

Eoluz

Escultura cinética

Alumno: Raúl Arturo González Luy
Profesores Guía: Marcelo Araya Aravena
Diseño Industrial - Marzo 2012

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Escuela de Arquitectura y Diseño

Proyecto de Título - Eoluz

Agradecimientos

Partiendo por mi familia, estoy agradecido por el apoyo y la paciencia que me dieron a pesar de haber hecho un desastre en la casa durante los meses de trabajo. A mis amigos, colegas y compañeros por el interés y sus avisos. A Manuel Sanfuentes y Jose Balcells, por darme un par de luces en el área poético-artístico durante el proyecto, como también a Francisco Gallardo, Pedro Garretón y Herbert Spencer en el área tecnológica. Finalmente, y no por ello menos importantes, a Marcelo Araya, Sandra Marín y Diego Becerra por guiarme a lo largo de este proyecto de título.

A todos, gracias.

Abstract

iv

El proyecto de título 'Eoluz', tiene por objetivo instalar en Ciudad Abierta una 'luz' que la naturaleza pueda encender con la energía gratuita de la naturaleza, tomando forma de una escultura cinética, siendo el viento la energía que da vida a la escultura.

La forma consiste en una gran hélice de color con la que se transforma el movimiento lineal del viento en movimientos giratorios, los cuales tendrán un juego con el color y el movimiento mismo, siendo esta la luz propuesta.

Utilizándose mecanismos de poleas se transfiere el movimiento del eje de la turbina a un eje con una serie de seis discos en tamaño decreciente, la superficie de estos discos esta dentada y pintada con un par de colores, los colores dispuestos cada uno en una cara distinta de los dientes del disco con el propósito de aprovechar la forma cilíndrica, y el movimiento de estos, para generar gradientes de colores entre la pareja presentada siguiendo las reglas de los colores aditivos. A su vez estos discos están dispuestos

de forma no céntrica en el eje, de tal forma que con los distintos desfases se busca dibujar una silueta ondulatoria.

Antes de llevarse a cabo la forma final del proyecto, varias propuestas son efectuadas apoyándose en el uso del diseño asistido por las computadoras, probando el color el movimiento en tiempo real para después ser llevado a maqueta a la hora de corrección.

A lo largo del proyecto, la misma 'luz' evoluciona, partiendo de una luz como

elemento físico, en un principio como una luz eléctrica que se enciende, a un elemento abstracto, una luz poética, dando espacio para una mayor flexibilidad artística.

Se concluye la obra ubicándola en el punto más alto del trayecto entre los talleres y la Sala de Música de Ciudad Abierta, el punto donde viento y personas fluyen por igual, donde el viento podrá dar de sí para generar una luz para los presentes, y estos últimos tener un lugar para recibir este regalo del viento.

Proyecto de Título - Eoluz

Prólogo

vii

Eoluz Dos maneras de concebir un objeto

El proyecto Eoluz tiene su punto de partida en la conjunción de cuatro miradas distintas sobre el viento y sus capas, desarrolladas en paralelo por cuatro titulantes de la generación del 2011.

La primera capa contempla una mirada general y geológica del viento como agente erosionador de los cerros en la ciudad de Valparaíso. La segunda capa -donde se ubica el proyecto Eoluz- explora el viento como fluido de energía y a la vez se pregunta por su uso en la Ciudad Abierta. La tercera capa aloja una zona intermedia entre el espacio lúdico aéreo (3D) y el espacio terrestre (2D). Y por último, la cuarta capa constituye un elemento deflector del aire en movimiento para techar provisoriamente una serie de clases del Taller de América impartidas al aire libre, cobijando a 300 personas.

De modo general, el proyecto

Eoluz puede entenderse como dos etapas que se abisagran para concebir un cuerpo definitivo: Es el instante en que el modo de pensar el objeto pivota para pasar de un elemento concebido con fines prácticos a otro que hace posible una segunda visión sobre sí mismo, esta vez, es el propio cuerpo el que a partir de una disposición cromática dialoga con el espacio que lo soporta y se vuelve un hecho lumínico para ser visto de día, además de establecer un hito en el camino que va desde la Hospedería de la Entrada hasta la Sala de Música.

Creo que este punto de inflexión es la esencia del proyecto, pues el diseñador pasa de la mera propuesta técnica -necesaria por cierto- a una proposición original, que distancia la acción creadora de su destino útil, resonando las palabras dichas por Godofredo Iommi a los diseñadores hace

algunos años atrás:

“Que lo útil y eficaz no abandone nunca su inutilidad, su desconocido, lo que el objeto lleva de sí”.

Marcelo Araya

Tabla de contenidos

iii	- Pagina de agradecimientos
viii	iv - Abstract
vii	- Prologo
viii	- Tabla de contenidos
2	- Introducción
3	- Proyecto de título Eoluz
3	- Hipótesis
5	- Estado del Arte
5	5 - Arte Cinético
5	5 - Arte Óptico
7	7 - Jesus Soto
7	7 - Matilde Perez
8	8 - Carlos Cruz Diez
8	8 - Reuben Margoli
9	- Objetivos
9	- Desarrollo de la idea
9	9 - Energía
11	11 - Luz eléctrica
13	13 - Luz poética
17	- Metodología
17	17 - Primera Etapa
17	17 - Segunda Etapa
19	19 - Tercera Etapa
21	- Conclusiones
23	- Evolución del proyecto
31	- Especificaciones técnicas
31	31 - Materiales
33	- Planimetrías
33	33 - Generales
39	39 - Hélice
41	41 - Base
42	42 - Techo
43	43 - Adaptador rueda de bicicleta, eje secundario, rodamientos y techos de rodamientos del eje secundario
44	44 - Ruedas/poleas y discos 'luz'
45	45 - Aspa

48 - Anexos

49 - Etapa 1

49 - El viento

- 49 - Definición del viento
- 50 - Medición del viento
- 51 - Historia de generadores eólicos
- 51 - Primeros molinos
- 52 - El uso mecánico del viento
- 53 - Electricidad Eólica
- 55 - Componentes de un generador eólico
- 55 - Transformador aerodinámico-mecánico
- 57 - Transformador mecánico eléctrico
- 59 - Transformador mecánico a lumínico
- 62 - Sistemas de Regulación

63 - Primeros prototipos

- 63 - Primer modelo
- 65 - Segundo modelo
- 67 - Modelos de molinos
- 67 - Savonius
- 68 - Darrieus
- 68 - Construcción de turbina híbrida savonius-darrieus, el modelo Lenz
- 69 - Wingbelt
- 72 - Hélice

75 - Pruebas construidas

- 75 - Hélice PVC
- 77 - Hélice de 2 aspas, punta ancha y base delgada, de terciado.
- 79 - Hélice de 3 aspas, punta ancha y base delgada, de terciado.
- 80 - Hélice de 3 aspas, punta delgada y base ancha, de terciado.
- 81 - Hélice de 3 aspas, punta delgada y base ancha, tallada.

83 - Exposición de etapa

- 84 - Construcción

85 - Etapa 2

87 - Luces para Ciudad Abierta

- 87 - La propuesta
- 87 - La energía y la luz
- 88 - La luz
- 89 - La luz y la ciudad de noche
- 89 - La luz y el dibujo

90 - La segunda etapa

- 90 - Proyección de última etapa

91 - Estudio de construcción del corazón del proyecto

- 91 - Ubicación
- 92 - La base
- 93 - Los rodamientos y su cobertor
- 94 - El motor/generador
- 95 - Red eléctrica
- 96 - Partes por investigar

97 - Transformador Eólico-Mecánico

- 97 - La Hélice
- 99 - Las Aspas

103 - La caja de cambios

107 - Exposición de Etapa

109 - Etapa 3

109 - Exposición de Etapa

Proyecto de Título - Eoluz

Introducción

En la siguiente carpeta de título se presentará el proyecto **Eoluz**, comenzado a finales de Septiembre del 2010 y terminando a principios de Diciembre del 2011.

Eoluz es una **escultura cinética** ubicada en **Ciudad Abierta**, la alimentada por los vientos de Eolo dando con la gratuidad del viento una luz para Ciudad Abierta y sus habitantes. El proyecto evoluciona desde un objeto portátil, un pequeño generador eléctrico a la escultura propiamente tal que esta ahora construida en Ciudad Abierta, evolución

que consta de un importante **punto de inflexión** a mediados de la última etapa.

El desarrollo conceptual y constructivo de Eoluz será expuesto a continuación, el cuerpo principal de esta carpeta tendrá el enfoque final que tuvo este proyecto haciendo referencias a las etapas anteriores como parte del proceso evolutivo del mismo, pero también se incluye en los anexos el enfoque del proyecto antes de la inflexión, a modo de registro

Proyecto de titulación

Eoluz

3

Hipótesis

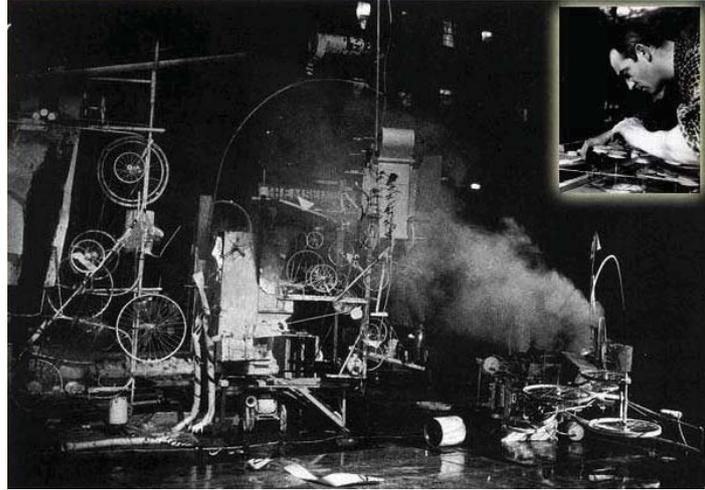
Este proyecto de título se pregunta por la posibilidad de crear una luz para Ciudad Abierta y aquellos que se movilizan en ella, una luz que provenga gratuitamente del medio ambiente, la forma que tendría este objeto para recibir lo regalado por el ambiente y volverlo luz, y finalmente la forma de esta luz.

Imagen 1,1 ▶
Eoluz.



Proyecto de Título - Eoluz

Imagen 1,2 ▶
'Homenaje a Nueva York', 1960.
Imagen 1,3 ▼
'Bicycle Wheel', 1913.



5



Estado del Arte

Arte Cinético

El **arte cinético** es un arte que contiene **partes móviles**, o que dan el **efecto de movimiento**. Este movimiento puede ser generado por motores eléctricos, mecanismos como de relojería, vapor, por interacción del usuario o elementos de la naturaleza, como el viento.

El arte, o esculturas cinéticas a veces tienen una **línea divisoria no muy nítida** con otros tipos de arte, como es el caso con el **arte óptico**, las esculturas acústicas y lumínicas.

Bicycle wheel (1913) de Marcel Duchamp es conocida como la primera escultura cinética. Jean Tinguely en 1960 construye 'Homenaje a Nueva York', obra cinética cuyo objetivo

fue auto-destruirse al exponerse al público, esta obra un tanto influenciada por el dadaísmo.

Los animales de la playa de Theo Jansen son esculturas cinéticas que son capaces de desplazarse a sí mismas con la ayuda del viento, utilizando este para generar movimientos cíclicos capaces de reproducir un movimiento "caminante".

Finalmente los móviles, decoraciones colgantes que pueden girar por el viento o pasar de las personas, a veces también dispuestos sobre las cunas de los bebés, también son considerados esculturas cinéticas.

Arte Óptico

El **arte óptico** es un método de pintura en **donde la ilusión y el plano interactúan**, son trabajos abstractos, varios de los más famosos siendo exclusivamente en blanco y negro. Cuando el espectador observa la obra, estas

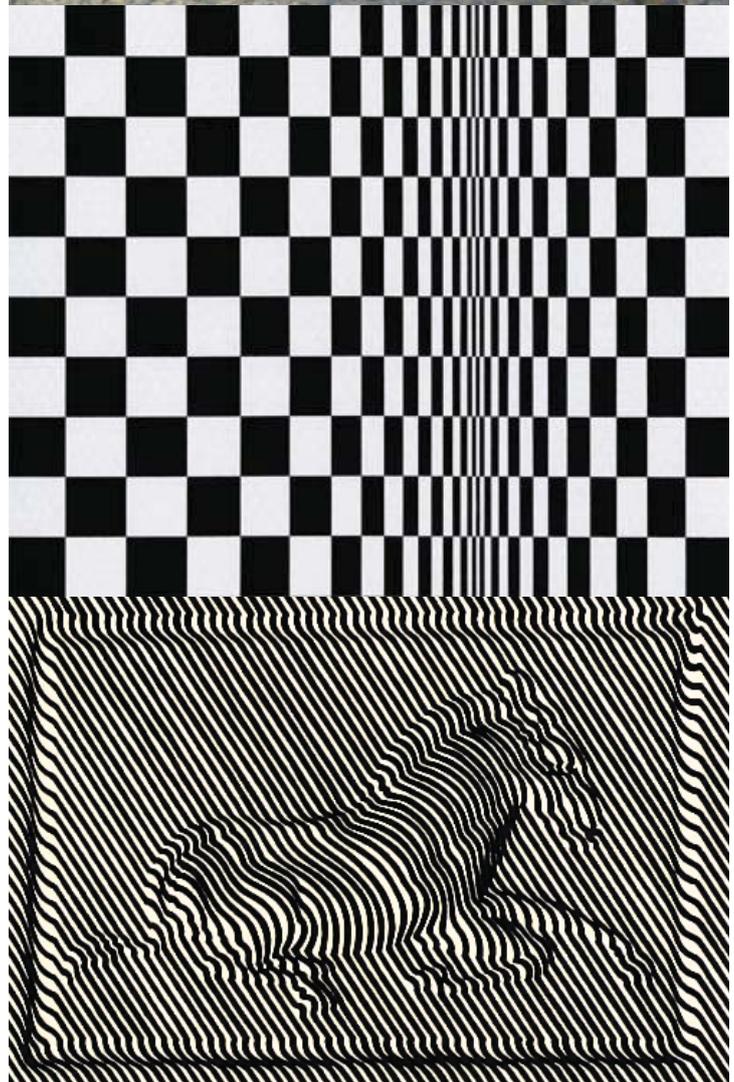
Imagen 1,4 ▶
 Esculturas de Theo Jhansen.
 Imagen 1,5 ▶
 'Movement in squares', 1961.
 Imagen 1,6 ▶
 'Zebras', 1938.



obras darían sensación de movimiento, aparición de imágenes ocultas, vibraciones o parpadeos, patrones o torsiones y ondulaciones.

El arte óptico es uno de los derivados del Bauhaus, no teniendo nombre hasta 1966, pero tiene apariciones antes, por ejemplo en 1938 en la obra de Victor Vasarely (Zebras).

El uso del color en estas obras se daba en 3 interacciones distintas, contraste simultaneo, contraste sucesivo y contraste revertido (asimilación). El contraste simultaneo es básicamente rodear un color con otro, esto causa sensación de un contraste superior al realmente existente, el contraste sucesivo consiste en el fenómeno del "afterimage", que se produce al observar fijamente un dibujo de un color saturado por un tiempo para rápidamente volver la vista a una superficie blanca, generando una imagen fantasma del primer dibujo en la retina del espectador que desaparece en pocos segundos. El contraste



invertido se usa el blanco o el negro al lado de un color para que este se difumine sobre el anterior y así dar la ilusión de asimilación por parte de un color por el otro.

Proyecto de Título - Eoluz

7



Imagen 1,7 ◀
'Sphère Concorde', 1996.
Imagen 1,8 ◀
Escultura de Matilde Perez.
Imagen 1,9 ◀
Escultura de Matilde Perez.

Jesus Soto

Artista óptico y cinético Venezolano, sus obras son interactivas y pueden ser atravesadas por estar compuestas de un arreglo de hilos que dibujan en el espacio volúmenes aparentes en el aire, haciendo de sus obras inseparables de sus espectadores (de hecho son difícilmente apreciables en fotografía).



Matilde Perez

Escultora cinética chilena. Sus obras son de tipo cinético, a modo de estudios de los efectos visuales de las formas abstractas, la utilización del color y del movimiento. Sus obras van de pinturas a elementos móviles con colores y luces.





Carlos Cruz Diez Reuben Margoli

Artista cinético y óptico venezolano, su trabajo se enfoca principalmente hacia el color, la línea de visión del espectador y la percepción del color y la perspectiva. Trabaja con efectos llamados cromo-interferencias, cromo-saturaciones, entre otros que están relacionados a la ilusión de colores no presentes con la combinación de colores más básicos vía la mezcla aditiva de estos por la luz.

Escultor estadounidense, sus esculturas funcionan en base a mecanismos motorizados, formando formas ondulatorias. Sus trabajos son de varias escales, desde aquella que puede ser impulsada por manivelas por el espectador, a aquellas que cuelgan de cielos en halls de museos.

Imagen 1,10 ▲
'Physicromie', en plano, Carlos Cruz Diez.

Imagen 1,11 ▲
'Physicromie', fotos en movimiento, Carlos Cruz Diez.

Imagen 1,12 ▲
'Conected', 2009, Reuben Margoli.

Objetivos

El objetivo es crear un elemento que le otorgue la posibilidad a Eolo de regalar un poco de sus fuerzas para hacer una luz en Ciudad Abierta.

Desarrollo de la idea

Energía

En el ambiente existe **energía**, y el hombre se ha alimentado de ella para **múltiples propósitos**, es extraída de las profundidades de la Tierra en forma de diversos minerales, de ríos, del viento y de los rayos del sol, y con ella **facilitando la vida** de las **personas** en diversos usos como vehículos, producción de alimentos, etc.

Se puede decir que la relación del hombre y la



10

energía siempre a sido de 'origen y aplicación', 'creación y utilización', dicho de otro modo una relación principalmente **utilitaria**. Razón por la cual en este proyecto de **título** se **plantea** la **posibilidad** de darle a una de estas energías, en este caso el viento, un "uso" no utilitario, sino más bien una posibilidad al **ambiente** para que con su gratuidad energice un regalo, se piensa este **regalo** con forma de una **luz**.

*Imagen 1,13 ▲
Valparaiso de noche.*



Imagen 1,14▲
Render Ciudad Abierta, red de luces.

Imagen 1,15▲
Render acceso Sala de Música.

Imagen 1,16▲
Render acceso a Ciudad Abierta.

Luz eléctrica

En **primera instancia** la luz se piensa de forma **literal y física**, una luz lumínica, **eléctrica**, y aparece en el acto poético y las **travesías**, trayendo la **portabilidad**, siendo el lugar que se iba en ese entonces era uno en donde el viento estaba fuertemente presente, por este motivo el viento se vuelve el candidato predilecto como fuente.

