132.695	2112.3078
20	34.28258	47.9709	1644.566	1175.295	2301.2072
21	37.54940	49.4424	1856.533	1409.958	2444.5509
22	44.55399	59.6939	2659.599	1985.058	3563.3557
23	46.80205	61.9502	2899.394	2190.432	3837.8211
24	51.37000	66.4137	3411.672	2638.877	4410.7795
25	49.05981	66.4137	3258.244	2406.865	4410.7795
26	52.19065	68.3757	3568.572	2723.864	4675.2364
27	57.00660	76.8614	4381.604	3249.753	5907.6671
28	59.53114	79.5101	4733.324	3543.956	6321.8481
29	67.39495	92.2631	6218.063	4542.079	8512.4704
30	71.91680	98.5905	7090.314	5172.027	9720.0867
Suma	824.4994	1107.1664	48296.176	35929.250	64945.2055

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.34653733, \quad b_0 = -0.10175912 \quad Y = 0.7419X + 0.1043$$

$$r = 0.99947534, \quad r^2 = 0.99895095$$

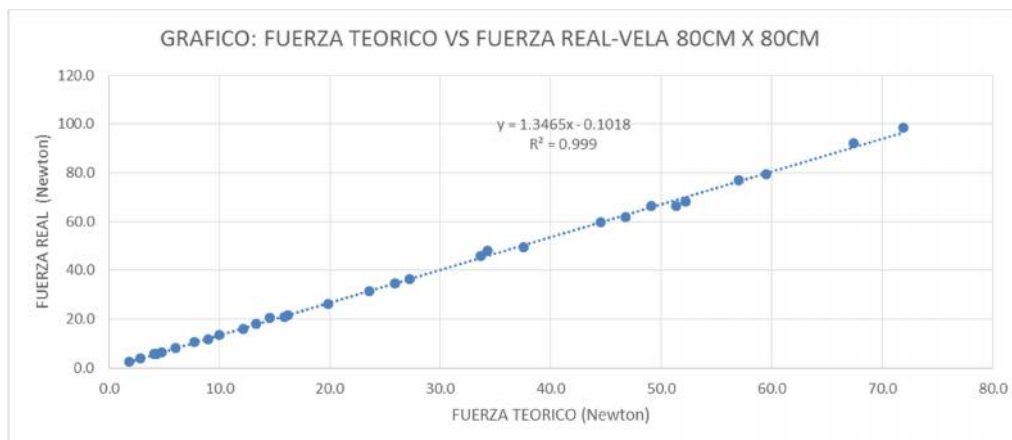


Figura 3.7: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 80cmx80cm.
Fuente: Elaboración propio

Prueba paramétrica, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (vela 100cmx100cm)

Tabla 3.11. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 100cmx100cm

Observación	F. Real(N)	F. Teórico(N)			
	xi	yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	9.42877	12.2625	115.620	88.902	150.3689
2	11.64799	15.7451	183.398	135.676	247.9066
3	15.66340	20.5520	321.914	245.342	422.3826
4	16.20818	21.7782	352.985	262.705	474.2900
5	17.90995	23.8383	426.943	320.766	568.2645
6	19.08407	24.9174	475.525	364.202	620.8768
7	26.19104	35.7575	936.525	685.970	1278.5952
8	25.49727	35.8556	914.219	650.111	1285.6205
9	32.07646	43.6055	1398.708	1028.899	1901.4353
10	34.43714	45.5184	1567.524	1185.917	2071.9247
11	42.02207	54.4946	2289.974	1765.854	2969.6560
12	46.56185	69.2096	3222.524	2168.005	4789.9618
13	53.30866	73.0845	3896.036	2841.813	5341.3441
14	60.51177	86.6714	5244.637	3661.675	7511.9229
15	65.97888	89.0748	5877.056	4353.213	7934.3200
16	67.04906	90.4482	6064.467	4495.576	8180.8769
17	72.75288	94.4703	6872.987	5292.982	8924.6376
18	82.36325	108.7929	8960.537	6783.705	11835.8951
19	88.67238	114.3846	10142.754	7862.791	13083.8367
20	97.89628	124.2927	12167.793	9583.681	15448.6753
Suma	885.2613	1184.7537	71432.125	53777.784	95042.7916

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.30136152, \quad b_0 = 1.63543276 \quad Y = 1.3014X + 1.6354$$

$$r = 0.99705553, \quad r^2 = 0.99411972$$



Figura 3.8: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórica, vela 100cmx100cm.
Fuente: Elaboración propio

Prueba paramétrico, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (vela 120cmx120cm)

Tabla 3.12. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 120cmx120cm

Observación	F. Teórico(N)	F. Real(N)			
	y_i	x_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	6.57270	4.9162	32.313	24.169	43.2004
2	8.28945	6.0694	50.312	36.838	68.7150
3	11.42865	8.2612	94.414	68.247	130.6140
4	14.86215	10.7901	160.364	116.426	220.8835
5	22.31775	16.1919	361.366	262.177	498.0820
6	24.62310	18.2352	449.008	332.524	606.2971
7	33.05970	23.4752	776.082	551.084	1092.9438
8	35.26695	26.6805	940.941	711.851	1243.7578
9	41.59440	31.1833	1297.052	972.401	1730.0941
10	45.61650	33.0446	1507.380	1091.947	2080.8651
11	48.80475	35.9377	1753.931	1291.519	2381.9036
12	53.46450	39.9840	2137.724	1598.720	2858.4528
13	63.42165	47.5843	3017.872	2264.262	4022.3057
14	64.05930	48.7240	3121.223	2374.025	4103.5939
15	91.28205	68.5735	6259.528	4702.323	8332.4127
16	92.70450	62.1509	5761.666	3862.731	8594.1243
17	97.11900	75.5310	7335.495	5704.931	9432.1002
18	105.16320	87.2778	9178.411	7617.411	11059.2986
19	111.34350	85.7533	9548.074	7353.630	12397.3750
20	131.35590	104.9335	13783.630	11011.033	17254.3725
Suma	1102.3497	835.2975	67566.787	51948.248	88151.3919