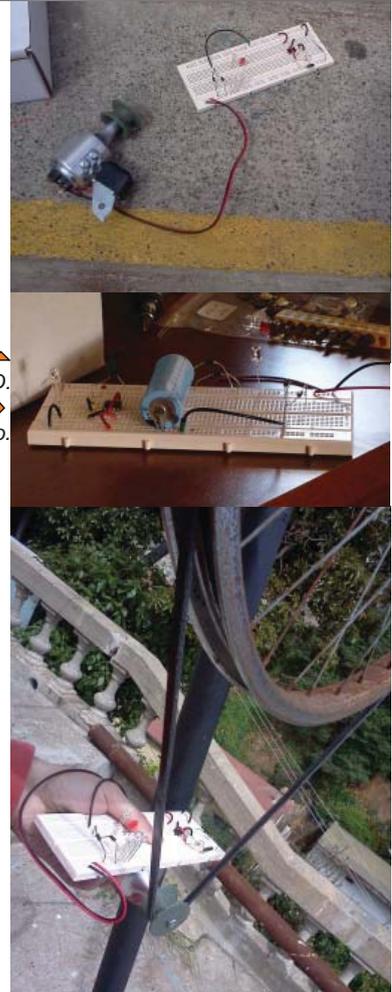
La idea **evoluciona a crear un lugar** particular y fijo para esta luz, emplazado en **Ciudad Abierta** ahora, primero como la **luz eléctrica** como tal, para iluminar los **senderos** de



Ciudad Abierta, dibujándola en la noche. Pero esta luz, de construirse, habría ocluido la luz nocturna que ya recibía Ciudad Abierta, que era la luz de las estrellas, por lo que la luz como regalo se pone en duda, siendo esta aquella que hace que el proyecto de el verdadero giro en el sentido de pasar de lo utilitario a lo regalado.

Imagen 1,17/1,18/1,19/1,20 ▲
Luces LED.

Imagen 1,21/1,22/1,23 ▶
Pruebas de circuito.



Proyecto de Título - Eoluz

Imagen 1,24 ◀
Primer concepto de 'luz' abstracta.
Imagen 1,25 ▼
Ejemplo de clockworks.

13

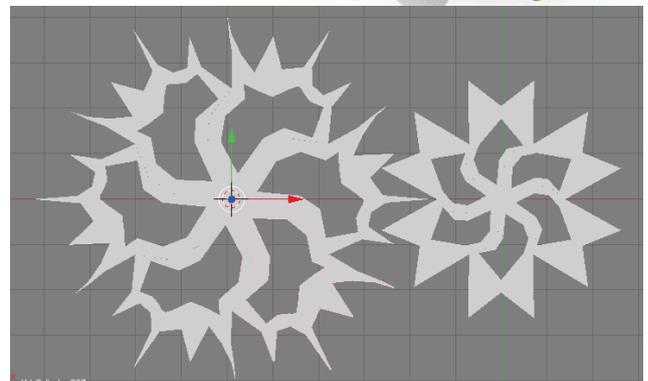
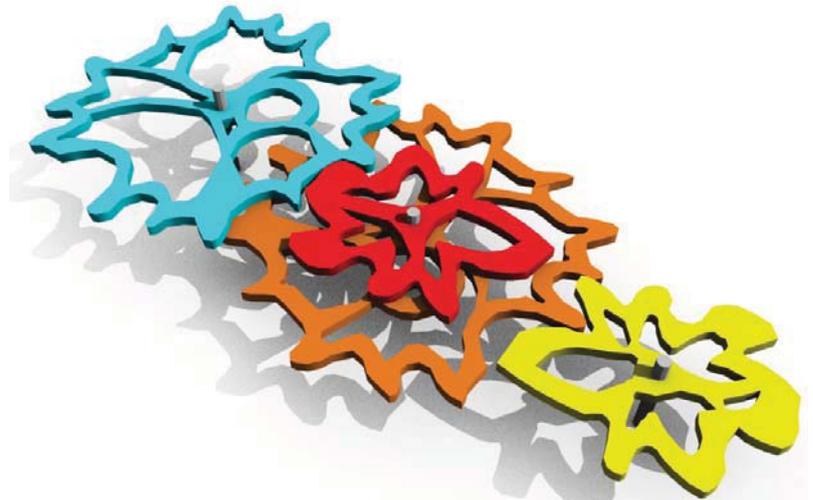


Luz Poética

De una **red de luces a un foco de luz** fue el siguiente paso, pero el hecho de que esta luz solo sería visible en la noche era una inquietud que llevo a otra pregunta, ¿qué o cómo hacer una luz visible durante el día? Claramente la luz eléctrica se vería disminuida por la potente luz del sol, y por consiguiente se toma la decisión final de abstraer la luz a forma.

¿Cómo representar la luz

- Imagen 1,26 ▶
- Engranés irregulares.
- Imagen 1,27 ▶
- Render de prueba de engranes.
- Imagen 1,28 ▶
- Render de prueba de engranes.
- Imagen 1,29 ▶
- Maquet de engrane.



con la forma?, ya no como el fenómeno físico de lo lumínico, sino como un objeto poético.

Se parte preguntándose que es la luz para uno mismo, siendo la respuesta simplemente “lo que los ojos perciben”, y esto son los colores, de distintas intensidades que dibujan los volúmenes y formas que nos rodean en nuestras mentes y que están necesariamente en



Proyecto de Título - Eoluz

15



movimiento, porque por otro lado lo que perciben los ojos también es el mundo real, el mundo vivo y no una foto o sucesión de estas como es el caso de las películas.

El movimiento de las aspas de Eoluz brinda al proyecto de un movimiento cíclico, que variara en conjunto con la vitalidad del viento, siendo transferido por medio de las poleas, el naranja color que representa la vitalidad, la energía resulta ser una expresión visual muy potente de esta energía, y la luz que se

Imagen 1,30 ▲

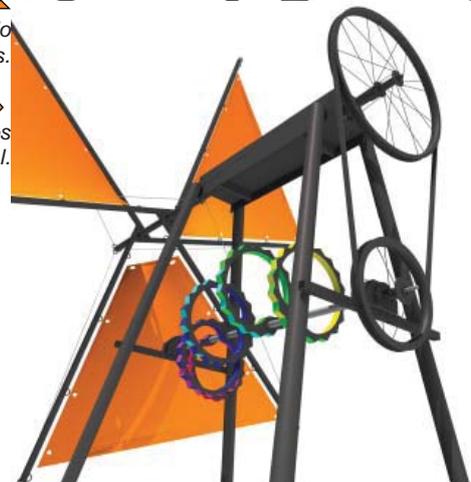
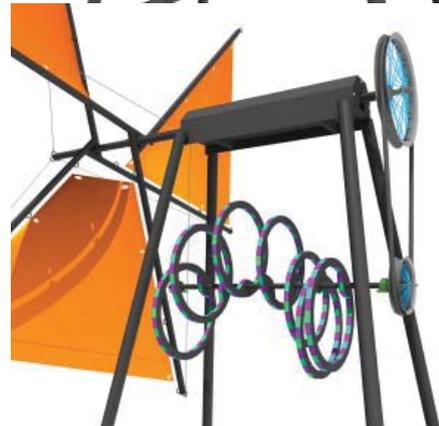
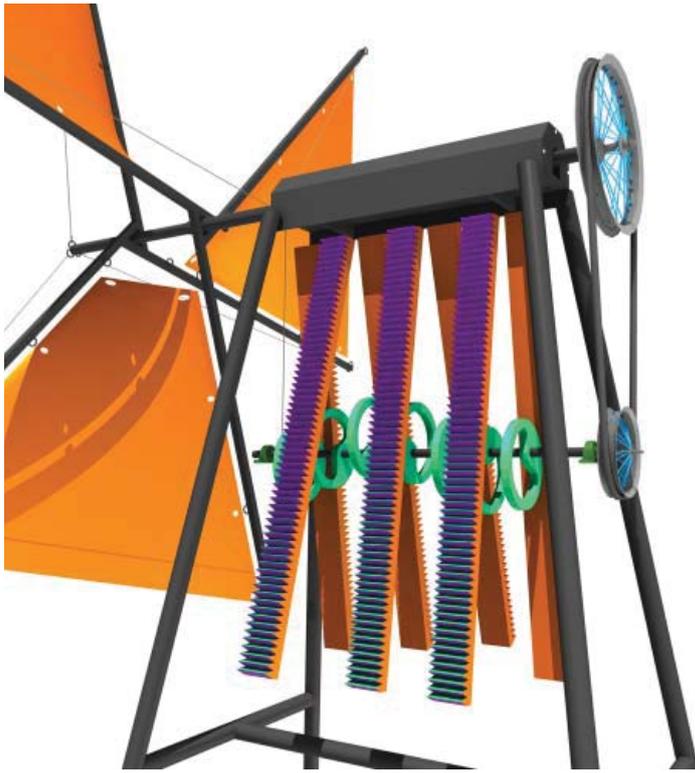
Render de elementos verticales 1.

Imagen 1,31 ▲

Render de verticales 2, con divisiones.

Imagen 1,32 ▲

Render de prueba de cigüeñal y chromointerferencia.



quiere dar, es la luz expuesta en la rosa cromática entera en colores planos presnetando todas las virtudes de los colores juntos, en donde el movimiento y la forma de los elementos giratorios formará los colores transicionales de forma gradual, a modo de efecto óptico. Respecto a la forma, los elementos giratorios tienen sus centros descentrados y rotados en secuencia para así dibujar la onda que es la luz, que es evidente al estar en movimiento.

Imagen 1,33 ▲
Render con cigüeñal abstraído en discos giratorios.

Imagen 1,34/1,35/1,36/1,37 ▶
Renders de evolución de discos giratorios hasta versión final.



17

Metodología

Imagen 1,38/1,39/1,40/1,41/1,42 ▲
Fotos etapa 1, más detalle en Anexos.

Primera etapa: Segunda Etapa:

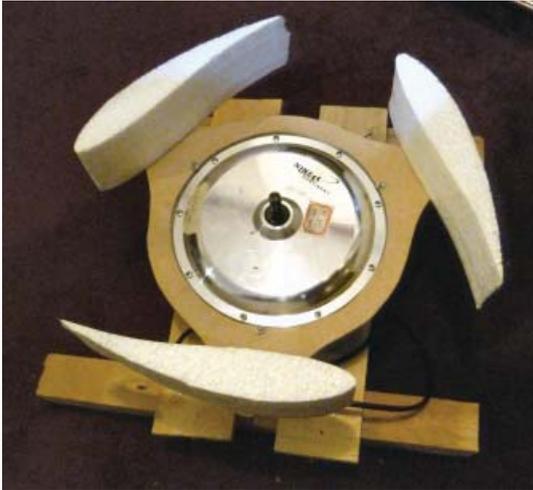
Se comienza el proyecto con construcción de **maquetas en madera escala 1 a 1**, a modo de estudio de la transformación de la energía aerodinámica a mecánica, y este poder convertirlo posteriormente en energía eléctrica. Esto porque desde la primera etapa hasta mediados de la tercera el objetivo era crear una luz física literal, la luz eléctrica.

Se cierra la primera etapa habiendo estudiado varias formas de turbinas y habiendo estudiado las piezas necesarias para continuar el proyecto desde aquella perspectiva.

En la segunda etapa se tiene un **generador** obtenido a modo de préstamo. Esto resulta definitorio en lo que a medidas se refiere, sobretodo en lo que a **'torque'** (fuerza en el giro) como requerimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior se diseña considerando la necesidad de obtener grandes fuerzas del viento en mente. Implicando en un área de contacto amplia, pero no tanto como para comprometer estabilidad de estructura. Variables como peso, altura y piezas mecánicas necesarias también aparecen en esta etapa.

Se comienza por trabajar en una estructura base, la que sostendrá la hélice.



Se construyen maquetas suponiendo la materialidad en vigas de madera, luego pasando al metal por ser más afín con las piezas que sostendría finalmente, como los rodamientos posteriormente las poleas. Una vez definida la forma se hacen los planos por computadora para tener medidas correctas en largos y ángulos y se construye.

La construcción de la base tiene 2 momentos: la construcción de 2 pares de patas, y luego la vinculación de estas por medio del travesaño inferior y la superficie superior.

La hélice esta compuesta de 3 partes, el eje con las barras de tensión delanteras, las barras de tensión traseras, y las aspas de tela que van entre las barras de tensión. Las barras de tensión traseras van a un tubo que actúa como

pasador sobre el eje principal, y con un sistema de pernos este tubo puede dejarse fijo en la posición deseada, de este modo se puede regular la profundidad de las aspas y el área de estas.

Para la construcción de esta, se construye una mesa, en la que los ejes son insertados y las barras quedan en posición por unas fijaciones en la misma, asegurando la perpendicularidad a la hora de soldar.

Las **aspas**, por ser de **forma parabólica**, se diseñan primero por computadora, obteniendo en el plano los recortes necesarios para que en la costura de las partes planas el conjunto sea parabólico.

Se termina esta etapa montando todas las partes construidas descritas.



Imagen 1,43/1,44 ▲
Fotos motor/generador de bicicleta.
Imagen 1,45 ▲
Foto de primera maqueta de estructura.
Imagen 1,46 ▲
Fotos etapa 2 terminada.

Proyecto de Título - Eoluz

19



Tercera etapa:

La tercera etapa parte tomando lo construido traspasándolo a formato digital. En este formato se crean las distintas **iteraciones** de la 'luz', desde que cambia de un sistema eléctrico a una luz única, hasta la luz abstracta. El **medio digital** facilita la visualización del conjunto en movimiento antes de ser construido o de la creación de maquetas, las cuales no son efectuadas hasta que el diseño no se consolida, para luego ser construido.

En esta etapa se lleva a cabo la construcción del sistema de poleas, para el cual varias de las piezas en cuestión se diseñan en planos y luego son llevadas a una tornería de metales para su construcción.

Los elementos que componen la 'luz', se hacen de madera por su fácil trabajo en los talleres de Ritoque, siendo el terciado marino, por su resistencia a la intemperie y la disponibilidad de su espesor, la madera elegida.

Imagen
1,47/1,48/1,49/1,50/1,51/
1,52/1,53/1,54/1,55 ◀
Fotos de secuencia de
construcción.
Imagen 1,56/1,57/1,58 ▶
Fotos de 'luz' terminada.





Imagen 1,58/1,59/1,60 ◀
Fotos de instalación en Ciudad Abierta.
Imagen 1,60/1,61/1,62/1,63 ▶
Fotos de Eoluz instalado.

Conclusiones

21



Este proyecto de título alcanza a trabajar con algunas de las múltiples formas de trabajar en conjunto con el viento, dejando muchas posibilidades y variantes más por experimentar para el futuro, en esta obra se explora un acercamiento continuo o cíclico del pasar del viento, mientras otros en la misma escuela están estudiando posibilidades de distintos momentos en el mismo viento, esta la posibilidad de obtener movimiento atrapando el viento o fluyendo en conjunto con él, etc. entre tantas otras cosas aún por hacer y experimentar.

También hay que tomar en cuenta las posibilidades artísticas encontradas en lo que alguna vez fueron solo máquinas o partes mecánicas, como se ve en otras esculturas cinéticas de otros artistas, que alcanzan a estudiarse para este proyecto y que podrían haber tenido una mayor presencia, y no solo en el sentido de trabajar junto con el viento, tal vez también de forma directa

entre la persona que observe el trabajo, de tal forma interactúe con este haciendo de la obra un trabajo completo en la medida que el tanto el público y la obra trabajen juntos.

Eoluz, tal y como se finaliza, es una propuesta hecha de una serie de conceptos que fueron cambiando durante su ejecución y construcción, dejando abierta la siguiente interrogante: ¿cuál hubiese sido la forma final de Eoluz si esta hubiese sido la etapa primera en vez de la última? Si bien se llega a un fin de proyecto, esta duda aparece como cuestionamiento a la integración e interacción de las partes que lo componen, a causa de la misma evolución e inflexión del fundamento desde sus inicios, hasta su conclusión.



Evolución del Proyecto

Línea temporal

23

Inicio
Etapa 1



Comienzo de título,
probando tipos de
turbinas.



Primera maqueta, generador portátil.



Segunda maqueta, generador portátil.



Estudio hélice madera, 2 aspas.

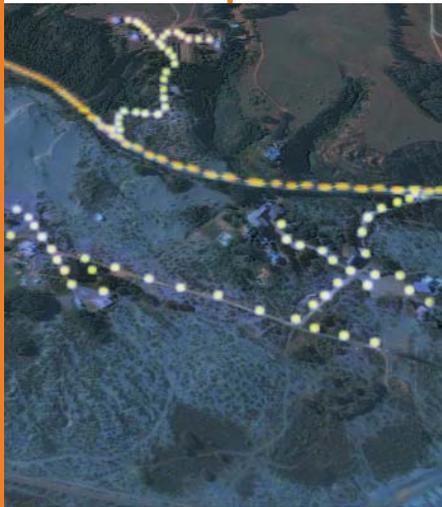


Estudio hélice madera, 3 aspas.

Estudio hélice madera, 3 aspas.

Estudio hélice madera, 3 aspas, diseño final de etapa

Etapa 2



Idea de iluminar Ciudad Abierta, dibujar la noche



Obtención de motor (tamaño define forma de estructura de Eoluz).



Eoluz, funcionando por primera vez con el viento.



Render ilustrando como se cree que se vería Ciudad Abierta Iluminada de noche.

Proyecto de Título - Eoluz

27



Render de Eoluz terminado siguiendo concepto de segunda etapa. Aparición de tren de poleas, idea utilizada posteriormente.

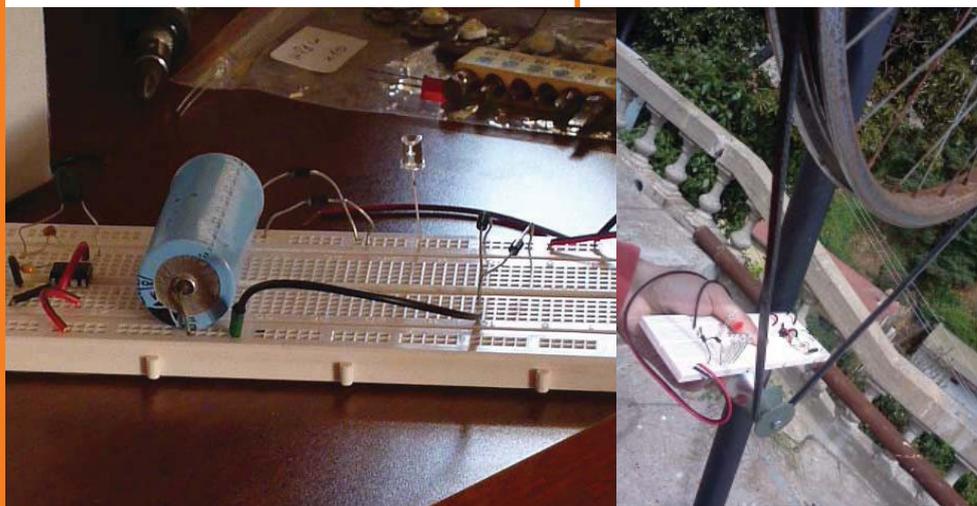


Render camino Sala de Música mostrando como se cree que se habría visto la noche iluminada por Eoluz.



Eoluz a fines de Etapa 2.

Etapa 3



A principios de Etapa 3 empieza la transformación del proyecto, de una luz eléctrica con una utilidad práctica (iluminar los senderos), a una luz existencial y para sí misma, pasando a un generador más pequeño para una luz eléctrica más focalizada, en Eoluz mismo.



Dado el cambio anterior, se avanza en la idea de ser una Luz en si mismo. La 'Luz' pasa de ser un elemento literal (eléctrico) a abstracto. Primer diseño conceptual de esta nueva 'luz', marcando un cambio importante en el proyecto:

Eoluz pasa a ser escultura cinética.

Siguiendo una idea vertical, se hace maqueta probando elementos que pudiesen girar por su propia cuenta, pero se opta por volver a la hélice mayor como fuente de energía.

Pruebas de diseños y color, aquí utilizando formas verticales.

La 'luz' de Eoluz es el juego entre el color, el movimiento y el 'aire' (que serían los espacios sin ninguno de los anteriores) entre ellos.

Aparición de posibilidad de trabajar con un cigüeñal, primero se propone cortar eje principal, pero el peso no hubiese dado abasto, luego se intenta por agregar elementos que agreguen movimiento al eje.

Tomando la idea de ejes giratorios, se propone un juego de poleas para tener un cigüeñal adentro de la estructura, y con el movimiento de este trabajar el movimiento del color, aquí el primer concepto bajo esa idea.



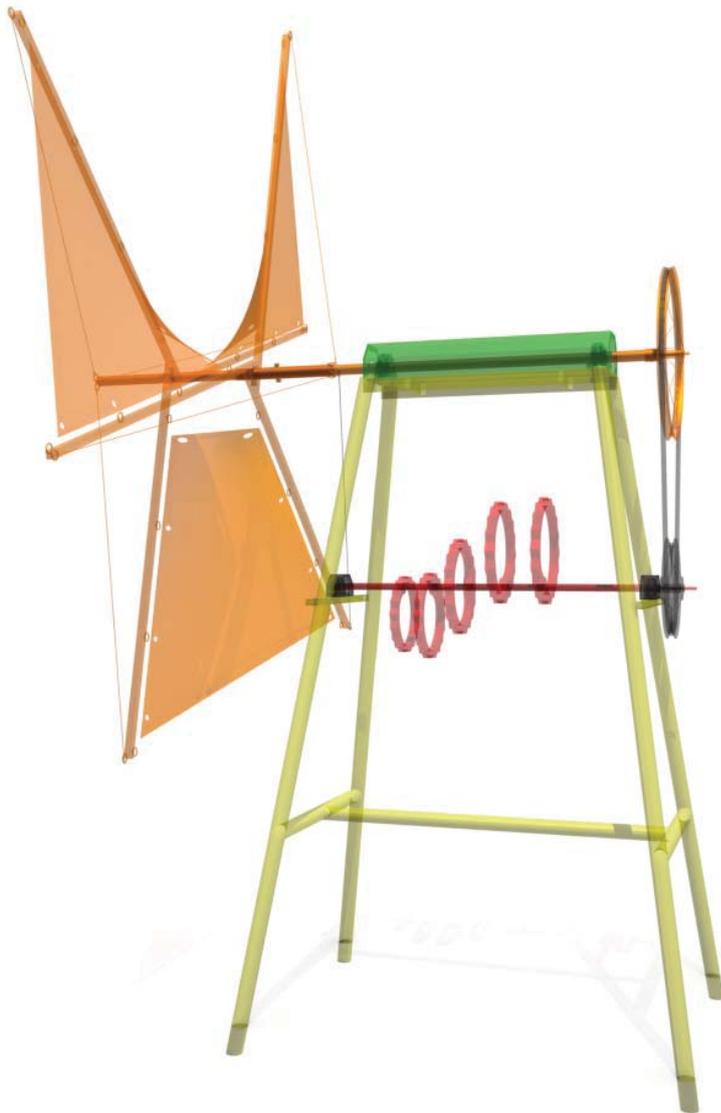
Se abstrayó el cigüeñal, volviéndose un eje recto con discos descentrados, estos accionarían elementos verticales que con cambios de ángulo harían un efecto visual de cambios en la posición del color en el elemento.

Finalmente para darle un efecto al color, se hace dentada la superficie de los discos, de este modo se ordena el color en el movimiento oscilatorio y haciendo aparecer un gradiente en medida que haya movimiento.

Probando con algunas combinaciones de color, y al aumentar el diámetro del cigüeñal se descubren los siguientes diseños.

Especificaciones Técnicas

31



Materiales

Aquí se presentará el listado de materiales utilizados para construir Eoluz, los detalles constructivos se detallan en las respectivas secciones, partiendo por el [anexo, etapa 2](#) en [Estudio de la construcción del corazón del proyecto](#), y luego siguiendo en [proyecto de titulación Eoluz en Metodología](#).

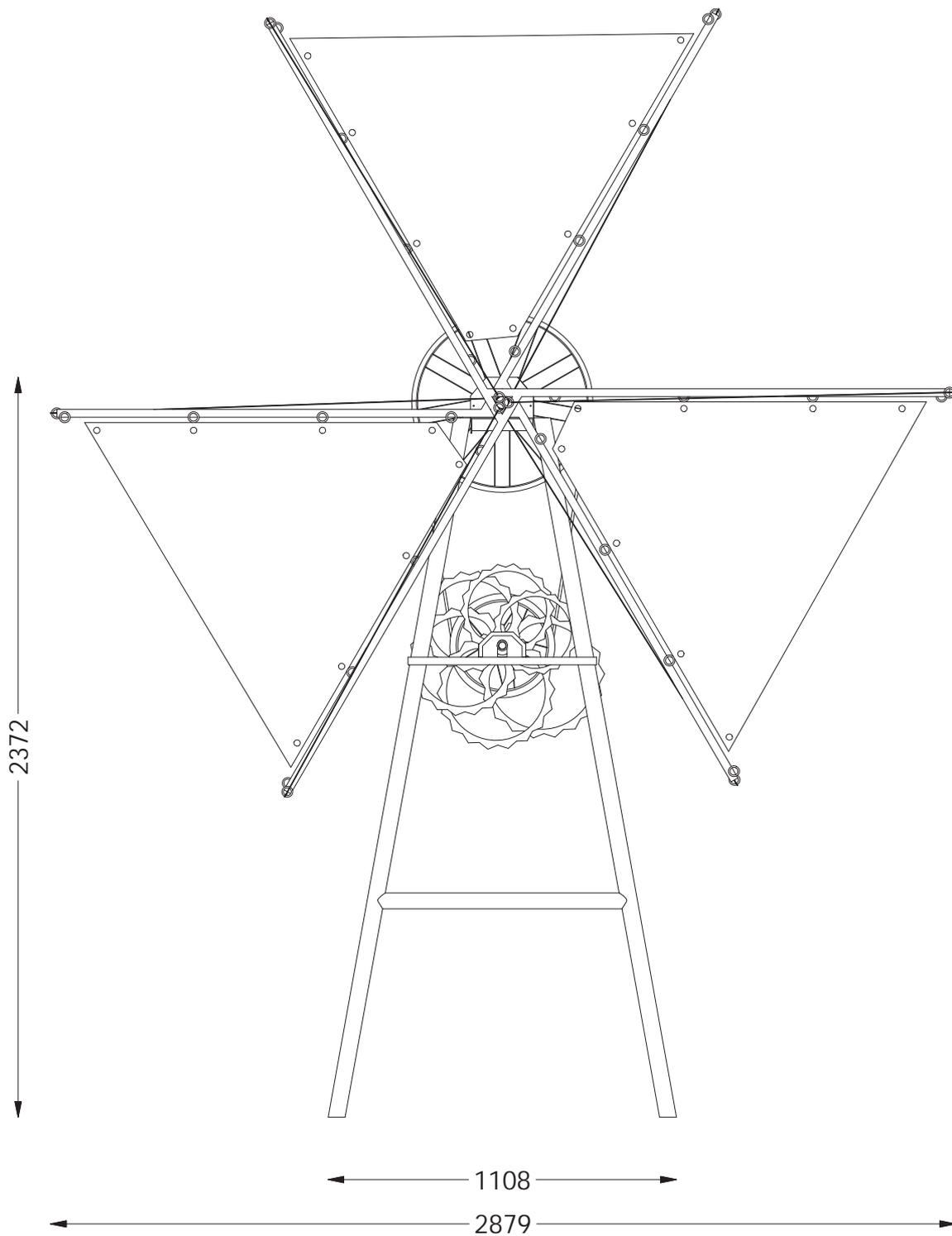
Nº pieza	Nombre pieza	Descripción y uso de pieza	Color ubicación
1	Cemento	Usado para hacer pollos y fijar estructura al suelo	
2	Tubos de Fierro	De 3pulgs. Usado en estructura	
3	Tubos de Fierro	De 1 3/4pulgs. Usado segunda pieza de hélice	
4	Tubos de Fierro	De 1 1/2pulgs. Usado en eje de hélice	
5	Perfil cuadrado de Fierro	De 25mms. Usado en tensores de aspas y base eje secundario	 
6	Argollas de Fierro	Aplicados en perfiles cuadrados, para tensar tela, sogas y piolas.	
7	Rodamiento	De descanso de 40mms. Nº UCP-208	
8	Rodamiento	De descanso de 1pulg. Nº UCP-205-16	
9	Partes de Lata	Hechas en hojalatería, protección de rodamientos	 
10	Tubo de Acero	Eje secundario con 'luz', también mecanizado	
11	Pieza de Acero mecanizada	Piea especial con pasador incluido, para anexar rueda de bicicleta a eje principal	
12	Piola de Acero	Para contraterestar tensión de aspas sobre hélice	
13	Soga de Nylon	Para amarrar aspas a hélice	
14	Tela de Tafetán	Material para intemperie útil como cortaviento	
15	Correa	Usado para reforzar tafetán	
16	Ojetillos	Para reforzar punto de amarre en aspas a hélice	
17	Terciado marino	Resistente a intemperie, usado en discos de la parte 'luz' de Eoluz	
18	Pinturas al oleo	Pinturas nº:1123,1081,851,732,680,613 y Negro, marca Sipa	
19	Pintura de protección para fierro	Pintura para limpiar, proteger y dar color base negro opaco a metal, marca Renner Premium	 
20	Hilo sin fin	15mms. Para fijar UPC-208 a estructura	
21	Golillas	Para perno de 15mms.	
22	Tuercas	Para perno de 15mms.	
23	Hilo sin fin	6mms. Para fijar discos 'luz' a eje secundario.	
24	Golillas	Para perno de 6mms.	
25	Golillas de presión	Para perno de 6mms. Estos crean presión para evitar desliz de tuercas	
26	Tuercas	Para perno de 6mms.	
27	Tuercas de seguridad	Para perno de 6mms. Con argolla plástica dentro para evitar que se suelten	
28	Pernos	3mms.	
29	Golillas	Para perno de 3mms.	
30	Tuercas	Para perno de 3mms.	
31	Pernos	12mms.	
32	Golillas	Para perno de 12mms.	
33	Golillas de presión	Para perno de 12mms. Estos crean presión para evitar desliz de tuercas	
34	Tuercas	Para perno de 12mms.	
35	Tuercas de seguridad	Para perno de 12mms. Con argolla plástica dentro para evitar que se suelten	
36	Correa A116	Usada para transmitir movimiento de hélice a 'luz'	
37	Rueda de bicicleta	Aro 22	
38	Rueda de bicicleta	Aro 12	
39	Tuercas	De 3/8pulgs para fijación de ruedas de bicicleta	 
40	Golillas	Para perno de 10mms.	 
41	Golillas de Asbesto	Para perno de 10mms. Usados para dar mayor fricción entre tuercas y soporte de ruedas de bicicleta	 
42	Perfil C de Fierro	Perfil de 200x60mms parte alta de estructura	
43	Perfil rectangular Fierro	De 1 1/2x3/4pulgs. Usado como costilla para perfil C.	