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.261698414, \quad b_0 = 2.4222807333 \quad Y = 1.2617X + 2.4228$$

$$r = 0.995761719, \quad r^2 = 0.991541401$$

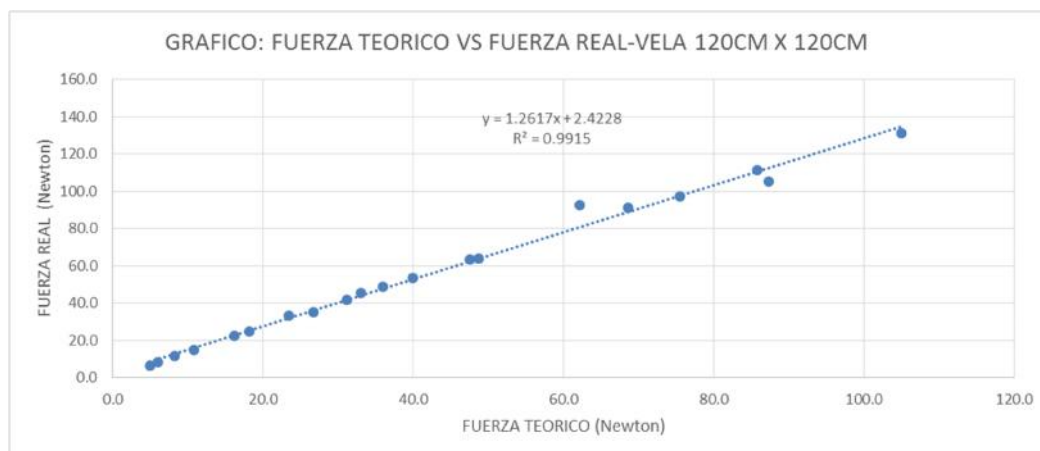


Figura 3.9: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 120cmx120cm.
Fuente: Elaboración propio

Prueba paramétrica, coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal (vela 120cmx120cm)

Tabla 3.13. Datos de fuerzas reales y fuerzas teóricas. Vela 140cmx140cm

Observación	F. Teórico(N)	F. Real(N)			
	y_i	x_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	6.57270	4.9162	32.313	24.169	43.2004
2	8.28945	6.0694	50.312	36.838	68.7150
3	11.42865	8.2612	94.414	68.247	130.6140
4	14.86215	10.7901	160.364	116.426	220.8835
5	22.31775	16.1919	361.366	262.177	498.0820
6	24.62310	18.2352	449.008	332.524	606.2971
7	33.05970	23.4752	776.082	551.084	1092.9438
8	35.26695	26.6805	940.941	711.851	1243.7578
9	41.59440	31.1833	1297.052	972.401	1730.0941
10	45.61650	33.0446	1507.380	1091.947	2080.8651
11	48.80475	35.9377	1753.931	1291.519	2381.9036
12	53.46450	39.9840	2137.724	1598.720	2858.4528
13	63.42165	47.5843	3017.872	2264.262	4022.3057
14	131.35590	104.9335	13783.630	11011.033	17254.3725
Suma	540.6782	407.2871	26362.391	20333.197	34232.4872

Fuente: Elaboración propia.

$$b_1 = 1.253239305, \quad b_0 = 2.160709467 \quad Y = 1.2532X + 2.1607$$

$$r = 0.999031313, \quad r^2 = 0.998063564$$

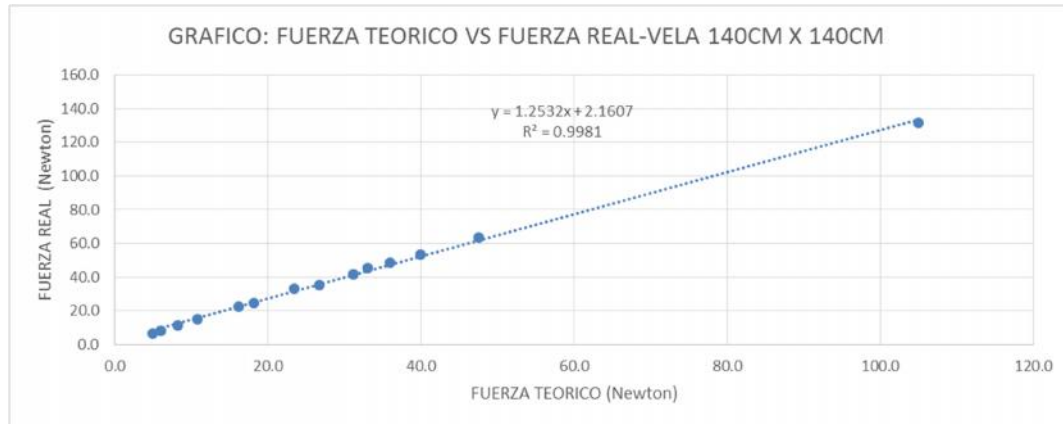


Figura 3.10: Gráfica de fuerza real vs fuerza teórico, vela 140cmx140cm.
Fuente: Elaboración propio

3.2.1 Interpretación del análisis estadístico

En bibliografías precitadas, el coeficiente de arrastre de placas planas es 1.18. Se realizó una prueba estadística de chi cuadrado con los coeficientes arrastre de placa plana determinados con el equipo (ver tabla 3.15). Del cual se obtuvo resultado válido.

Por la forma que toma la vela cuadrada (entre una placa y una copa) al estar sometido a la fuerza de del viento se puede suponer que su coeficiente de arrastre está comprendido entre 1.18 y 1.4. De los coeficientes de arrastre de cada vela se obtuvo el valor gran promedio (valor promedio de los valores promedios) de **1.343**. Se realizó la prueba estadística paramétrica ANOVA (análisis de varianza) cuyo variación F (ver tabla 3.6) es menor que el valor de tabla de distribución de Fisher. De esta comparación se determina que los promedios obtenidos son similares y próximos a $4/3 = 1.33$.

Tabla 3.14. Prueba de correlación para las fuerzas de la placa y las velas

Cuerpo	r	r ²	Ecuación
Placa 100X100	0.999	0.998	Y=1.122X+0.3184
Vela 20X20	0.997	0.9943	Y=1.313X+0.0364
Vela 40X40	0.989	0.979	Y=1.302X+0.202
Vela 60X60	0.994	0.987	Y=1.2836X+0.422
Vela 80X80	0.999	0.999	Y=1.346X-0.1018
Vela 100X100	0.997	0.994	Y=1.301X+1.635
Vela 120X120	0.999	0.998	Y=1.122X+0.31835
Vela 140X140	0.999	0.998	Y=1.253X+2.1607

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15: prueba de chi cuadrado para el coeficiente de arrastre de la placa

Cuerpo	Cd	χ^2	$\chi^2_{0.95}(21)$	$\chi^2 < \chi^2_{0.95}(21)$
Placa 100X100	1.18	0.041408	27.587	valido

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Puesto que, la vela cuadrada sometida a la fuerza del viento adquiere una forma comprendida entre una placa plana y una copa que tienen un coeficiente de arrastre de 1.18 y 1.4 respectivamente según las bibliografías, y con el análisis estadístico se determinó que el gran promedio de los coeficientes de arrastre es $1.343 \approx 4/3$. Por lo que, el coeficiente de arrastre de una vela cuadrada puede ser considerada igual al de la vela triangular $=4/3$.

Realizado las pruebas con velas cuadradas de 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm, 120cm y 140cm de lado, y mediante métodos estadísticos se concluye que:

- El coeficiente de arrastre de una vela cuadrada está dentro del rango de 1.18 a 1.4, cercano al coeficiente de arrastre de una vela triangular cuyo valor es 1.33 aproximadamente.
- A mayor fuerza teórica del viento, es mayor la fuerza real y lo hace en un monto proporcional a una constante (coeficiente de arrastre).
- Con la experimentación, con velas de diferentes áreas, se tiene que a mayor área de la vela la fuerza real crece proporcionalmente al coeficiente de arrastre con respecto a la fuerza teórica. Si los parámetros, densidad y área, se mantienen constante, al incrementar la velocidad del viento se incrementa la fuerza teórica y la fuerza real proporcionalmente constante, siendo este es el coeficiente de arrastre.
- Al variar la velocidad del viento la fuerza real y la fuerza teórica varían en proporción constante. Por lo que, el coeficiente de arrastre se puede considerar como una constante.
- Al variar la densidad del viento la fuerza real y la fuerza teórica varían en proporción constante. Por lo que con las limitaciones de tiempo espacio mencionadas en la presente investigación el coeficiente de arrastre se puede considerar como una constante.

- La potencia que se obtendrá con la vela cuadra está dada por $P = \frac{8}{3} \rho V^3$,

$$(\rho = D \quad d \quad v \quad , A = A \quad d \quad l \quad v \quad , V = V \quad d \quad v \quad).$$

DECLARACION JURADA SIN CONFLICTO DE INTERES

Yo, Gilmer Yacsson ROJAS Chávez identificado con DNI: 45293043, con domicilio actual C.P. Aguacantaba - Monzon - Huamalies- Huanuco, en mi condición de egresado de la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional “Hermilio Valdizan” de Huánuco, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que, mi nombre y demás circunstancias personales son las precitadas.
2. Que, mi situación académica es la indicada en el centro de estudios superiores indicado.
3. Que, he presentado el borrador de tesis titulado: “Determinación del coeficiente de arrastre de una vela cuadrada”, cuya revisión se encuentra a cargo del jurado de sustentación de tesis nombrado mediante RESOLUCION N° 341-2017-UNHEVAL-FICA-D.
4. Que, no me encuentro afecto por ningún conflicto de intereses en relación con los proveedores de los equipos utilizados en el desarrollo de la tesis. Entendiéndose que el conflicto de intereses podría plantearse como consecuencia de intereses económicos con fines promocionales, afinidad política o nacional, vínculos familiares o afectivos, o cualquiera de otros interés compartidos.
5. Que, no he concedido ni concederé, no he buscado ni buscare, no he intentado ni intentare obtener, y no he aceptado ni aceptare ningún tipo de ventaja financiera o en especie en favor de nadie ni por parte de nadie, cuando tal ventaja constituya una práctica ilegal o implique corrupción directa o indirectamente, por ser un incentivo a una recompensa relacionada en el desarrollo de la tesis.
6. Que, cumplo con suscribir la presente declaración jurada con arreglo a ley y en pleno uso de mis facultades.

7. Para que así se conste, juro y suscribo la presente en la ciudad universitaria, ubicada en la localidad de Cayhuayna, distrito de Pillcomarca, Provincia y departamento de Huánuco, hoy 05 de setiembre del 2017

Firma del declarante
DNI: 45293043
Huella digital:

SUGERENCIAS

El coeficiente de arrastre 1.343, encontrado en las pruebas es relativamente alta y es buena para su uso en el aprovechamiento de la energía eólica con un apropiado sistema similar al propuesto.

También es un dato importante a tomar en cuenta en los carteles publicitarios que están compuestas con material similarmente flexibles a las telas y plástico, ya que a mayor coeficiente de arrastre, la fuerza sobre la estructura es mayor.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACION

En la tesis desarrollada, la densidad del viento se halló en la zona ecológica **mte-PMT** entre los meses de junio y agosto, por medio de cálculos algebraicos para altitud=1943m.s.n.m, y temperatura de ambiente de 25.9C° a 30.1C° registradas con termómetro digital, por lo que; se deja para otras investigaciones las pruebas para diferentes zonas ecológicas con condiciones espaciales, tiempo, temperatura y altitud diferentes, o midiendo la densidad del viento con aerómetros de alta precisión.