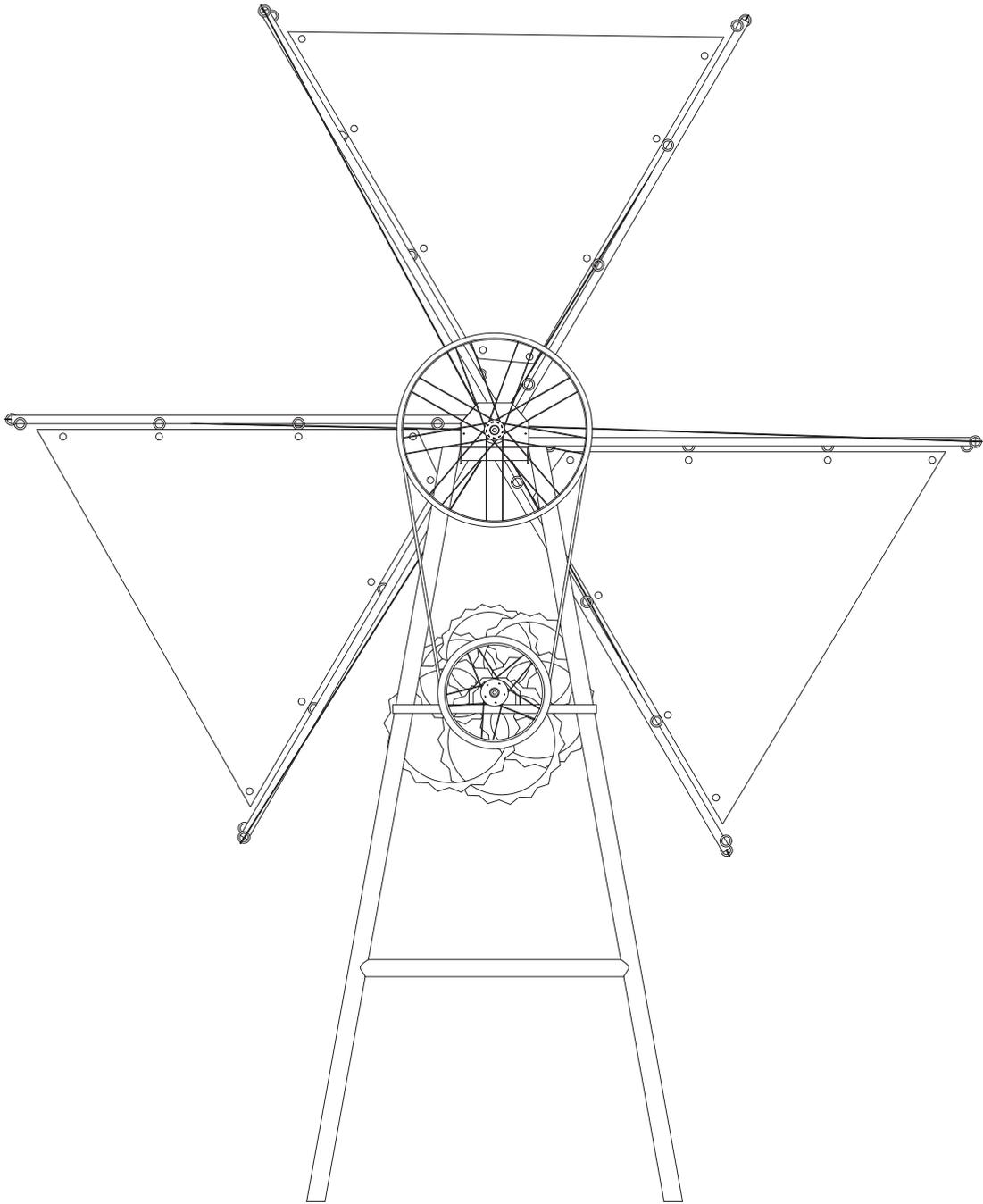
Planimetría

Vistas Generales

Escala 1:20

33

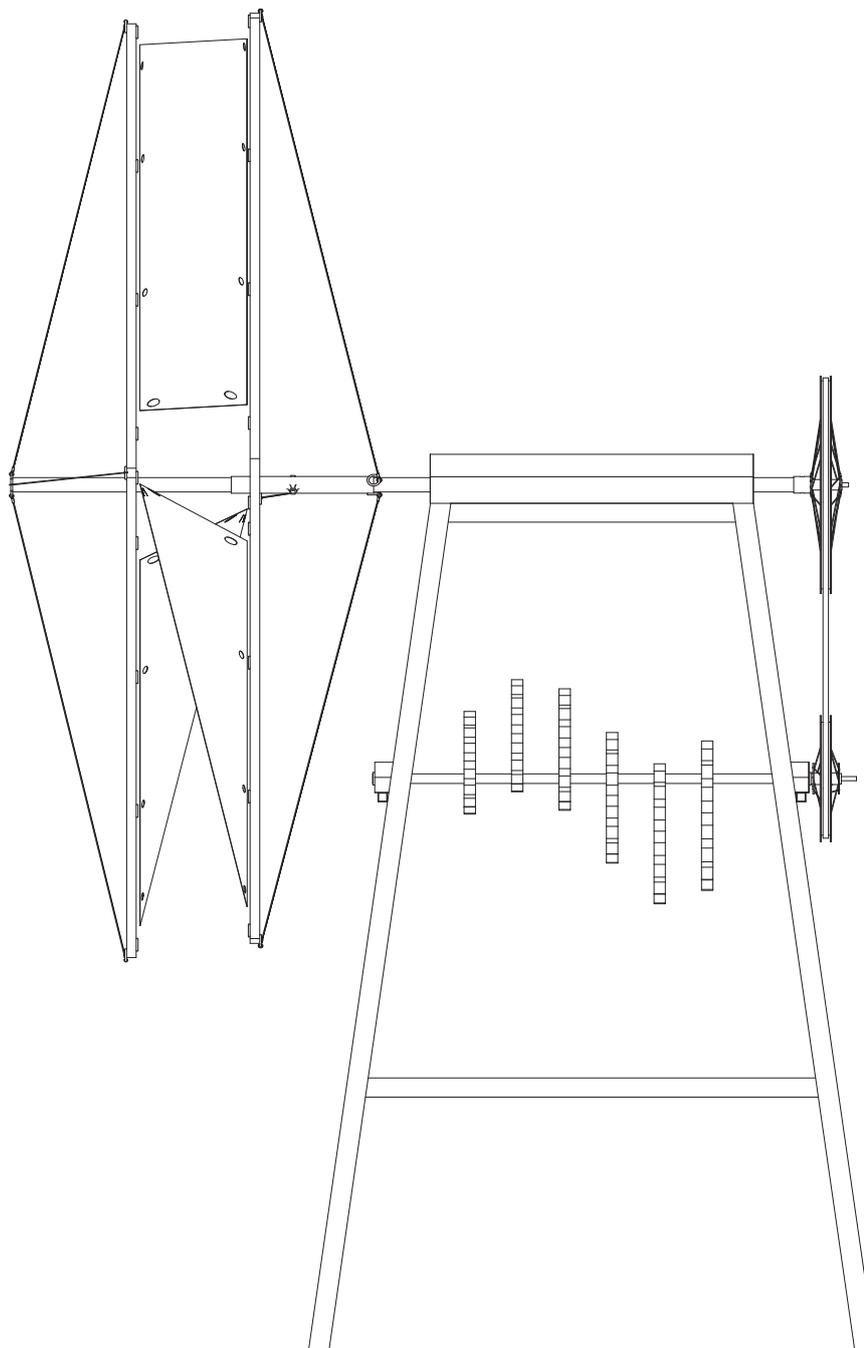


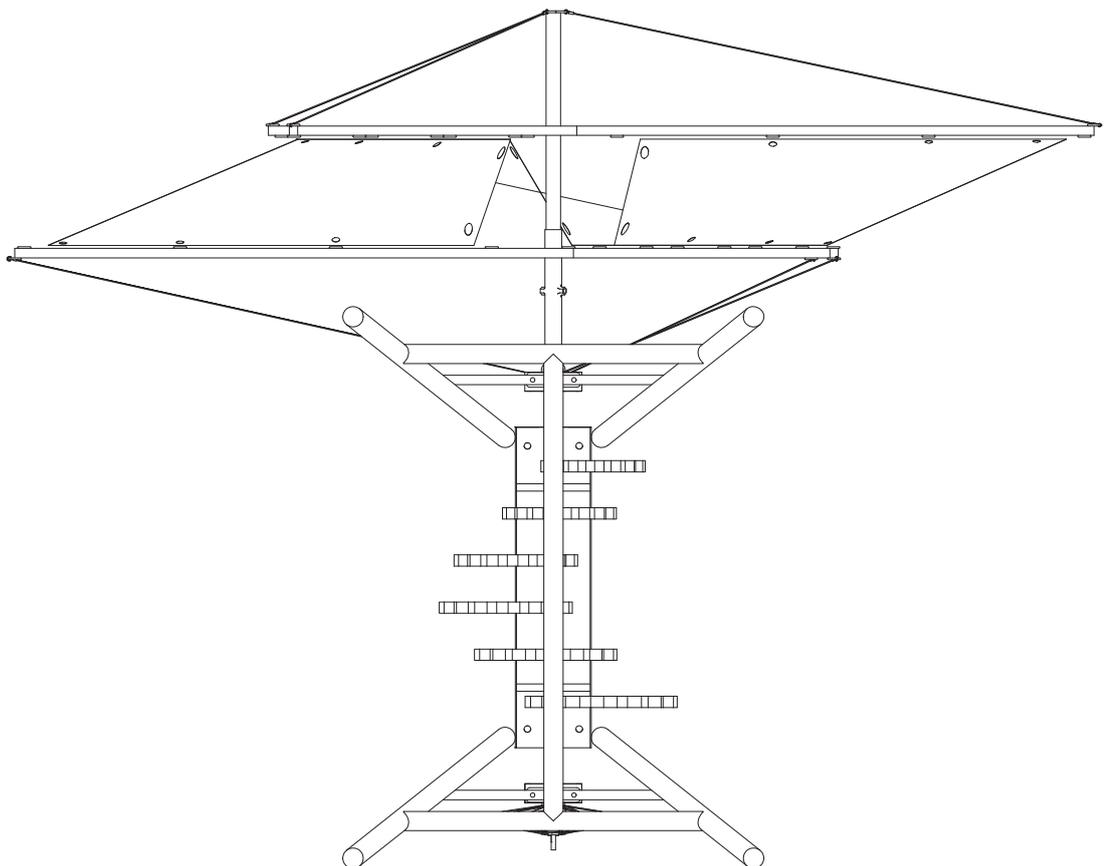
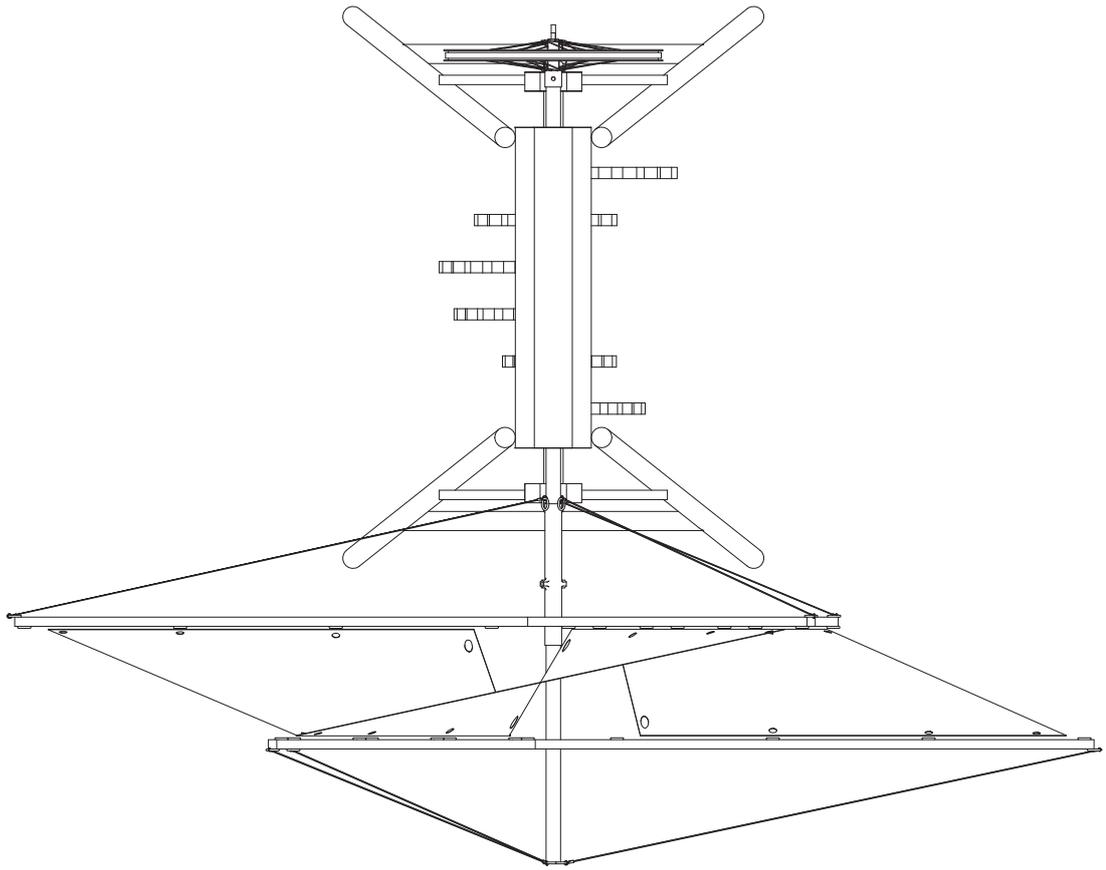


2291

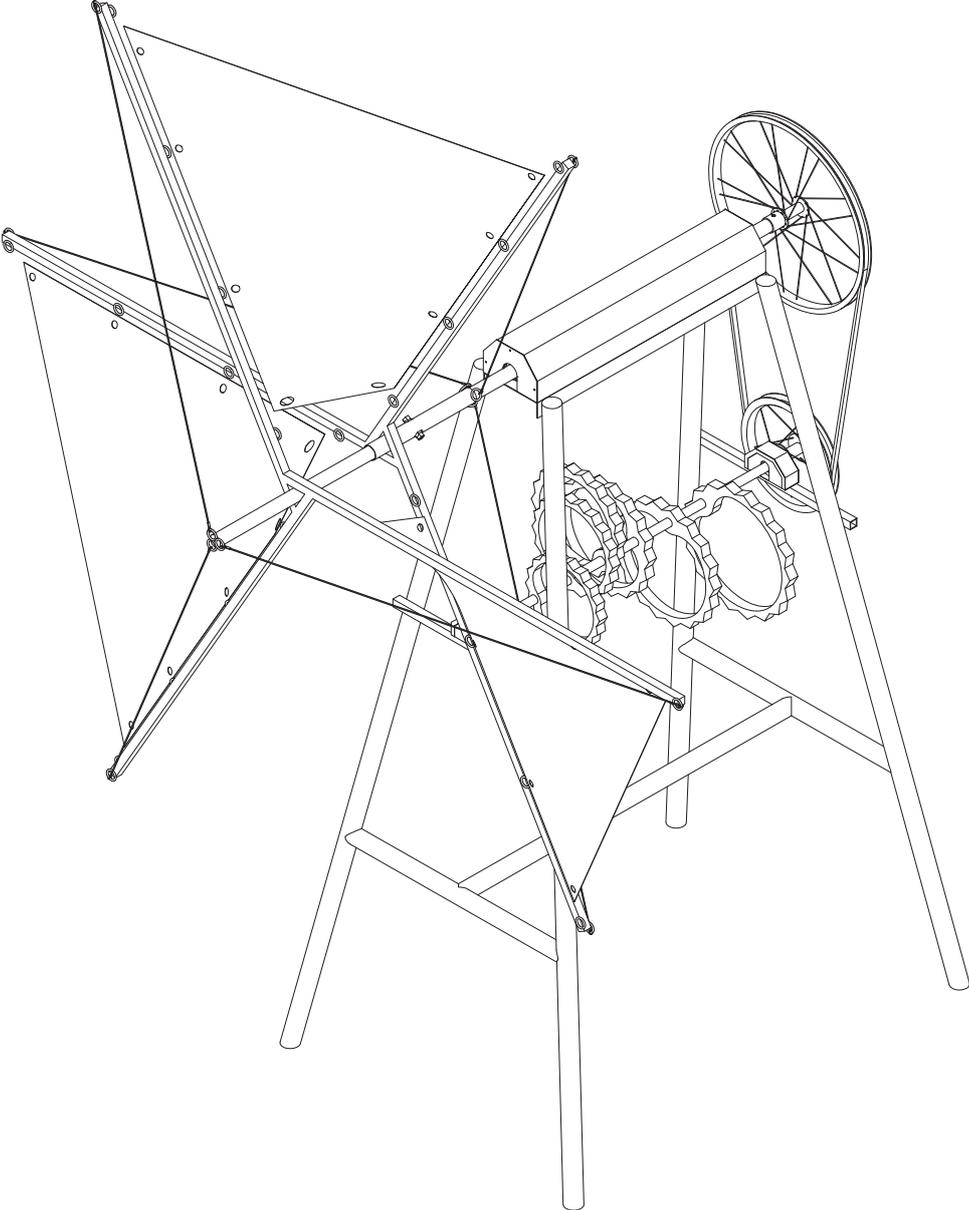
Proyecto de Título - Eoluz

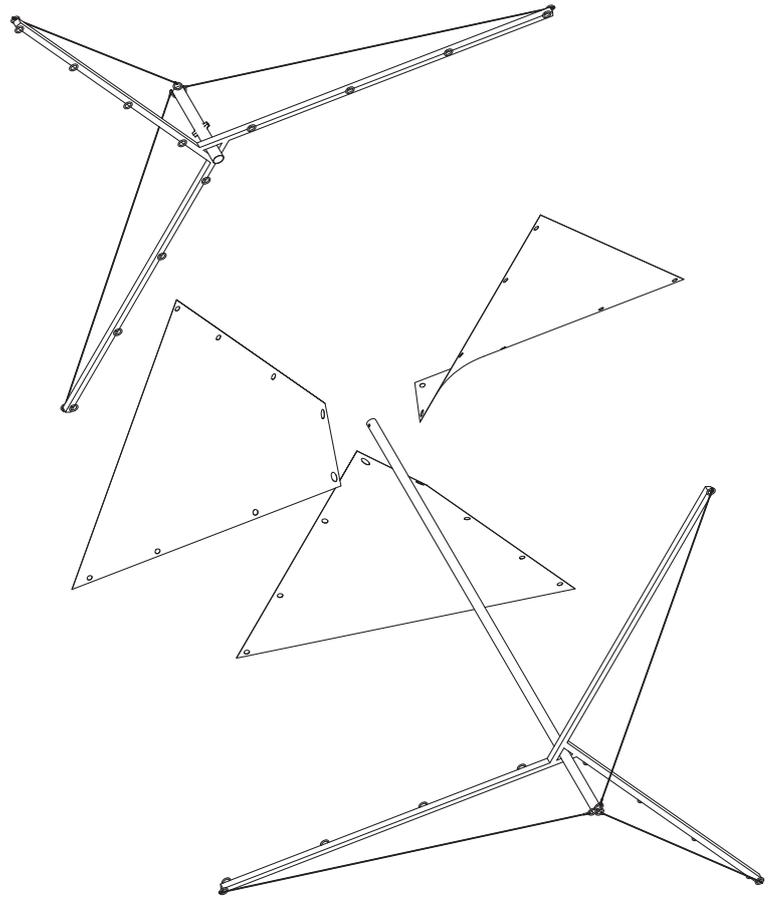
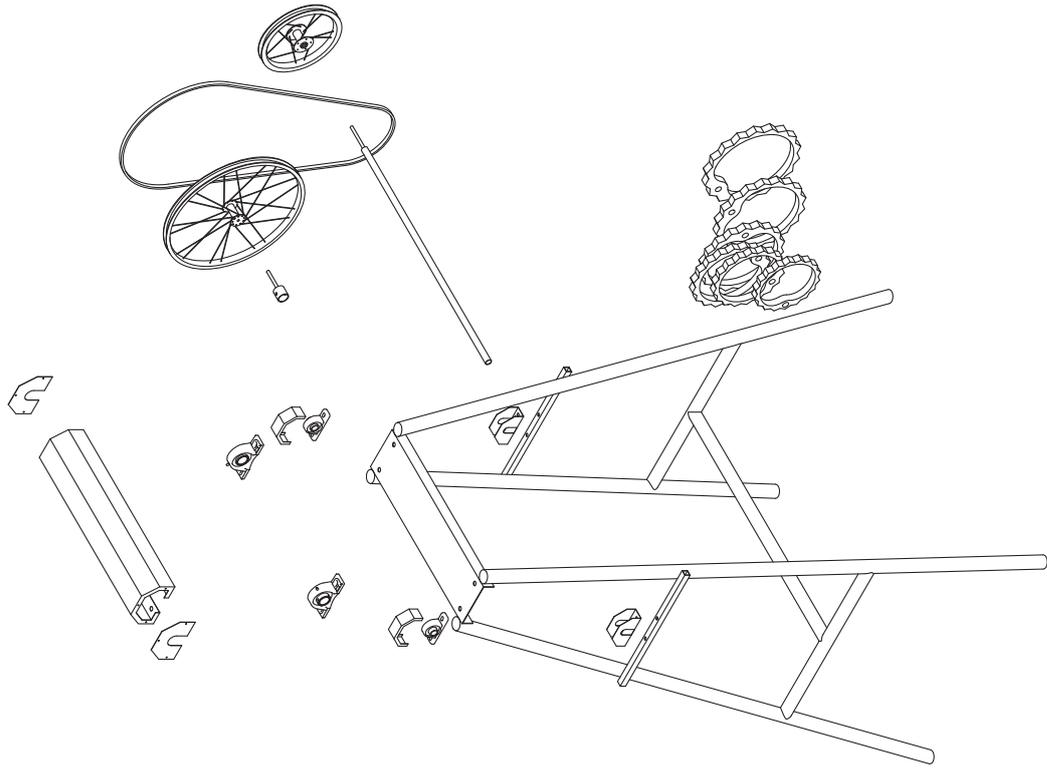
35





37

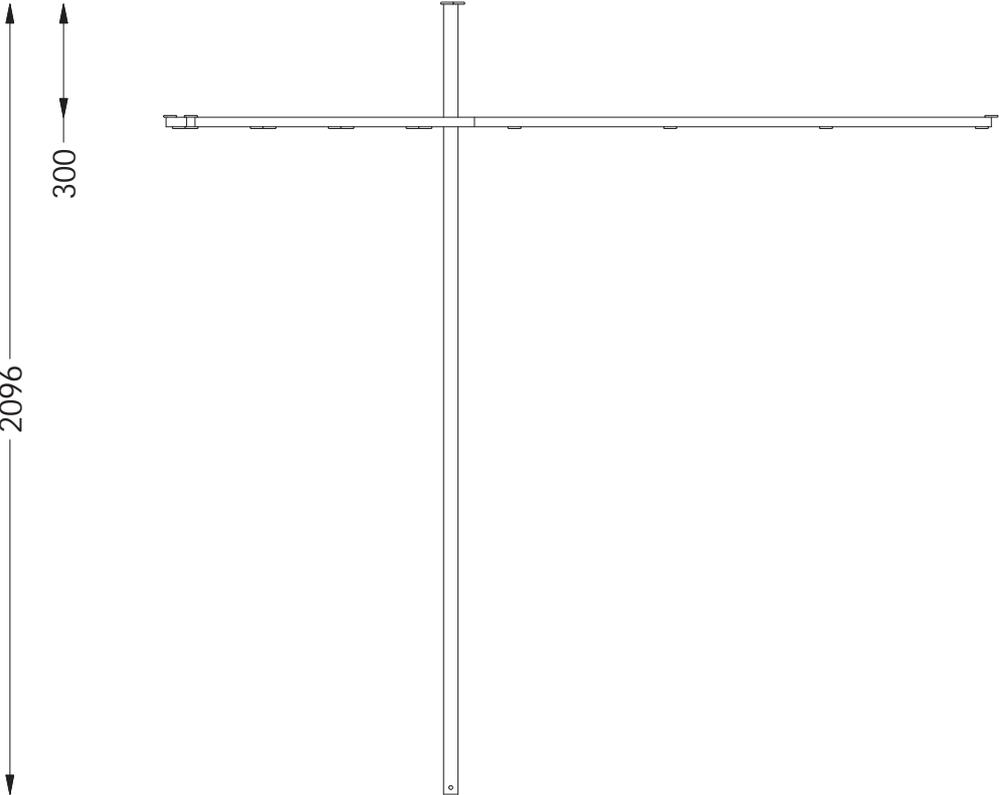
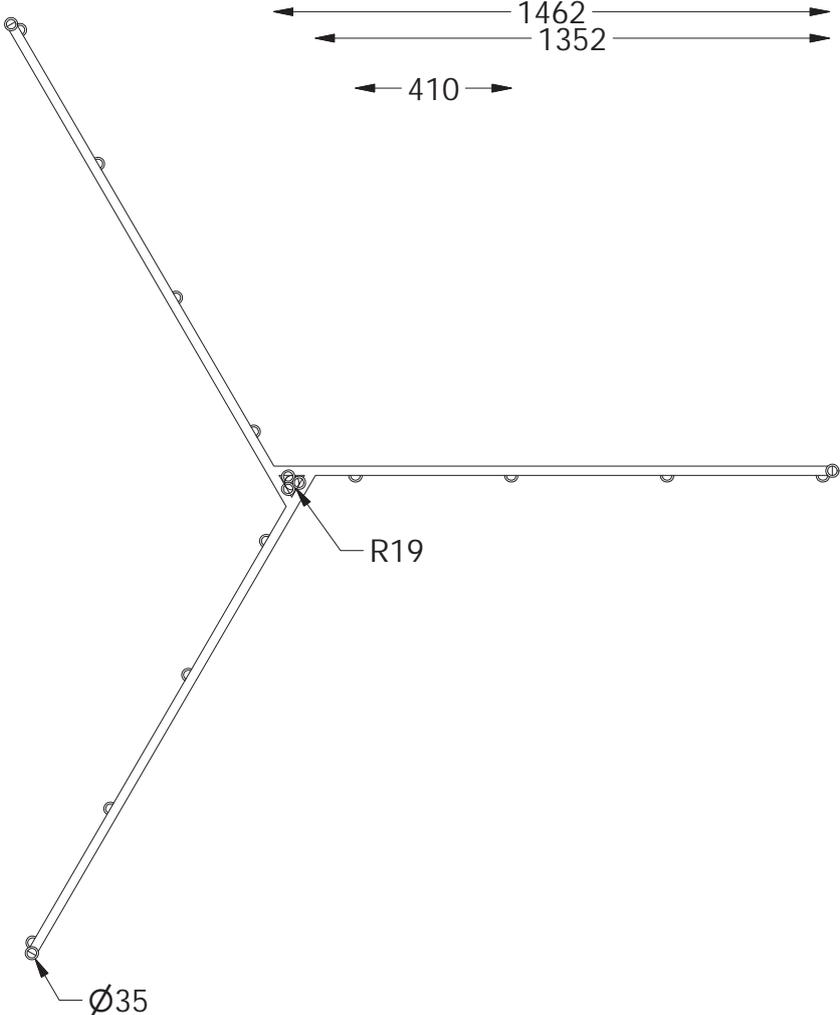