En la experimentación realizado en la presente tesis, el área de la vela varia de: 20cmx20cm, 40cmx40cm, 60cmx60cm, 80cmx80cm, 100cmx100cm, 120cmx120cm y 140cmx140cm, observando que el coeficiente de arrastre disminuye levemente dentro de las velocidades de 2.3m/s – 15.5m/s, zona ecológica **mte-PMT** entre los meses de junio y agosto. Entonces, se deja para otras investigaciones determinar los límites de variación de los valores de los coeficientes de arrastre para áreas mayores a los usados y para velocidades de vientos diferentes en zonas ecológicas diferentes, ya sea mediante modelos reales con equipos de mayor resistencia a la fuerza de los vientos y con equipos más sensibles para áreas menores. También mediante modelos virtuales computacionales con softwares como, ANSYS, SOLIDWORKS, AUTODESK FLOW DESIGN, etc.

Para modelar la turbina eólica propuesto es indispensable el conocimiento del coeficiente de arrastre, por lo que se deja para otras investigaciones su modelado ya sea físico o virtual para conocer su eficiencia, versatilidad, utilidad, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Kimball, John (2009). Physics of Sailing. CRC Press. p. 277
2. Munson, Bruce R., Young, Donald F. y Okiishi, Theodore H. Fundamentals of Fluid Mechanics (2006). Jhon Wiley & sons.p789
3. White, Frank M. (1998). Fluid Mechanics.WCB Mc Graw-Hill.p826
4. Mott, Robert L. (2006). Mecánica de Fluidos. PEARSON EDUCACION. P625

REFERENCIAS DE INTERNET:

- [1.1] Wikipedia, 2015, "Viento". [Fecha de consulta: 12 agosto 2014].
Disponibile en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Viento>
- [1.2] Wikipedia. 2015, "Coeficiente de arrastre" [Fecha de consulta: 12 agosto 2015].
Disponibile en: https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_arrastre
- [1.3] Yahuaca M., Jorge, 2003 "EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA VELA"
En Todo a babor. [Fecha de consulta: 12 agosto 2015].
Disponibile en: <http://www.todoababor.es/articulos/ev-vela.htm>
- [1.4] Wikipedia. 2015 "Vela (náutica)". [Fecha de consulta: 15 agosto 2015].
Disponibile en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Vela_\(n%C3%A1utica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Vela_(n%C3%A1utica))
- [1.5] Wikipedia. 2015 "Land Sailing". [Fecha de consulta: 21 noviembre 2015].
Disponibile en: https://en.wikipedia.org/wiki/Land_sailing
- [1.6] Anónimo, 2011, "En De la vela cuadra a la vela triangular > Tipos de barcos". En el mundo de los Barcos. [Fecha de consulta: 21 noviembre 2015].
Disponibile en: <http://www.lamagalquilerbarcosgrecia.com/de-la-vela-cuadra-a-la-vela-triangular-tipos-de-barcos/>
- [1.7] Wikipedia, 2011, "Turbina eólica" [Fecha de consulta: 25 Abril 2016].
Disponibile en: https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_e%C3%B3lica

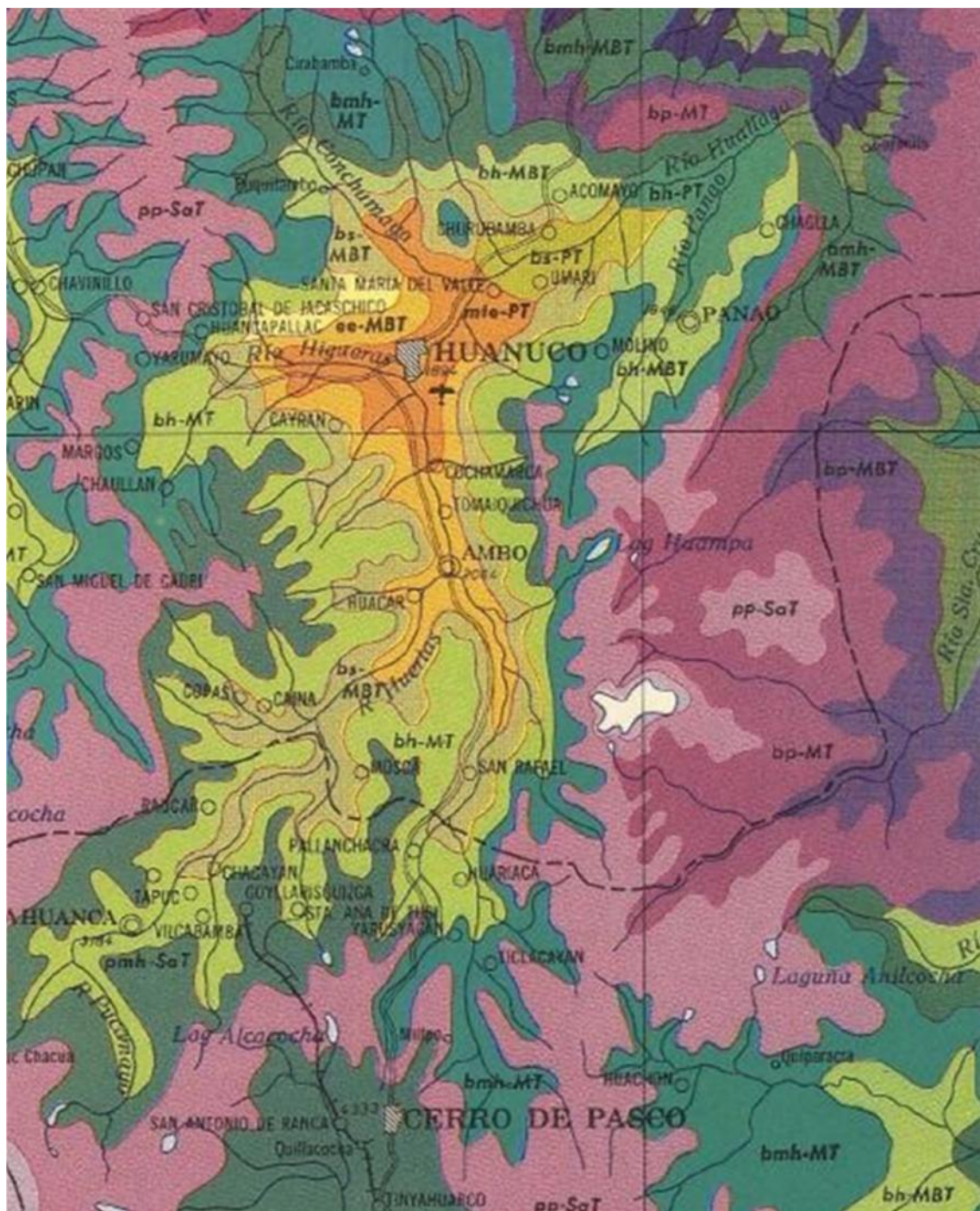
- [1.8] DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, 2003, “Coeficiente de potencia”
[Fecha de consulta: 20 Abril 2016]. Disponible en:
http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wres/cp.htm
- [1.9] Info Escola, 2016 “Solidez (Energia Eólica)”
[Fecha de consulta: 20 Abril 2016].
Disponible en: <http://www.infoescola.com/tecnologia/solidez-energia-eolica/>
- [1.10] Monografias.com,” Estudio para el diseño aerodinámico de los aerogeneradores verticales tipo Giromill”, 2011, [Fecha de consulta: 20 Abril 2016].
Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos94/estudio-diseno-aerodinamico-aerogeneradores-verticales-tipo-giromill2/estudio-diseno-aerodinamico-aerogeneradores-verticales-tipo-giromill22.shtml>
- [1.11] Anónimo, 2016 “AERODINÁMICA EXTERIOR”
En Master en Automoción. [Fecha de consulta: 18 Diciembre 2015].
Disponible en: <http://docplayer.es/7631943-4-aerodinamica-exterior.html>
- [1.12] Anónimo, 2011 “Segway Human Transporter in simplified Mechanics”
En Aqua Phoenix. [Fecha de consulta: 18 diciembre 2015].
Disponible en: <http://www.aquaphoenix.com/lecture/matlab5/page2.html>
- [1.13] Anónimo, 2011 “APLICACIÓN DE LA SEMEJANZA EN MECÁNICA DE FLUIDOS: CONCURSO DE DISEÑO Y LANZAMIENTO DE PARACAÍDAS”.
En CIP. [Fecha de consulta: 18 diciembre 2014]. Disponible en:
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2319/C257.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO A:

Plano ecológico de la cuenca del Alto Huallaga

PLANO ECOLOGICO DE LA CUENCA DEL ALTO HUALLAGA –DPTO. CERRO DE PASO Y HUANUCO
(ONER – 1980)



ANEXO B:

Cuadro de cálculo de la descarga media multianual por zonas de escurrimiento

CALCULO DE LA DESCARGA MEDIA MULTIANUAL POR ZONAS DE ESCURRIMIENTO, EN LA SECCIÓN DE INTERÉS: Puente Taruca sobre el río Hualлага													
N°	SUB-CUENCA	ZONA DE ESCURRIMIENTO			RANGO DE ALTITUD (m.s.n.m.)	PISO O FAJA ALTITUDINAL	REGIÓN LATITUDINAL	COEF. DE ESCURRIMIENTO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm.)	ESCURRIMIENTO ANUAL (mm.)	ÁREA PARCIAL (Km2)	DESCARGA	
		DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	VOLUMEN (M3/C)								PARCIAL (m3/s)	
1	Conchumayo	Estepa - Montano Tropical	e - MT	3,000 - 3,200	Montano	Tropical	0.34	393.15	133.67	449.55	1.905	60.092	
2	Mancapozo	Estepa Espinosa - Montano Bajo Tropical	ee - MBT	2,300 - 2,500	Montano Bajo	Tropical	0.36	376.85	135.67	153.46	0.66	20.819	
3	Huandobamba	Bosque Muy Húmedo - Montano Tropical	bmh - MT	3,500 - 3,800	Montano	Tropical	0.69	1,280.20	883.34	234.53	6.569	207.169	
4	Pichgagocha	Estepa Espinosa - Montano Bajo Tropical	ee - MBT	2,300 - 2,500	Montano Bajo	Tropical	0.36	376.85	135.67	224.34	0.965	30.435	
5	Higueras	Monte Espinoso - Premontano Tropical	nte - PMT	1,850 - 2,300	Pre Montano	Tropical	0.36	379.4	136.58	93.60	0.405	12.784	
6	Chaupimarca	Bosque Húmedo - Montano Tropical	bh - MT	3,200 - 3,500	Montano	Tropical	0.45	826	371.7	874.10	10.303	324.903	
7	Quío	Estepa - Montano Tropical	e - MT	3,000 - 3,200	Montano	Tropical	0.34	393.15	133.67	334.91	1.42	44.768	
8	Huertas	Bosque Seco - Montano	bs - MBT	2,500 - 3,000	Montano Bajo	Tropical	0.34	711.1	241.77	343.88	2.636	83.141	
9	San Rafael	Bosque Seco - Montano	bs - MBT	2,500 - 3,000	Montano Bajo	Tropical	0.34	711.1	241.77	184.16	1.412	44.525	
10	Río Blanco	Páramo húmedo - Subalpino Tropical	ph - SaT	3,800 - 4,000	Sub Alpino	Tropical	0.45	750	337.5	264.29	2.828	89.198	
11	Pallanchacra	Páramo Pluvial - Subalpino	pp - SaT	4,000 - 4,500	Sub Alpino	Tropical	0.85	1,786.50	1,518.53	295.93	14.25	449.377	
12	Huariaca	Páramo Pluvial - Subalpino	pp - SaT	4,000 - 4,500	Sub Alpino	Tropical	0.85	1,786.50	1,518.53	621.38	29.921	943.581	
13	Andachaca	Páramo Pluvial - Subalpino	pp - SaT	4,000 - 4,500	Sub Alpino	Tropical	0.85	1,786.50	1,518.53	670.51	32.286	1,018.19	
14	Cayrán	Bosque Húmedo - Montano Tropical	bh - MT	3,200 - 3,500	Montano	Tropical	0.45	826	371.7	185.46	2.186	68.935	
15	Ñauza	Bosque Seco - Montano	bs - MBT	2,500 - 3,000	Montano Bajo	Tropical	0.34	711.1	241.77	64.82	0.497	15.672	
16	Yarumayo	Bosque Seco - Montano	bs - MBT	2,500 - 3,000	Montano Bajo	Tropical	0.34	711.1	241.77	441.47	3.385	106.736	
17	Mito	Bosque Muy Húmedo - Montano Tropical	bmh - MT	3,500 - 3,800	Montano	Tropical	0.69	1,280.20	883.34	171.23	4.796	151.254	
							0.49	15,085.70	5,607.62	116.42	3,671.58		