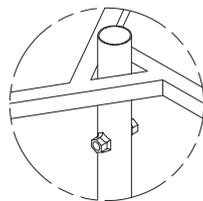
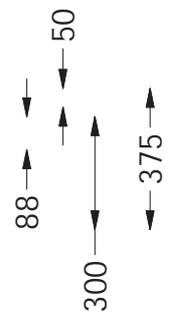
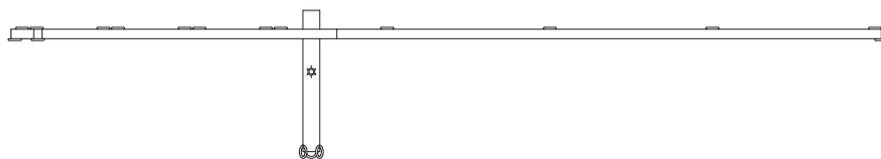
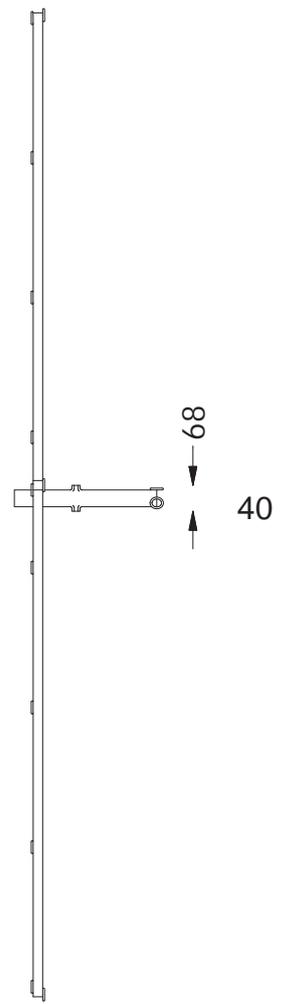
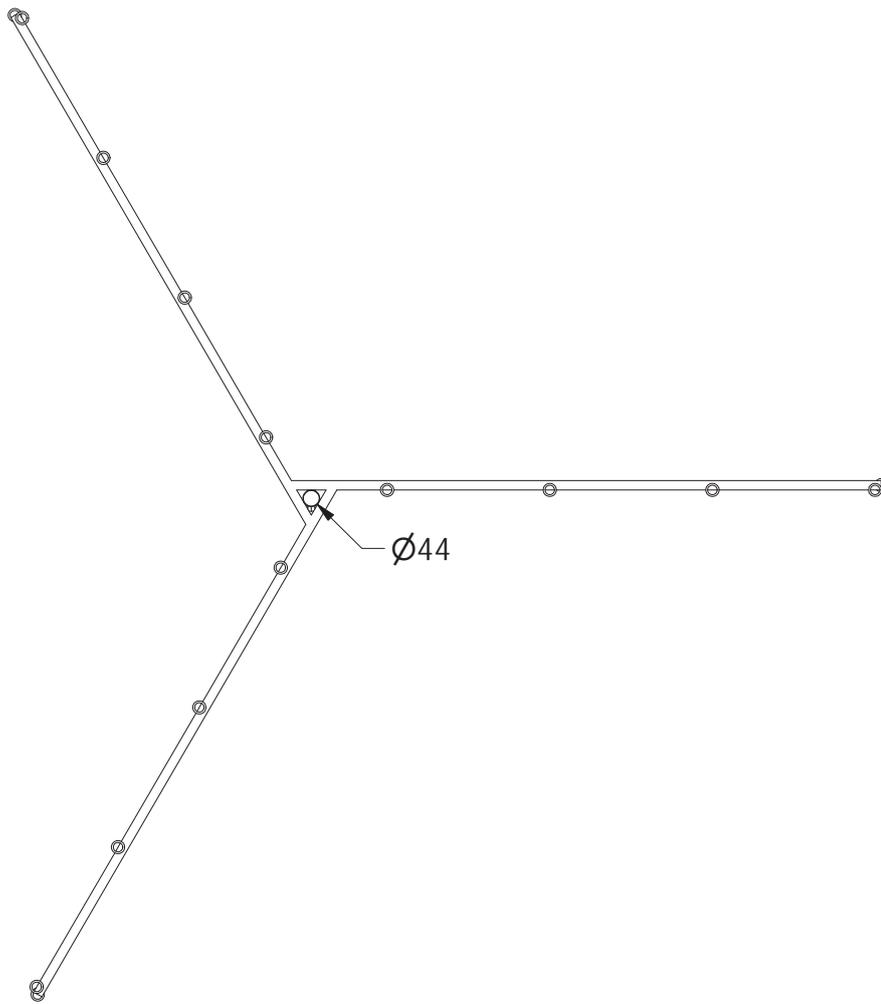


Proyecto de Título - Eoluz

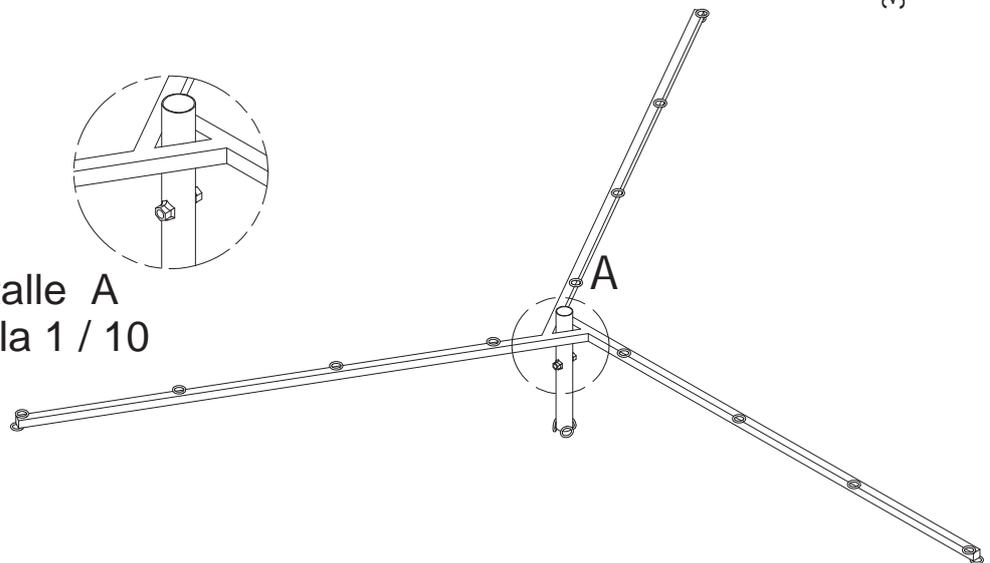
Hélice

39

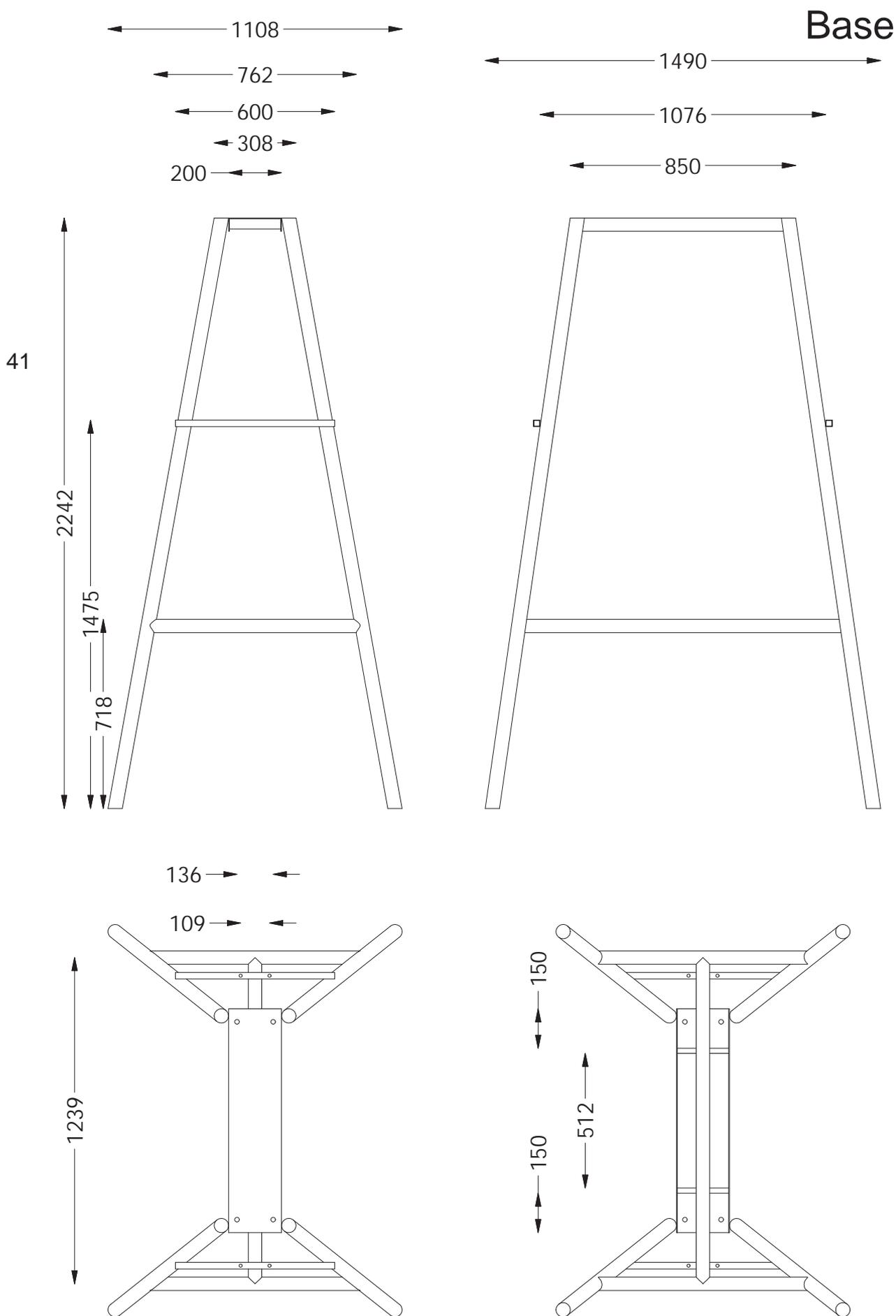




Detalle A
Escala 1 / 10

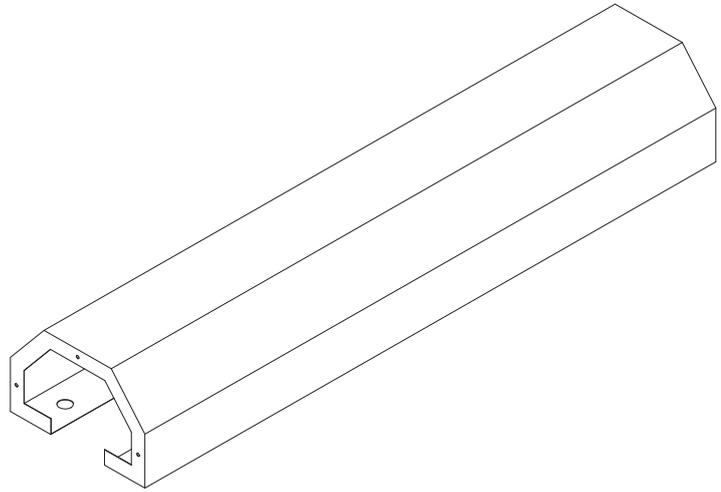
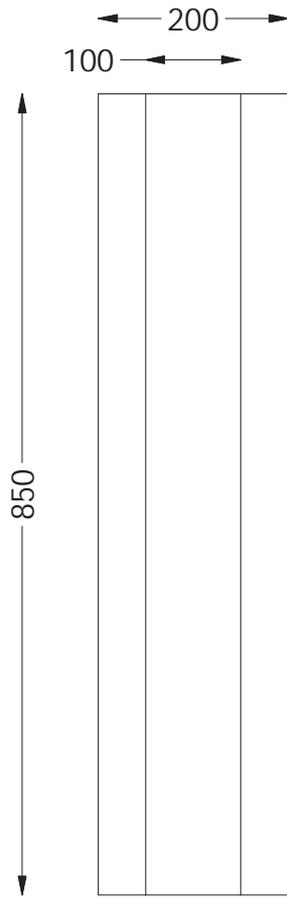


Proyecto de Título - Eoluz

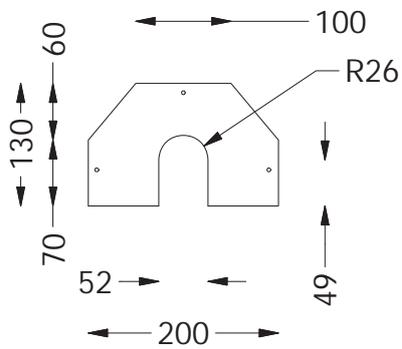
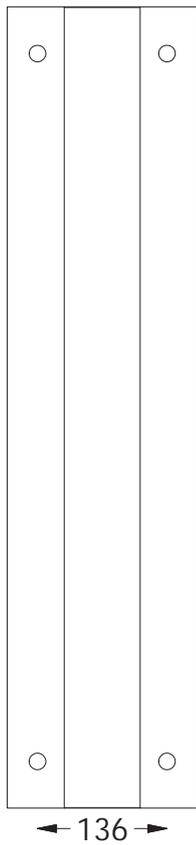
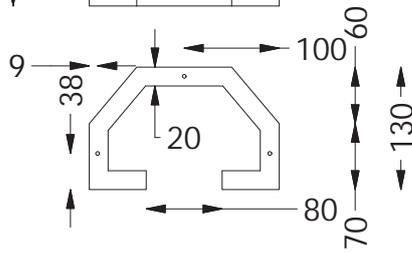


Techo

Escala 1:8



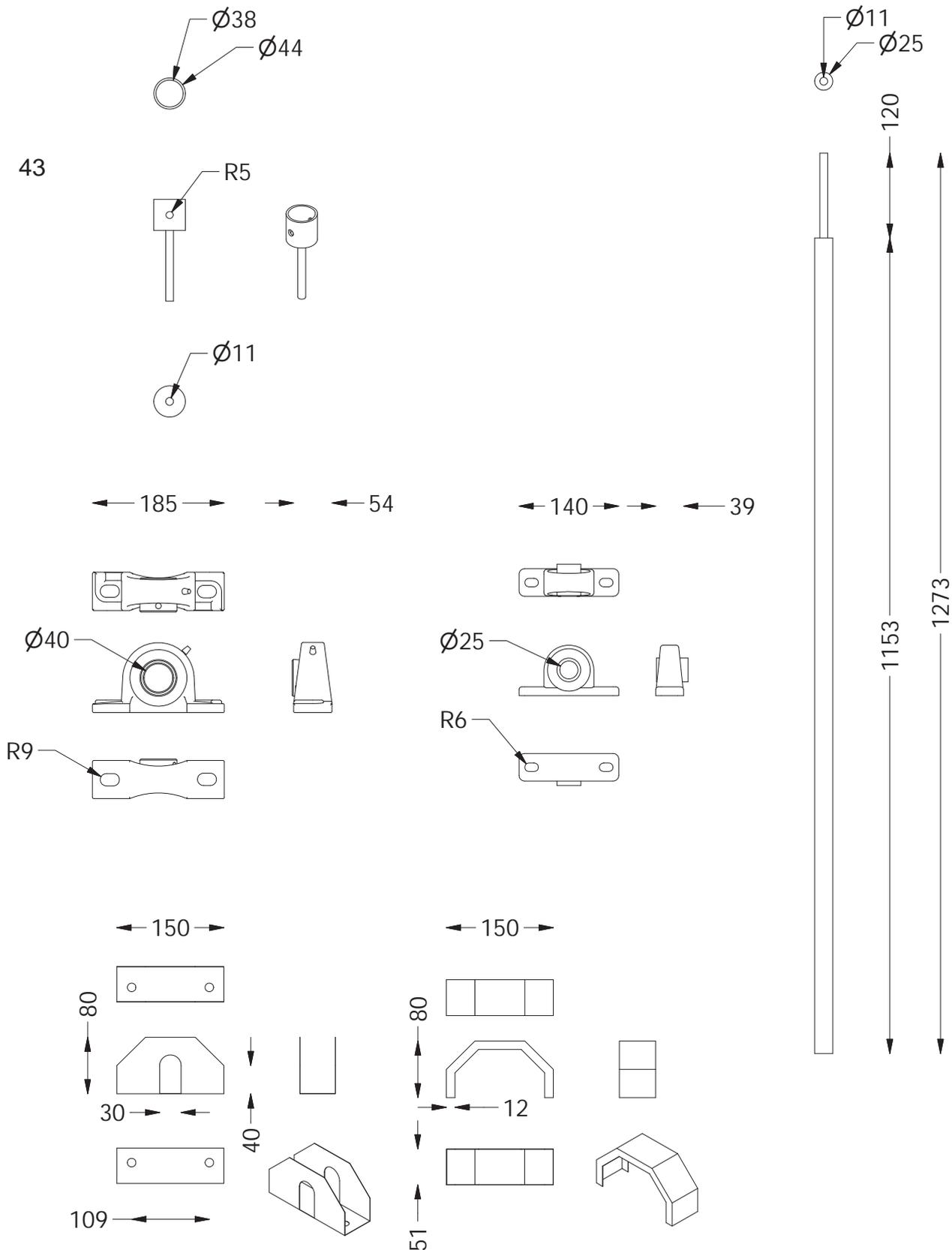
42



Proyecto de Título - Eoluz

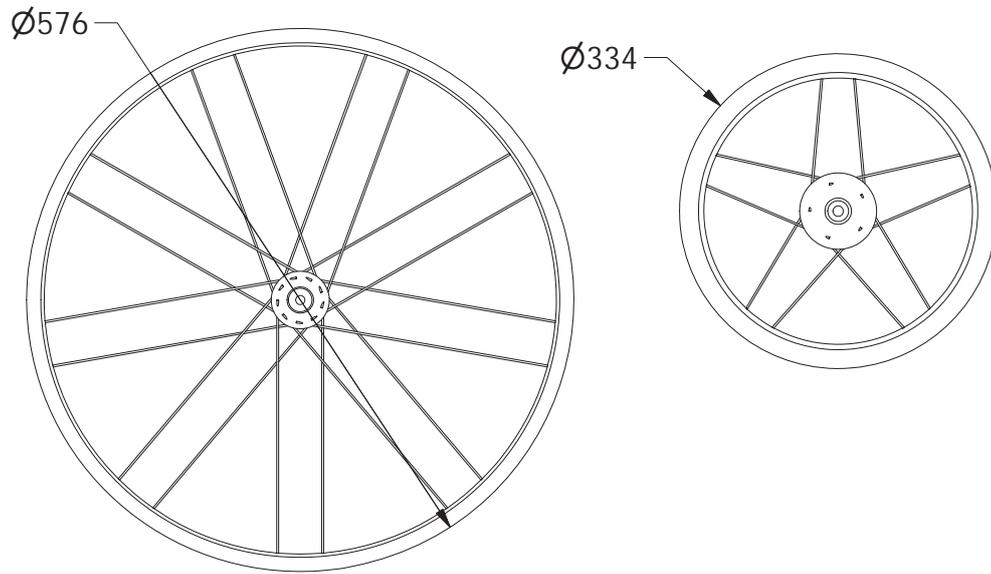
Adaptador rueda de bicicleta, eje secundario, rodamientos y techos de rodamientos del eje secundario