ANEXO C:

**PLANOS: 1-Plano de ubicación de la de la
experimentación, 2-Plano del equipo de prueba,
3-plano del esquema de turbina eólica.**

ANEXO D:
FICHA TÉCNICA DE INSTRUMENTOS DE
MEDICIÓN



WH-A11 Mini Hand Held Balance Electronic Digital Scale 5g / 25kg

Main Features:

- LCD screen display
- Suitable for home, travel or office
- Powered by 1 x 3V CR2032 battery (included)

Specification:

Product Details	Model	WH-A11
	Type	Digital Scale
	Maximum load	25kg
	Precision	5g
	Material	ABS
	Color	Yellow
Battery Information	Battery Type	CR2032 Button Battery
	Battery Voltage	3V
Dimension and Weight	Product weight	0.039 kg
	Package weight	0.066 kg
	Product size (L x W x H)	8.90 x 4.40 x 1.70 cm / 3.50 x 1.73 x 0.67 inches
	Package size (L x W x H)	11.10 x 6.10 x 2.50 cm / 4.37 x 2.40 x 0.98 inches
Package Contents	Package Contents	1 x WH-A11 Mini Hand Held Balance Electronic Digital Scale, 1 x 3V CR2032 Battery, 1 x Bilingual User Manual in English and Chinese

With temperature

CUP ANEMOMETER

Model : AM-4221

ISO-9001, CE, IEC1010



The Art of Measurement

LUTRON ELECTRONIC

Wind speed and temperature measurement **pocket type, IP-65**

CUP ANEMOMETER

Model: AM-4221

FEATURES

* Cup vane anemometer, available for wind speed measurement.
* Measurement range : 0.9 to 35.0 m/s
* Wind speed unit : m/s, km/h, ft/min, knot, mile/h.
* °C, °F temperature measurement.
* LCD display, IP 65 water resistance.
* Microprocessor circuit ensures high accuracy and provides speed.
* Records Maximum and Minimum readings with recall.
* Data hold and 100 point data logger with recall.
* Auto power off saves battery life.
* Operates from DC 1.5V (UM4/AAA) x 4 PCs batteries.
* Low-friction ball vane wheels is accurate in both high and low speed.
* Durable, long-lasting components, enclosed in strong, compact case.

Sensor	Cup vane probe with low friction ball bearing design.
Structure	
Memory Recall	Maximum & Minimum value.
Sampling Time	Approx. 1 second.
Power off	Auto shut off saves battery life or manual off by push button.
Operating Temp. and Humidity	0 to 50 °C. Less than 80% R.H.
Power Supply	DC 1.5 V battery (UM4/AAA) x 4 PCs,
Power Current	Approx. DC 6.8 mA
Weight	181 g/ 0.4 LB. @ Battery is included.
Dimension	Main instrument : 190 x 40 x 32 mm (7.5" x 1.6" x 1.3") Cup vane (3 cups with arm) : 135 mm dia.
Accessories Included	Instruction manual..... 1 PC Carrying case.....1 PC

GENERAL SPECIFICATION

Display	LCD size : 28 mm x 19 mm.
Wind speed	m/S (meters per second) Km/h (kilometers per hour) Knot (nautical miles per hour)
Unit	ft/min (feet per minute) mile/h (miles per hour)
Temp. unit	°C, °F
Circuit	Custom one-chip of microprocessor LSI circuit.
Temp. Sensor	Thermister
Data Logger	Max. can save 100 point data with recall. Manual, push the data logger button once will save data one time.
Data Hold	Freeze the display reading.

Measurement	Range	Resolution	Accuracy @ reading
m/S	0.9 - 35.0 m/S	0.1 m/S	± (2%+0.2 m/S)
Km/h	2.5 - 126.0 Km/h	0.1 Km/h	± (2%+0.8 Km/h)
Knot	1.4 - 68.0 Knots	0.1 Knots	± (2%+0.4 Knots)
Ft/min	144 - 6895 Ft/min	1 Ft/min	± (2%+40 Ft/min)
Mile/h	1.6 - 78.2 Mile/h	0.1 Mile/h	± (2%+0.4 Mile/h)

Measuring Range	0 °C to 50 °C/32 °F to 122 °F
Resolution	0.1 °C/0.1 °F
Accuracy	± 0.8 °C/1.5 °F

ANEXO E:

Fotografía de datos digitales de placa

100cmx100cm







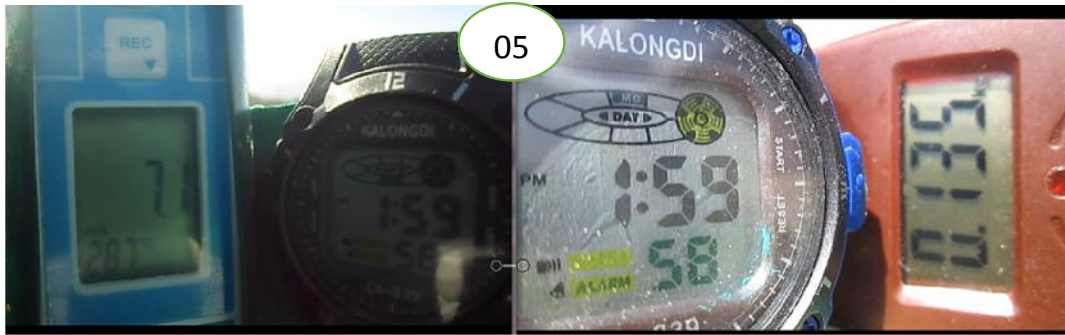


ANEXO F:

Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

20cmx20cm













ANEXO G:

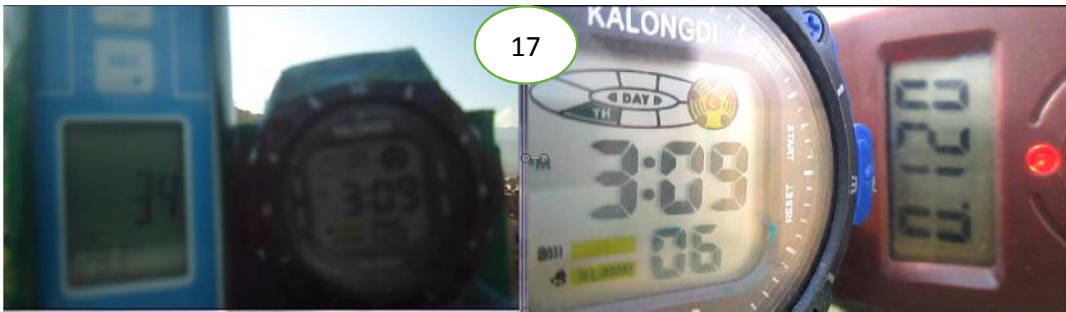
Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

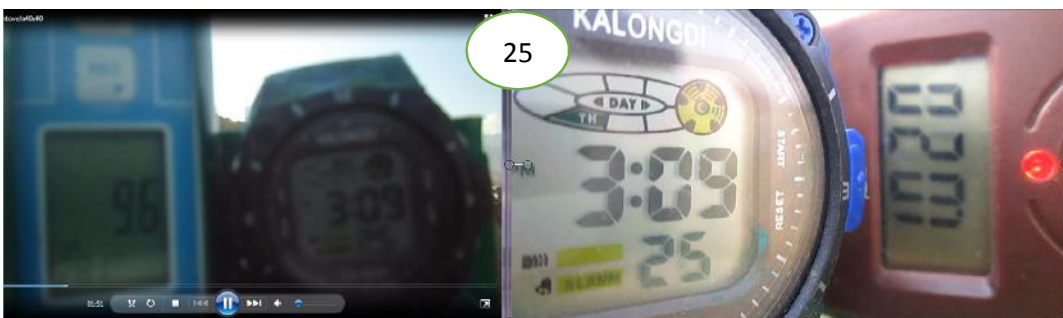
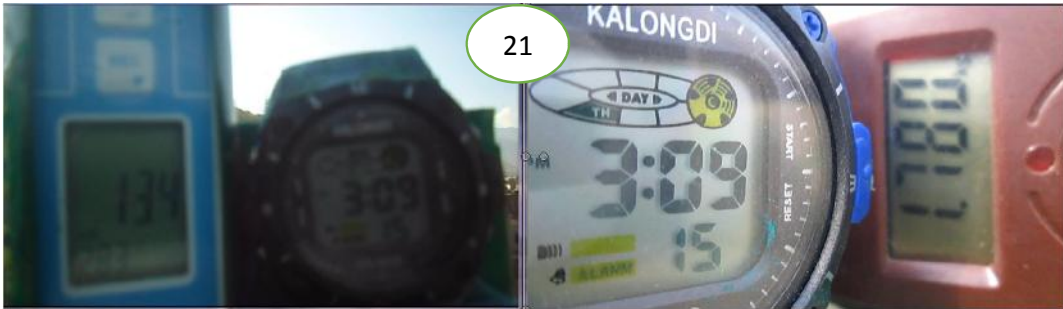
40cmx40cm