Escala 1:8

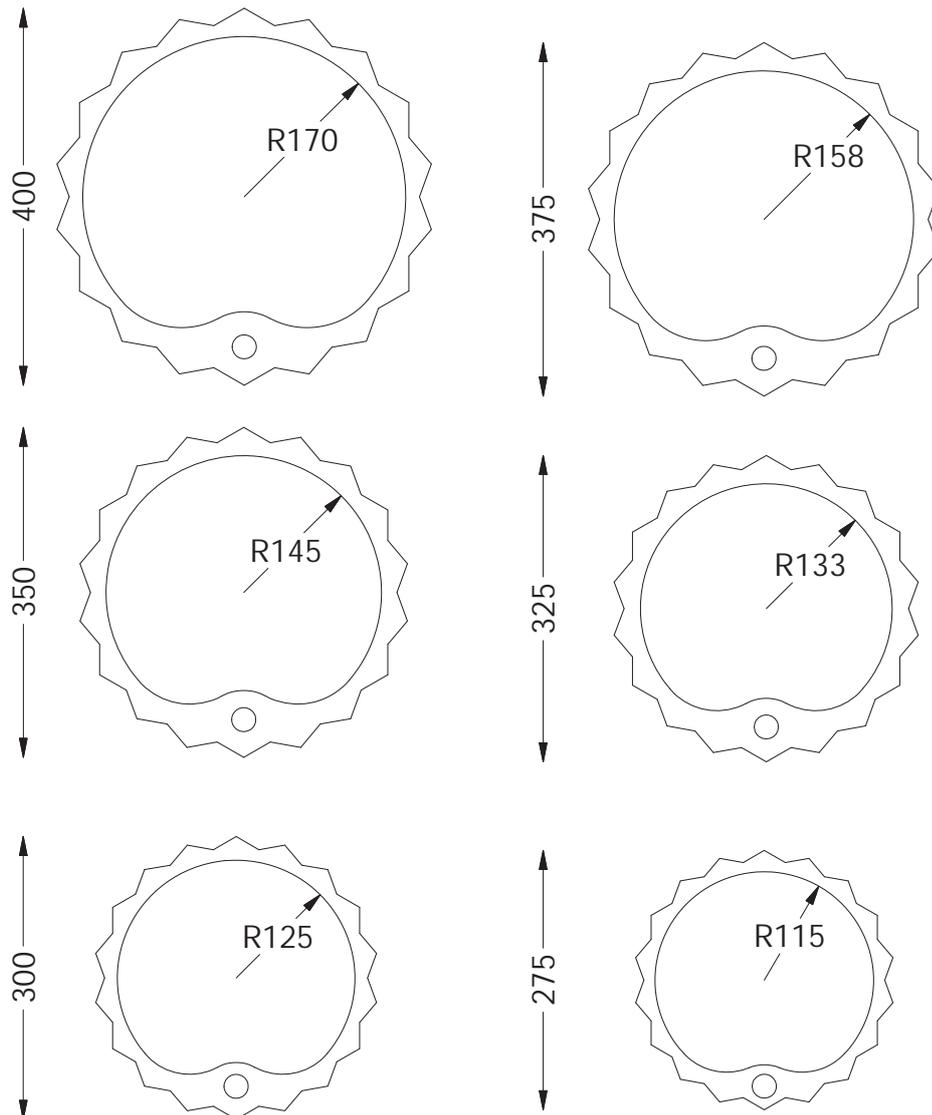


Ruedas/poleas y discos 'luz'

Escala 1:8

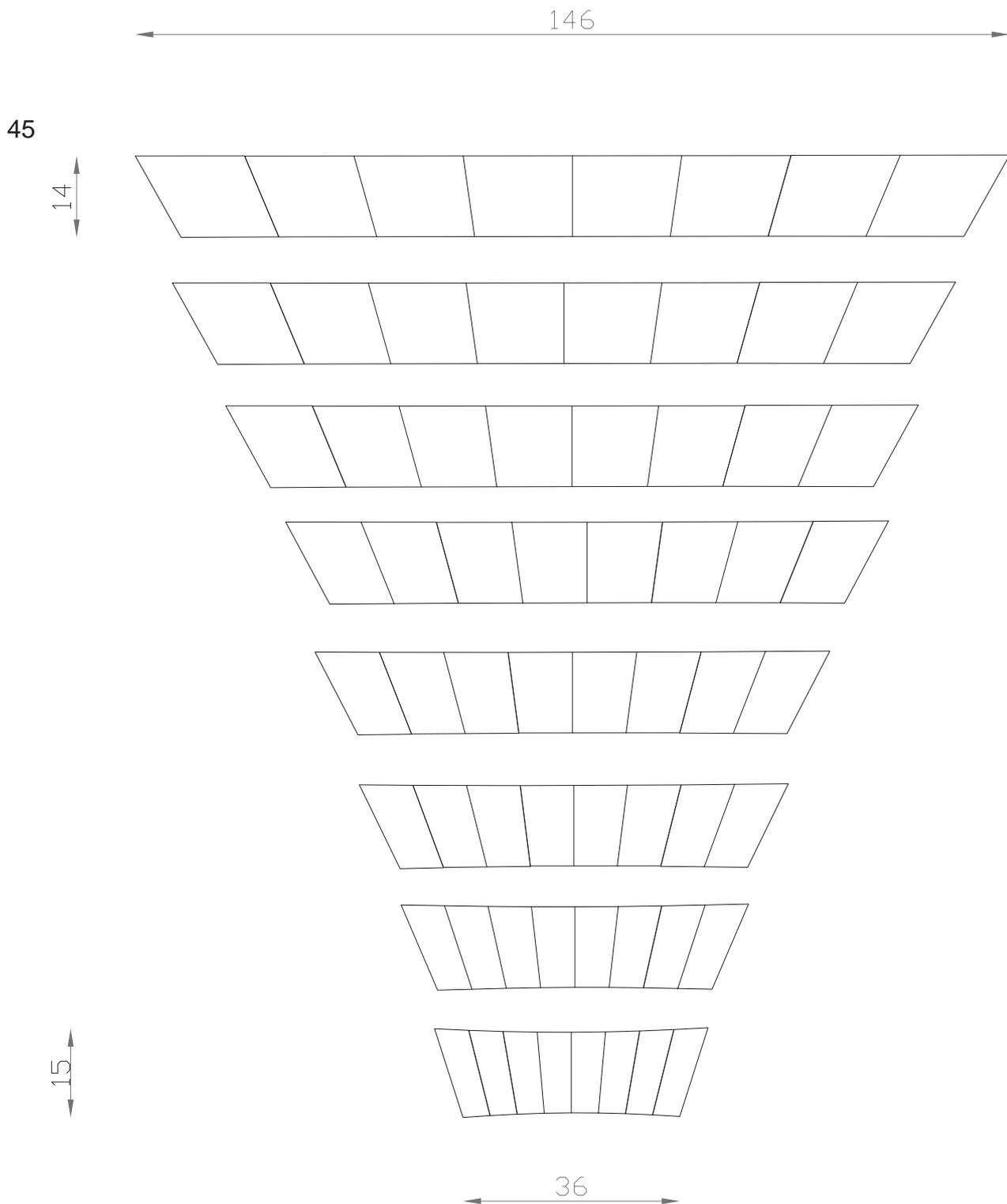


44



Proyecto de Título - Eoluz

Aspa
Escala 1:10



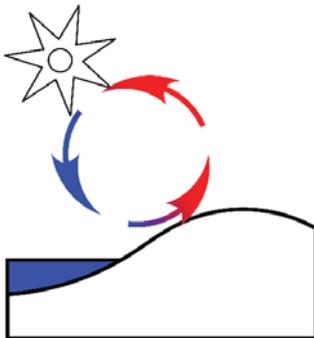
Estas franjas son los fragmentos de tela a recortar y luego cocer entre ellas para poder obtener la forma del aspa, la que al estar tensa forma una superficie de curva, volumétrica, en vez de un lienzo recto.

Cabe destacar que en esta planimetría no se considera el espacio para los dobleces ni las aletas adicionales que hubo que hacer para poder unir estas piezas.

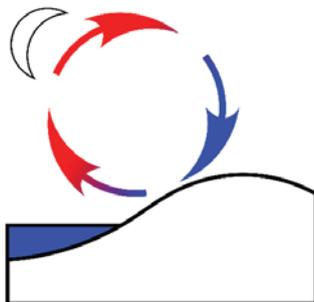
Proyecto de Título - Eoluz

Anexos

En esta sección se presentarán los contenidos, estudios y propuestas de las etapas 1 y 2 de Eoluz, en la etapa 1 se verá principalmente el estudio del viento y la forma de las turbinas, y el proceso de construcción de una serie de hélices. Luego en la etapa 2 se mostrará el comienzo de la construcción de Eoluz como también el concepto con el que este empieza antes de volverse escultura cinética, cosa que ocurre entrado la etapa 3, que es la que compone el resto de esta carpeta, a modo de registro se agrega una corta sección al final de este anexo con la exposición de la tercera etapa.



Durante el día el aire sobre la tierra se calienta más rápido que la que esta sobre el agua, por ende el aire marino entra.



Durante la noche el aire sobre la tierra se enfría más rápido que la que esta sobre el agua, por ende el aire continental sale.

Imagen 2,1 ▲

En esta etapa es cuando se presenta el viento como tema de estudio, de este punto en adelante se maquetea la posibilidad de un generador eólico portátil, concluyendo la etapa en un estudio de la forma de las aspas y algunos cálculos físicos relevantes a esta.

A continuación se verá presenta lo estudiado, expuesto y finalmente concluido al final de esta etapa.

El Viento

Definición del Viento

Se define como “viento” al **flujo de gases a gran escala en la atmósfera**, en el caso de la Tierra: el aire. Su origen viene de la convección, la rotación del planeta, y de los cambios de temperatura causados por los ciclos día/noche.

La **convección** es una de las 3 formas de transferencia del calor (imagen 2,3), que consiste en el movimiento de un fluido causado por un

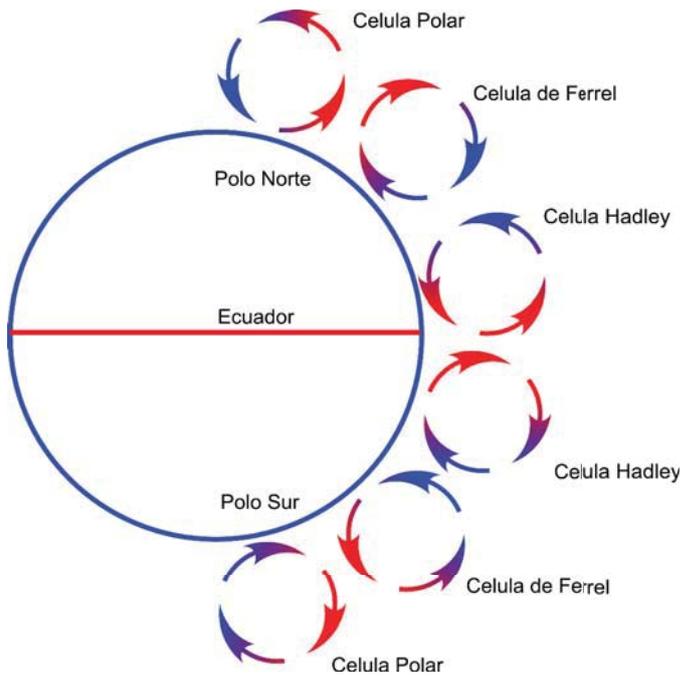


Imagen 2,2 ◀

foco de calor, esto porque un mismo fluido tiene distintas densidades dependiendo de su temperatura, y estas distintas densidades definen la ubicación de sus unidades en un espacio.

Normalmente un foco de calor, inmerso en un medio, por ejemplo el aire, calentará el fluido alrededor al foco de calor, el que se elevará por volverse menos denso que el resto del medio que está frío, y al hacerlo empujará al fluido frío que tomará la posición al lado del foco de calor y se calentará formando un flujo, un ciclo. Este flujo se puede observar en la Tierra en 2 formas, una global y otra local, como se ilustra en la imagen 2,2 y 2,1 respectivamente.

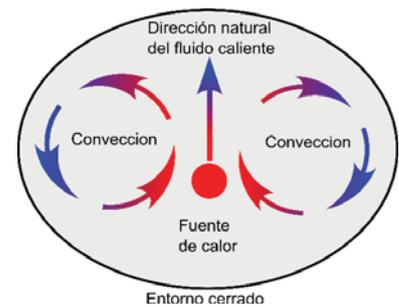
Por otro lado, también está el hecho de que toda materia cerca de un planeta es atraída por la gravedad hacia su superficie, esto incluye al

aire, pero el aire es un fluido y por ende no sería capaz de mantenerse fijo sobre una superficie determinada, por ende si el planeta gira, desde el suelo puede dar la impresión de que el aire se mueve, pero este puede estar estático visto desde fuera del planeta, pero a su vez el aire está en movimiento en un flujo, dándose a lugar el efecto **Coriolis**, véase imagen 2,4.

Medición del viento

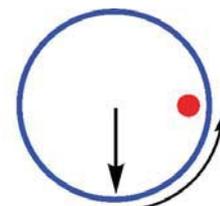
La medición del viento consiste en 2 cosas esencialmente, su dirección y velocidad, para ello están las siguientes herramientas:

Anemómetro: Aparato para medir la velocidad del viento, se usa en conjunto con



Entorno cerrado

Imagen 2,3 ▲



Entorno gira y el movimiento hecho es aparentemente rectilíneo respecto a sí mismo



Pero visto desde el entorno este movimiento es circular.

Imagen 2,4 ▲

Imagen 2,6 ▼



51



Imagen 2,5 ▲



Imagen 1,7 ▲

veletas y otras herramientas para hacer estudios climáticos. El viento empuja las paletas haciendo girar el pequeño eje, rotación que es medida actualmente por computadoras (imagen 2,5).

A principios del siglo 19, Sir Francis Beaufort de la Royal Navy inglesa crea la **escala Beaufort** (tabla 1.1), en donde se establece una escala de condiciones cualitativas (no cuantitativas) del viento yendo del 0 al 12 (desde la calma a temporal huracanado), para indicar como un navío actuaría bajo ellas, con el tiempo y la aparición del anemómetro a esta escala se le asignan valores cuantitativos y una descripción cualitativa del efecto del viento en tierra firma también.

Veleta: Esta indica la dirección del viento, es usada tanto por estaciones meteorológicas, pero también era común verlas en techos de algunas casas, en donde también tenían los puntos cardenales definidos como referencia (imagen 2,6).

Manga da Viento: Más que herramienta de medición,

es una herramienta de visualización, al ver en que posición esta manga es elevada por el viento uno es capaz de determinar a simple vista si las condiciones son aptas para algún tipo de circunstancia, como es el vuelo en los aeropuertos por ejemplo (imagen 2,7).

Historia de los generadores eólicos

Primeros Molinos

Los molinos de viento más antiguos datan del año **200 antes de Cristo**, un ejemplo de occidente es un molino de Heron de Alexandria, usado para alimentar un órgano. En cambio en el oriente, en el Tibet, desde el **siglo 4 A.C.** existen las ruedas de oración, eran rodamientos verticales que tenían en sus superficies



los mantras que los monjes rezaban, que giraban gracias al viento.

El uso mecánico del viento

Sin embargo los **primeros molinos** con una finalidad práctica aparecen en **Sistán**, un pueblo de Persia (actualmente Irán/Afganistán), en el **siglo 7 después de Cristo**. Eran molinos de tipo vertical usados para moler maíz y cañas de azúcar. Mas no hay evidencia arqueológica ni documentada de que este diseño se hubiese esparcido

hasta más allá de Al-Andalus (España islamica), al oeste. Otros estudios indican que la aparición de los molinos verticales en Europa están más relacionados por la expansión del imperio Bizantino y las Cruzadas.

Las primeras referencias de molinos en Europa datan de finales del siglo 12, estos siendo molinos de eje horizontal, en la zona del norte de Francia y del sur de Inglaterra. Ya que el viento cambia de forma constante su dirección estos fueron hechos para poder orientarse hacia el viento. Algunos estudios indican que el diseño de estos molinos pudo provenir del de los molinos de agua.

Secuencia de imagenes de molinos historicos:
 Imagenes ▲
 2,8: rueda de oraciones del Tibet
 2,9: Molinos Persas
 2,10: Molinos europeos de la Edad Media
 2,11: Primera turbina eólica
 2,12: Fotografía de Embarcación "Chance" con turbina eólica incorporada
 2,13: Turbina de Yalta de la URSS
 2,14: Turbina Smithputnam EE.UU.