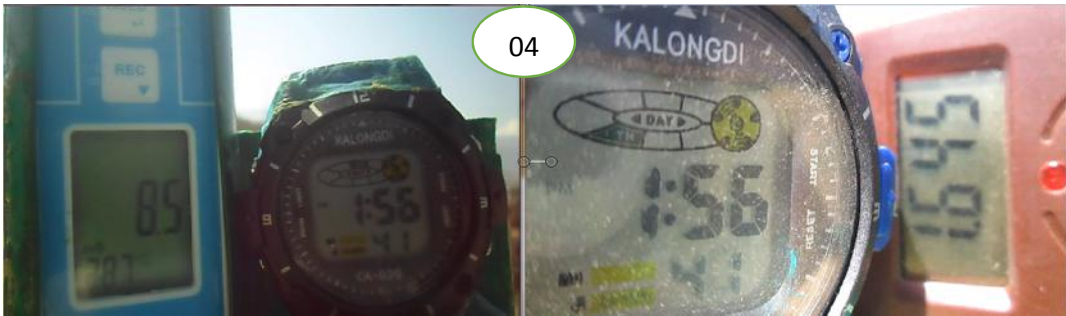




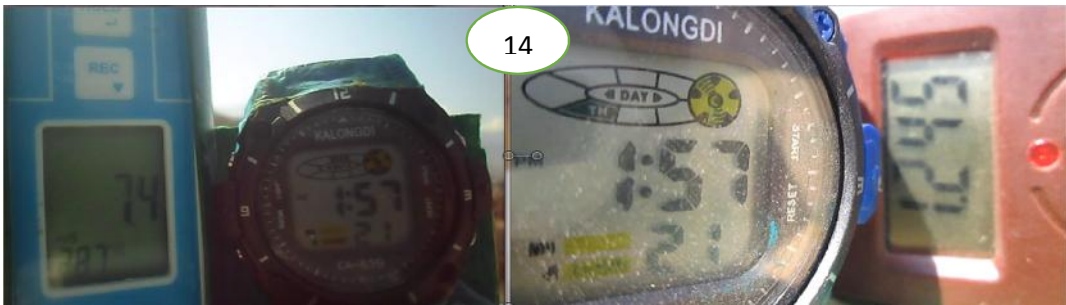
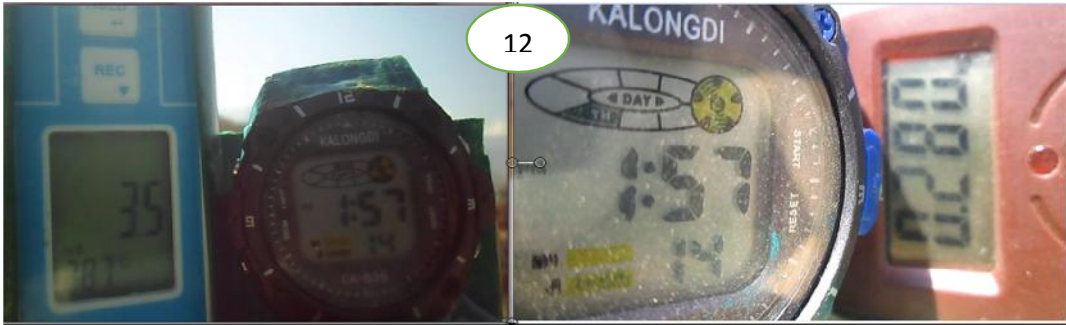
ANEXO H:

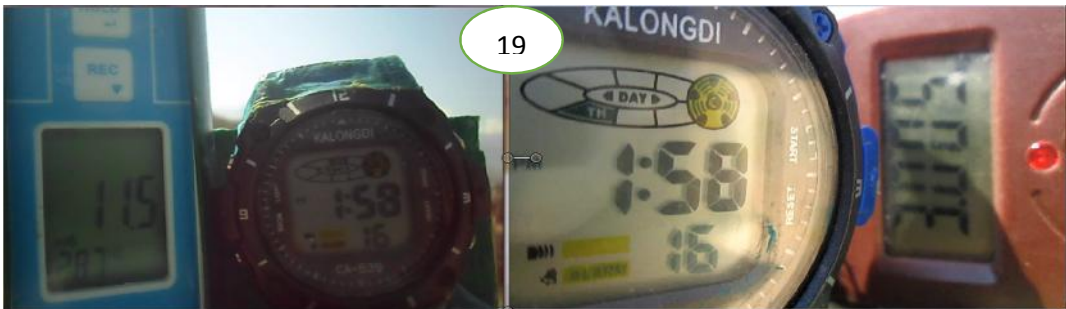
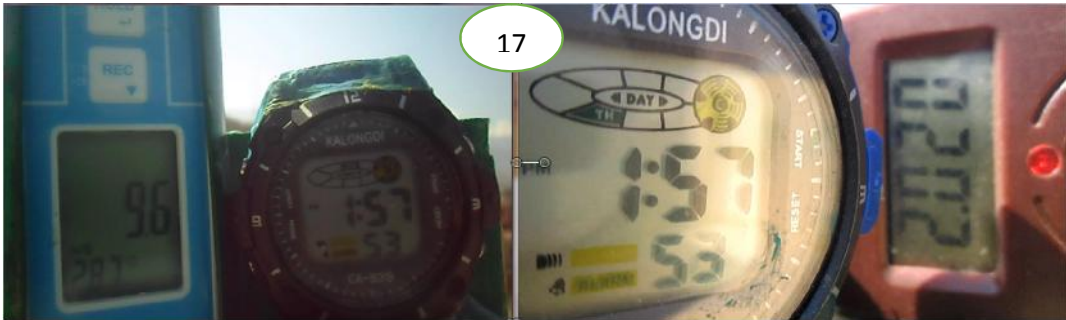
Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

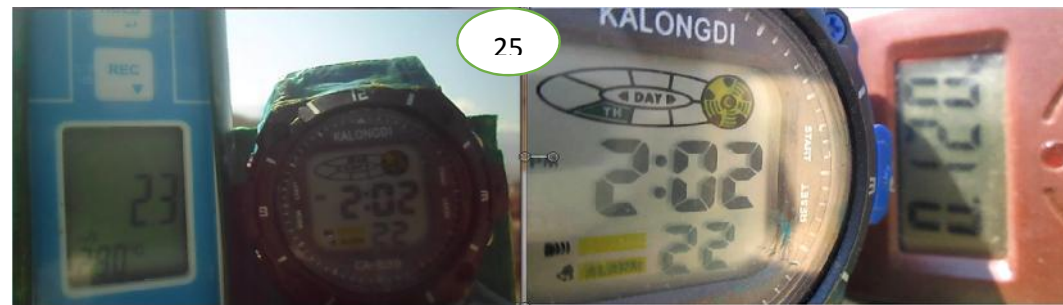
60cmx60cm









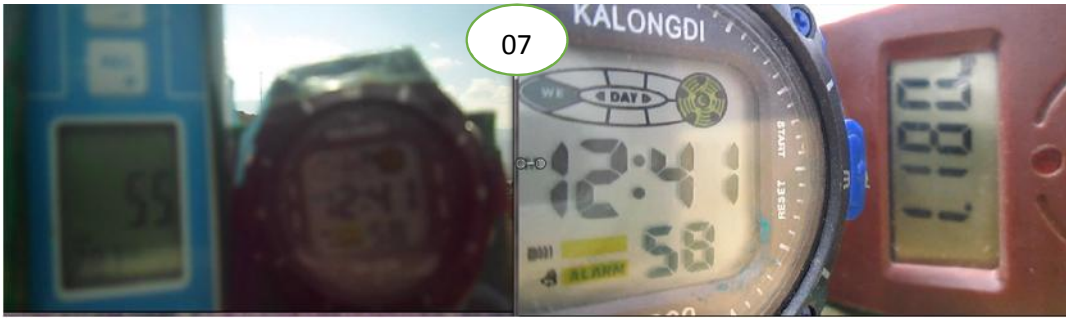


ANEXO I:

Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

80cmx80cm













ANEXO J:

Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

100cmx100cm









ANEXO K:

Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

120cmx120cm









ANEXO L:

Fotografía de datos digitales de vela cuadrada

140cmx140cm