Electricidad eólica

Hacia finales del siglo 19, en 1887, en Escocia **James Blyth** construye el primer molino de viento capaz de generar electricidad, se uso para cargar baterías. Pero el primer molino hecho para generar energía eléctrica a nivel producción fue Charles F. Brush, en Cleveland, Ohio, en 1888. Para 1908 habían 75 de ellos capaces de generar entre 5 a 25 kwatts. Se experimentaron varias posibilidades de generación eléctrica, incluyendo la generación a bordo de embarcaciones, como es el caso del "Chance", aquí ilustrado. Hasta los años '30 era común que las granjas tuviesen sus propios molinos de electricidad, dado que redes de distribución como las actuales aún no existían.

El precursor del diseño actual de los generadores eólicos aparece en 1931, Yalta en la URSS (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas). Era un generador de 30 metros de alto capaz de generar hasta 100 kwatts. Su factor de planta era del 32%,

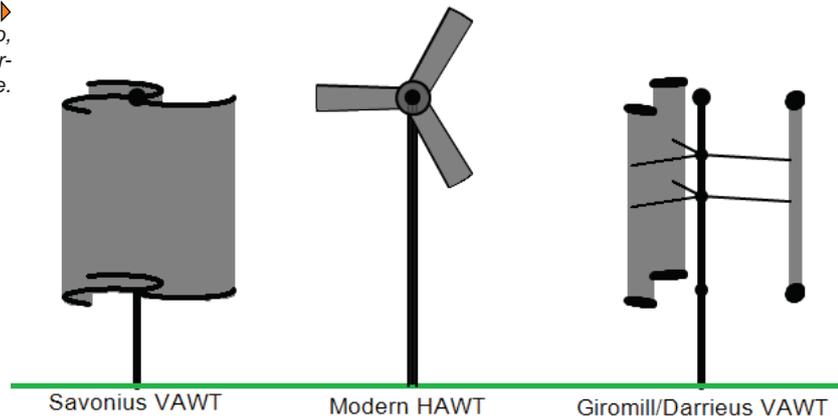
no muy distinto al de las actuales (este valor es un cociente entre la energía real generada en un periodo y la energía máxima capaz de generar en mismo periodo).

A fines de 1941, en Vermont, aparecen las primeras turbinas capaces de generar megawatts, la turbina Smith-Putnam llega a los 1.25 mwatts, pero sufre de fallas críticas después de 1100 horas de trabajo, por causa de la guerra no se pudo reparar por no haber materiales, fue la turbina más grande jamás construida, hasta 1979.

El desarrollo de energía eólica a mediados del siglo 20 estuvo relacionada con búsqueda de fuentes alternativas de recursos a causa de las guerras y las variaciones del precio del petróleo y el carbón, que eran las principal fuente de energía eléctrica (al menos antes de la energía nuclear), y no es hasta finales de siglo y comienzos del siglo 21 que no aparece el enfoque medio-ambientalista.

Fuerza	Nombre	Descripción marina	Descripción terrestre	Velocidad (kmh)
0	Calma total	Mar como un espejo	Sin movimiento de árboles, el humo asciende verticalmente	0 a 1
1	Aire ligero	Olas sin crestas	Sin movimiento de árboles, el humo tiende a ladearse	1 a 5
2	Brisa ligera	Olas con crestas pequeñas que no llegan a romperse	Movimiento ligero de ramas, las banderas empiezan a moverse	6 a 11
3	Brisa agradable	Olas de mayor tamaño, a veces las crestas se rompen y empieza a aparecer un poco de espuma ocasional	Ramitas y hojas en movimiento constante, banderas pequeñas extendidas.	12 a 19
4	Brisa moderada	Las olas tienden a generar espuma con frecuencia y a ser más grandes	Ramas se mueven y las banderas mayores se extienden	20 a 29
5	Brisa fría	Olas de tamaño moderado y largas, bastante espuma y a veces salpican hacia tierra firme	Árboles pequeños oscilan, ls banderas flamean	30 a 38
6	Brisa fuerte	Algunas olas grandes, en la cresta de estas también hay espuma	Ramas mayores se mueven	39 a 50
7	Casi vendaval	Mar picado, el viento puede llevar lejos la espuma que salta al estrellarse las olas	Árboles enteros oscilan con el viento	51 a 61
8	Vendaval	Olas grandes y largas rompen formando remolinos	Algunas ramas menores empiezan a romperse	62 a 74
9	Vendaval fuerte	Olas grandes que rompen violentamente, a causa de la espuma que salta la visibilidad se reduce	Ramas de árboles se rompen y techos de paneles empiezan a volarse	75 a 86
10	Tormenta	Superficie del mar parece blanca por la espuma, baja visibilidad	Algunos árboles caen, daño en algunos edificios	87 a 101
11	Tormenta severa	Olas de altura excepcional, capaces de pasar por encima de embarcaciones menores	Daño generalizado a árboles y edificios	102 a 120
12	Huracan	Espuma y agua en el aire prácticamente anulan la visibilidad	Daño generalizado severo	121 y más

Imagen 2,15 ▶
Transformadores eólico-mecánico,
savonius VAWT, hélice HAWT y dar-
rieus VAWT respectivamente.



55

Componentes de un generador

Axis Wind Turbine), y aquellos que hacen vibrar una membrana por medio de un fenómeno conocido como oscilación aeroelástica (Ver imagenes 2,15 y 2,16, este tema se retomará más adelante).

Transformador aerodinámico a mecánico

Eficiencia de un transformador aerodinámico a mecánico
Medición de eficacia de una turbina

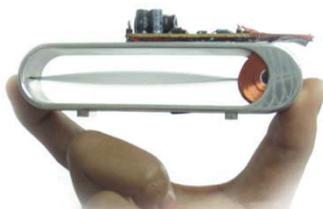


Imagen 2,16 ▲
Windbelt, transformador eólico
mecánico basado en oscilaciones.

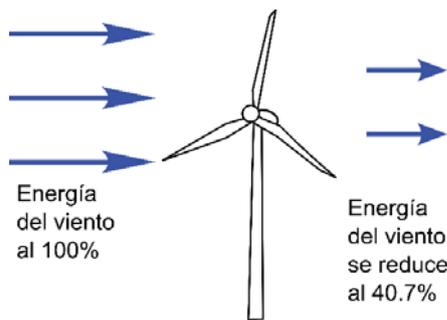
La primera etapa de la obtención de energía es transformar el movimiento del aire, un fenómeno aerodinámico, concerniente a la física de fluidos, a un tipo de movimiento de carácter mecánico, para esto se necesita un transformador de tipo.

Actualmente existen 3 grupos de transformadores de energía eólica a mecánica, aquellos que hacen girar una turbina anexada a un eje vertical (siglas VAWT del ingles Vertical Axis Wind Turbine), aquellos que hacen girar una turbina anexada a un eje horizontal (siglas HAWT del ingles Horizontal

El limite de Betz:

En 1919 Albert Betz determino que no es posible diseñar una turbina capaz de convertir más que la 16/27 parte de la energía cinética del viento (un 59.3%) a energía mecánica haciendo girar un rotor. No por ineficiencias en la generación sino por los molinos mismos (imagen 2,17).

Esto viene del hecho estos rotores obtienen energía mecánica de la cinética del viento, osea que el viento que pasa por el molino se ralentiza en la medida que el molino gira. Si uno quisiese tener el 100% de la energía eso implicaría detener el viento por completo, para lo cual el molino sería una especie de pared, pero al



TSR
Tip Speed Ratio =

$$\frac{\text{Velocidad de la punta del aspa de la hélice}}{\text{Velocidad del viento}}$$

Imagen 2,18 ▲

El porcentaje de la conversión a electricidad es de un 70% del 59.3% de la energía captada del viento

Imagen 2,17 ◀

ser así no giraría tampoco, por otro lado, en el caso de una hélice de un aspa, la gran mayoría del viento ni siquiera entra en contacto con el aspa, por lo tanto ninguna conversión se da en ese caso.

equivalente a la velocidad de la punta de un aspa, un número inferior indica que el viento es más veloz de lo que gira el rotor, un número mayor indica lo opuesto, que el aspa va a una velocidad superior a la del viento.

$$\lambda_{\text{max potencia}} = \frac{4\pi}{n} \quad 56$$

Imagen 2,19 ▲

Siendo la eficiencia máxima de una turbina de solo el 59%, esto es en una situación idílica, ya que las turbinas de viento mejor diseñadas oscilan entre el 35% y 45%, y agregando los demás factores como las ineficiencias mecánicas, los rodamientos, de los generadores mismos, transmisión de las fuerzas, etc. al final solo entre el 10% y 30% de la energía del viento termina transformándose en energía eléctrica.

Si el rotor girase muy lentamente el viento pasará el rededor de las aspas sin verse afectado, en cambio si estas giran más rápido el viento puede chocar contra el rotor como contra una pared. Esto porque cuando un aspa pasa por un determinado punto, esta "corta" el aire generando una zona de turbulencia, si la siguiente aspa pasa por esta zona antes de que la turbulencia se esfume, se pierde eficiencia al no estar recibiendo la fuerza del viento propiamente tal. Además esta el riesgo de la aparición de vibraciones que pueden llevar a la destrucción del molino.

Proporción velocidad de la punta del aspa (TSR) (símbolo físico: λ (lambda)) (tip speed ratio), (imagen 2,18):

Esta relación mide la velocidad del viento y la velocidad tangencial de la punta de las aspas, cuando el valor es 1 implica que la velocidad del viento es

Proporción velocidad de la punta del aspa óptimo:

Esto depende del número de aspas, mientras menos tenga, más rápido deberá girar el rotor para sacarle el

Imagen 2,20 ►
Foto turbina darrieus



57



Imagen 2,21/2,22 ▲
Fotos turbinas savonius y hélice.

mejor provecho a la fuerza del viento, por el contrario, mientras más aspas tenga la velocidad deberá ser menor. De forma empírica se ha demostrado que la proporción óptima para la obtención de fuerzas máximas esta dado por:

En donde n es el número de aspas.

Una hélice bien diseñada de 3 aspas debería tener una proporción entre 6 a 7, siendo una normal/mediocre de unos 5.

Transformado mecánico a eléctrico

Al igual que todo tipo de central eléctrica, lo que hace el generador eólico (la turbina o molino) es hacer girar un eje a altas velocidades, el cual va conectado a un transformador de tipo mecánico a eléctrico, el que se conoce como alternador, o dínamo dependiendo del tipo de corriente que entrega.

Generalmente es necesario

hacer una transformación adicional a la energía mecánica de a turbina, ya sea para **aumentar o disminuir** las revoluciones que se obtienen utilizando sistemas de poleas o de engranajes, **cajas de cambio**.

El **rotor** del alternador (**la pieza que gira**) es un eje que lleva un elemento que induce un campo magnético al girar, este campo magnético afecta al **estator** del alternador (**la parte fija**), en el cual hay bobinas, y en estas se crea un campo electro-magnético inducido, el cual es transformado en electricidad de corriente alterna finalmente.

Definiendo corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el **flujo de electrones a lo largo de la materia**, o la **taza de cambio de este flujo**, esto en general situándose en filamentos de material conductor (como el cobre, la plata, el oro, entre los mejores conductores). Este flujo es **causado por una diferencia de potencial eléctrico** entre ambos extremos del filamento



o cable, los electrones irán del extremo en donde hayan más al extremo donde hayan menos para generar un balance entre ambos extremos (imagen 2,30).

Al circular la corriente a través de un filamento, alrededor de este se genera un campo electromagnético, del mismo modo, si uno genera un campo electromagnético sobre un cable, sobre todo sobre uno que este formando un anillo o bobina ya que esta figura potencia este fenómeno, uno puede inducir una corriente, y al hacer oscilar el campo magnético, la corriente (o mejor dicho los electrones) ira en un va y ven, esto último es lo que se conoce como **corriente alterna** o **AC**.

La **corriente continua**, o **DC**, es un producto elaborado de la corriente alterna, se logra usando rectificadores y conmutadores, de tal forma que se parte del va y ven de los electrones sea usado de tal forma que su potencial sea "invertido", lo que luego se rectifica, generando corriente continua, una corriente de electrones que solo va en un sentido (vease imagen 2,31).

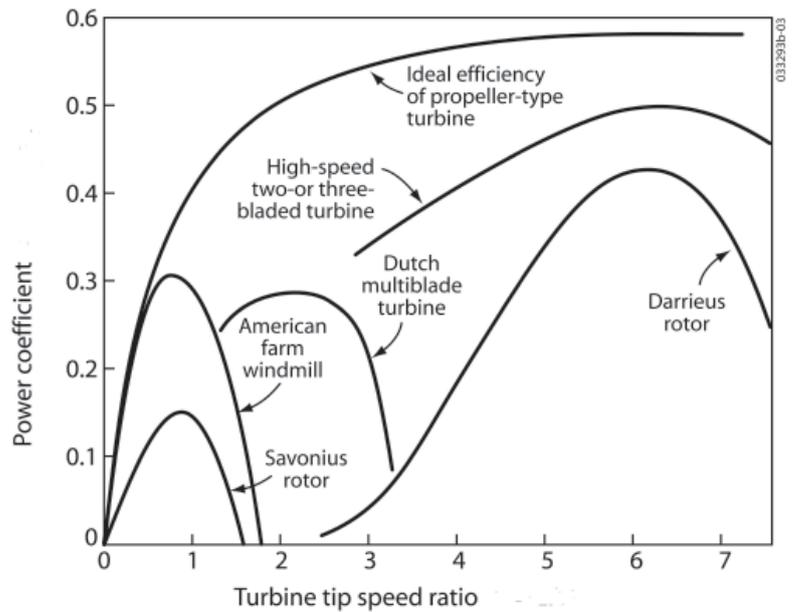


Imagen 2,23/2,24▲

Fotos turbina americana y gráfico comparando la eficiencia de distintos tipos de molinos.

Historia de generadores eléctricos

Los fundamentos de la generación de la electricidad, como se describe anteriormente, fueron descubiertos entre 1831-1832, por el científico inglés **Micheal Faraday**.

En 1832 el primer dínamo fue hecho por Hippolite Pixi. El dínamo es un generador de corriente continua, es uno de los primeros generadores eléctricos capaz de generar cantidades útiles de energía (a nivel industrial), usando conceptos electromagnéticos entregaba corriente de pulsos, esto porque se deseaba evitar la corriente continua y para ello se utilizaron conmutadores (imagen 2,25).

La creación de este fue la base para la invención del motor DC, el motor AC y el alternador (imagen 2,26).

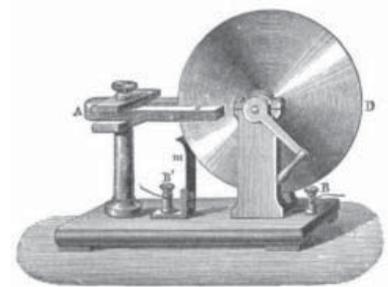


Imagen 2,25▲

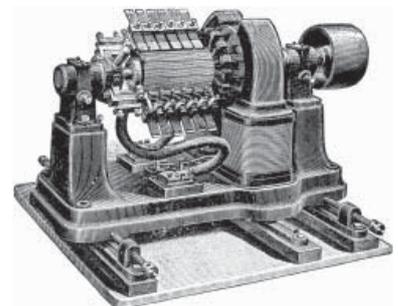


Imagen 2,26▲



Imagen 2,27▲



Imagen 2,28/2,29▲

Proyecto de Título - Eoluz

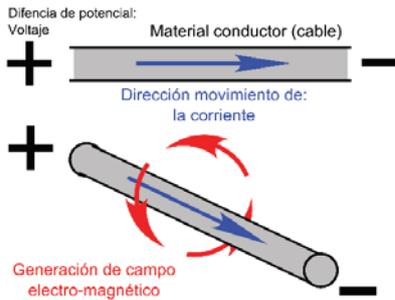
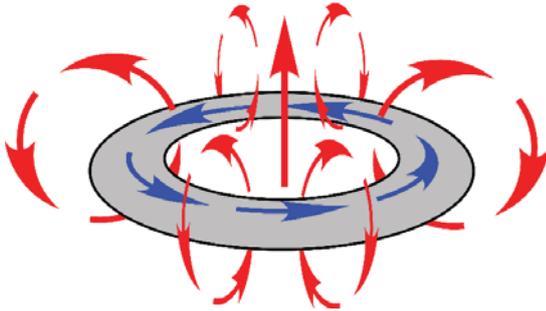


Imagen 2,30

Campo magnético en un anillo por el que pasa corriente eléctrica, se puede observar un fenómeno similar a la convección, al unificarse al centro del anillo, este es el principio de las bobinas



59

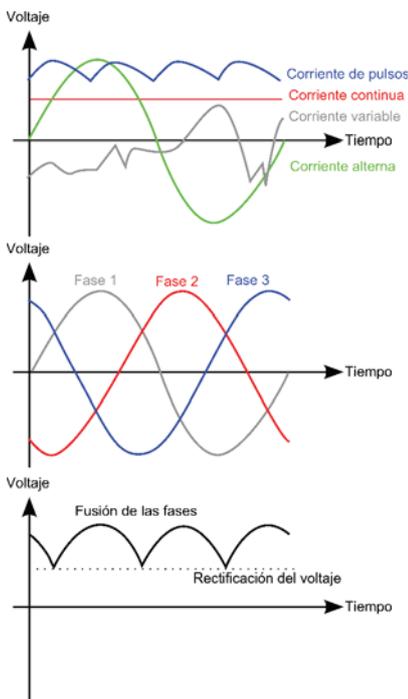


Imagen 2,31

Los dínamos y la corriente DC fueron reemplazados por la distribución de corriente AC (por alternadores) y la existencia de transformadores AC-DC de estado sólido (como el de celulares y notebooks). Siguen usándose en aplicaciones menores como el dínamo de las bicicletas (imagen 2,28).

La primera demostración de un alternador útil aparece en 1886 hecho por Faraday, pero no es hasta 1891 cuando Nikola Tesla patenta el primer alternador con una frecuencia productiva, ese mismo año aparecen los alternadores de múltiples fases.

El alternador es un generador de corriente alterna, similar al dínamo, solo que sin los conmutadores, en el estator están ubicados las bobinas, y en el rotor está el magneto,

al hacer girar el magneto la corriente empieza a oscilar en las bobinas generando la corriente alterna (imagen 2,27 y 2,33).

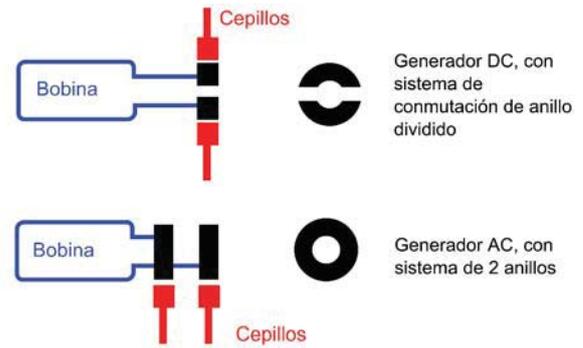
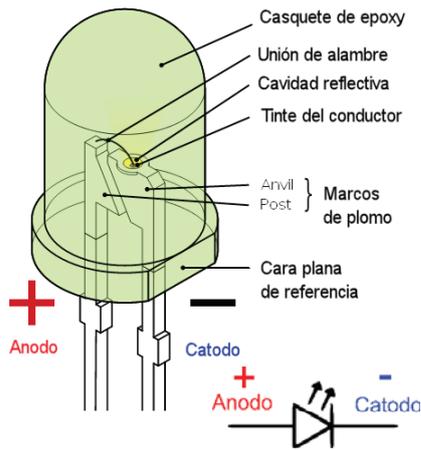
Las bobinas se ordenan en pares de un lado y otro del rotor, y cada par se distancia de forma geométrica de los demases siendo cada par una de las fases de la corriente alterna, el control de estas y la distribución de la corriente alterna a lo largo de grandes distancias se logra gracias a estas distintas fases y la sincronía de ellas.

Transformador eléctrico a lumínico

Existiendo varios tipos de transformadores de tipo eléctrico a lumínico, se opta por estudiar los de tipo incandescente, como lo son los las ampollitas, y tipo electroluminiscente, o los LEDs (del las siglas inglesas: Light Emitting Diode, imagen 2,32).

Incandescente:

La ampollita genera luz

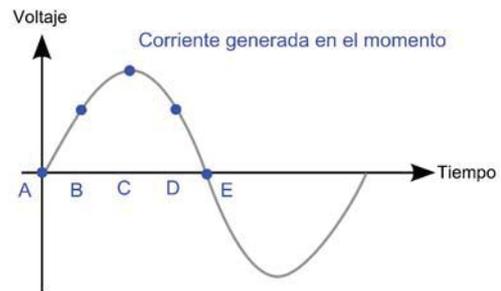
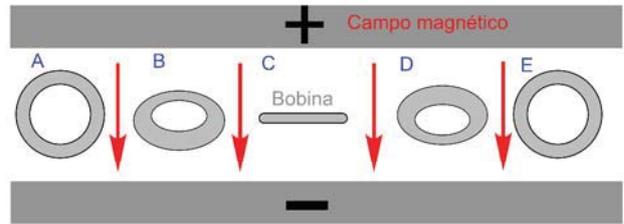


Rotación de una bobina dentro de un campo magnético fijo, este induce una corriente a la bobina cuando esta gira (no pasa nada en estado estacionario), pero esta es dependiente de la orientación de la bobina respecto al campo, por eso la corriente es variable.

como subproducto del calentamiento de un filamento suspendido en el vacío (este vacío es para que el filamento no entre en combustión, sin aire no hay fuego), este calentamiento es causado por el efecto Joule, que se refiere al calentamiento de un material por un fuerte flujo de electrones a través de su volumen.

Inventada por Thomas Alva Edison en el 21 de octubre de 1879, en Estados Unidos, aunque en 1855 el alemán Heinrich Goebel también había patentado la suya propia, seguido por el ruso Alexander Lodiguin en 1874, Edison logra construir la primera que fue factible mandar a producción masiva.

La ampollita, en el mejor de los casos, transforma solo el 25% de la electricidad en luz, el 60% en calor y el resto en un espectro lumínico no perceptible por el ojo humano, su baja eficiencia ha hecho que en algunos países de Europa empezará su prohibición a favor de las de bajo consumo, aunque a modo de laguna legal se esta re-introduciendo como



calefactor.

Imagen 2,32/2,33 ▲

Electroluminiscente:

Los LEDs fueron creado en 1927, por Oleg Vladimirovich Losev, pero no es hasta los años '60s cuando estos llegan al mercado. Fue utilizado masivamente para emitir rayos infrarrojos y así controlar otros aparatos a distancia, a modo de controles remotos, también para hacer luces de pequeño tamaño para indicar si los electrodomésticos estaban encendidos o no. Inicialmente no era posible obtener luz que no fuese de colores, pero a fines de siglo 20 se consigue hacer LEDs que emitiesen luces azules a ultravioleta, la que después lleva al LED "blanco luz de Luna".

Proyecto de Título - Eoluz

Imagen 2,34▶
LEDs de alta potencia



61



Imagen 2,35▲
Tipos de LEDs

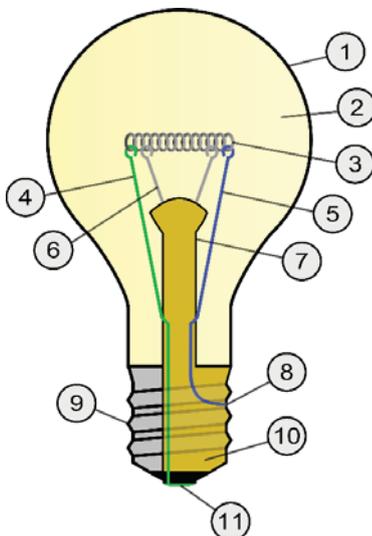


Imagen 2,36▲

- 1-Exterior de vidrio
- 2-Gaz inerte de baja presión (argon, neón, nitrógeno)
- 3-Filamento de tungsteno
- 4-Cable contacto (hacia exterior)
- 5-Cable contacto (hacia interior)
- 6-Alambre de soporte
- 7-Conducto de refrigeración y soporte interno del filamento
- 8-Base de contacto
- 9-Casquillo metálico
- 10-Aislamiento eléctrico
- 11-Pie de contacto eléctrico



Imagen 2,37▲
LEDs azules

Un LED funciona igual que un diodo, que es un componente electrónico semiconductor, el cual solo permite la circulación de la corriente eléctrica en 1 solo sentido (osea no funciona bien con corriente alterna), y tiene también la propiedad de no dejar fluir la corriente si no hay un mínimo de voltaje. El LED le agrega al diodo el hecho de que cuando deja fluir la corriente, luz es emitida.

Ventajas de los LEDs sobre las ampolletas:

- Menor consumo de energía comparando con las incandescentes.
- Su eficiencia no es afectada por el cambio de tamaño.
- No dejan de funcionar espontáneamente sino que se vuelven paulatinamente menos luminosos.
- Larga vida útil, entre 35.000 y 50.000 horas de trabajo, versus los tubos fluorescentes que logran entre 10.000 y 15.000, y las incandescentes que llegan solo a las 1.000 y 2.000 horas.
- Altamente resistente a golpes, por

estar compuestos de materiales en estado sólido, y no cristalino como en las incandescentes.

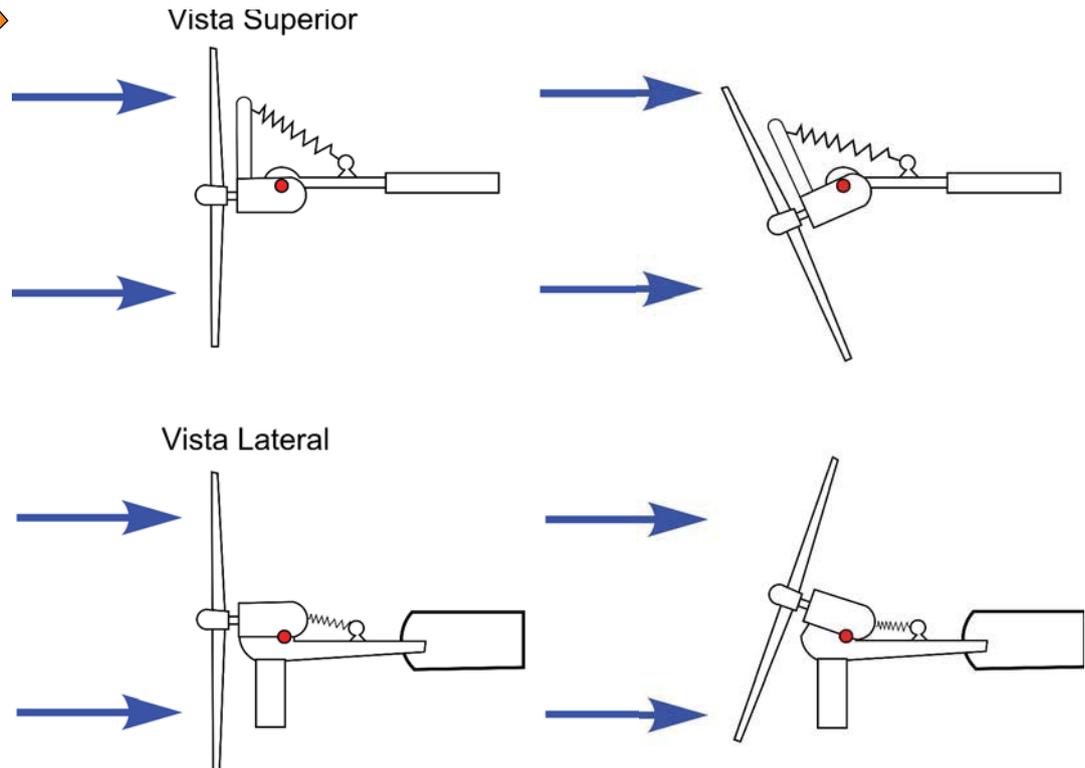
-Prendido y apagado rápido, a diferencia por ejemplo de los tubos fluorescentes y algunas ampolletas.

-Materiales no contienen materiales tóxicos que se puedan liberar al ambiente, como el mercurio de los tubos fluorescentes.

Desventajas:

- Precio más elevado, si se compara los lúmenes producidos versus el costo de forma directa, dado que es necesario una circuito y fuente de poder especializada.
- Necesidad de voltajes específicos y estables, si no se asigna bien es posible habría pérdida de eficiencia.
- Son capaces de destruirse por el mismo calor que emiten, por ende es necesario controlar el voltaje y equipar un sistema de ventilación apropiado.
- Espectro de luz generado por LEDs

Imagen 2,38 ▶



de alta intensidad es distinto al del emitido por el sol y otras fuentes de luz antes inventadas, el de estos LEDs puede ser dañino y causar el fenómeno conocido como contaminación azul.

-La luz emitida por los LEDs tiene un carácter más bien lineal, haciendo los LEDs malos para emitir luz de modo radial.

-Existen algunas luces de tipo fluorescente que son más eficientes igual.

Sistemas de regulación

Usando el mismo concepto de las veletas o paletas de viento, en la maqueta hecha se le da al cuerpo libertad

de giro en 1 eje, este siendo controlado por una "cola", una veleta, de este modo la veleta sigue la dirección del viento, moviendo consigo la dirección de la hélice.

Cabe destacar que tanto el transformador aerodinámico-mecánico como el mecánico-eléctrico tienen limitaciones, si no hay suficiente excitación estos simplemente no trabajarían o no rendirían de forma suficiente, pero a su vez, el exceso de ingreso energético produce daños al sistema, es por esto que la veleta se pensó como un sistema que se pudiese regular.

Por defecto la veleta está en 90° de la hélice, esta posición le permite captar el máximo de viento aprovechándolo en su totalidad, esta posición corresponde a cantidades de viento bajas hasta la

máxima que soportaría el generador. En la medida que el viento fuese más veloz, es necesario cambiar el ángulo de la veleta, esto hace que el ángulo de la hélice respecto al viento deje de ser el ideal, reduciendo la cantidad de energía recibida (imagen 2,38).

Sin embargo este sigue siendo un sistema de regulación manual, los generadores eólicos de escala industrial usan sistemas computarizados para controlar la dirección de la hélice, haciendo girar otros motores a distancia, y también usando sistemas de frenos alrededor de los ejes. Investigando sistemas automáticos mecánicos, un método que sería relevante seguir estudiando a futuro, sería como el que se muestra aquí arriba.

Proyecto de Título - Eoluz

63



Imagen 2,39/2,40 ▲
Primera maqueta y aspa de PVC

Imagen 2,41/2,42/2,43 ▶
Acercamientos al cuerpo y generador



Los primeros Prototipos

Para la creación de la maqueta propuesta, se hicieron 2 intentos antes de pasar a estudiar la turbina o molino propiamente tal, el objetivo de estas etapas fue el de ver a escala real las proporciones del generador eólico portátil.

Primer modelo

Materiales:

barra de madera de 2 mts x 30 mm
2 bisagras
8 pernos golillas y tuercas

4 tornillos
4 clavos
tubo de PVC
motor DC de casetera de 9 volts

Restos de:

terciado
liston de pino
placa de metal galvanizado
carton corrugado

Costo total aproximado:
6,000 pesos

Altura total: 2.50 metros app.



Este aerogenerador usa la hélice de las primeras pruebas, si bien aún carece de los circuitos apropiados para ser utilizable (solo circuitos de prueba hasta ahora) en teoría debiese ser capaz de generar un máximo de 9 volts, más que suficiente para alimentar 6 pilas recargables AA (y AAA), encender LEDs, y probablemente cargar la batería de celulares estándar (estos son de 3.7 volts), aunque esto último no se recomienda, al menos en esta etapa del proceso, el voltaje no es suficiente para cargar baterías de notebooks ya que estas rondan los 10 Volts.

Se estima que el tiempo de carga no debiese ser superior al de 10 horas, pasado ese tiempo se corre peligro de sobrecalentamiento y daño permanente a las pilas por sobrecarga (suele pasar si uno olvida desconectar los aparatos recargables de forma común). Este daño se traduce solo en la reducción del tiempo de las pilas cargadas.

Observaciones

Los materiales de este modelo resultan ser demasiado débiles y ligeros incluso para una primera prueba real ante el viento, pero fue posible medir el rendimiento de forma cuantitativa de la primera hélice de PVC hecha, estos resultados están al revés en la sección correspondiente, aparte de eso este diseño tiene la hélice conectada directamente al generador, esta construcción no solo resulta muy frágil sino que además hace que el conjunto apenas logre generar una máxima de 2.5 Volts, siendo que se podría llegar a obtener hasta 9 volts.

Este modelo se puso a prueba el día 15 de Octubre 2010, frente al faro de Playa Ancha, Valparaíso. Con un viento que oscilaba entre los 9 a 25 Km/h.

Páginas de referencia:

http://www.meteored.cl/tiempo-en_Valparaiso-America+Sur-Chile-Valparaiso--1-18577.html
http://www.meteored.mx/clima_Valparaiso-America+Norte-Mexico-Zacatecas--1-21806.html



Imagen 2,44/2,45/2,46/2,47/2,48 ▲
 Acercamiento, vistas y componentes, comparación de una misma pieza



Imagen 2,49 ▲
Segunda maqueta
Imagen 2,50/2,51 ▶
Acercamientos



Segundo modelo

Materiales:

barra de madera de 2 mts x 30 mm
bisagra
9 pernos golillas y tuercas
3 tornillos
2 clavos
1 hilo sin fin con 2 tuercas y 2 golillas
tubo de PVC
motor DC de casetera de 9 volts

Restos de:

terciado
listón de pino
placa de metal galvanizado

Costo total aproximado:
6,000+ pesos

Altura total: 2.60 metros app.

Este molino responde a las problemáticas encontradas en el diseño anterior, haciéndose más robusto, agregándole una cola con la que se

puede controlar el ángulo de la hélice respecto al viento y finalmente la separación de los ejes de la hélice del del motor, instalando un sistema de poleas.

Es en base a este con el que se revisan los temas previamente tratados, y usando el sistema de poleas se logra aumentar la generación eléctrica al rango de 3.8 y 6 volts, la prueba fue hecha el día 15 de Octubre 2010, frente al faro de Playa Ancha, Valparaíso. Con un viento que oscilaba entre los 9 a 25 Km/h.

Para la relación de las poleas se hicieron los siguientes cálculos, era necesario por lo menos triplicar (se intentó quintuplicar) los RPM entrantes al motor:

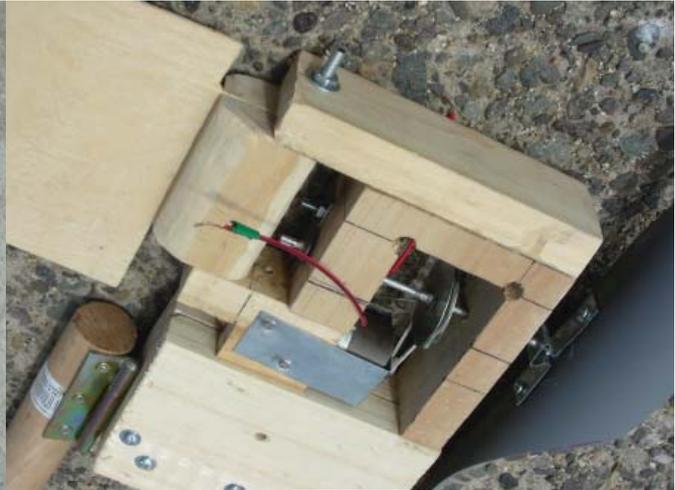
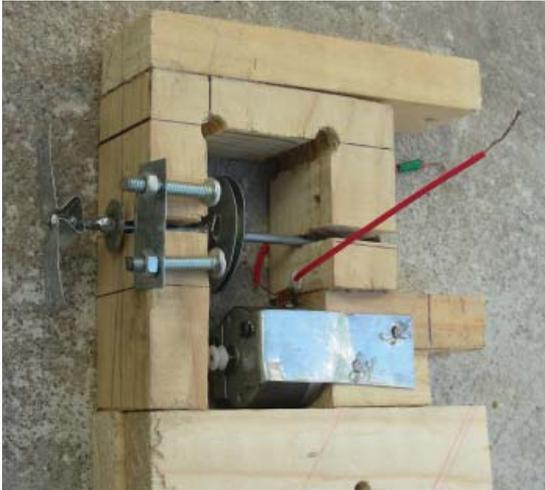
$$\text{Vel Ángular} = 2\pi / \text{Tiempo}$$

$$\text{Vel Tangencial} = m/s$$

$$\text{Vel Án Hól} = 1000 \text{ RPM} = 16,6 \text{ Hertz}$$

$$\text{Vel Án Rot} = 5000 \text{ RPM} = 83,3 \text{ Hertz}$$

$$\text{Vel Tan Polea Hélice} = \text{Vel Áng Hól} \times \text{Radio Pol Hól}$$



Vel Tan Polea Rotor = Vel Áng Rotor x Radio Pol Rotor

Pero:

Vel Tan Polea Hélice = Vel Tan Polea Rotor

Vel Áng Hélice x Radio Pol Hélice = Vel Áng Rotor x Radio Pol Rotor

Si reemplazamos los valores que conocemos:

$$16,6 \times \text{Radio Pol Hélice} = 83,3 \times \text{Radio Pol Rotor}$$

Por lo tanto:

$$\text{Radio Pol Hélice} / \text{Radio Pol Rotor} = 83,3 / 16,6 = 5$$

Independiente del tamaño de las poleas, estas deberan estar en una relación de 5:1 la una de la otra.

Observaciones

El aumento del voltaje no fue el esperado, solo oscilando entre los 3.8 y 6 volts, respecto a esto un colega de la escuela de ingeniería, Francisco Gallardo, comenta que la generación de electricidad puede no ser un fenómeno que tenga un comportamiento lineal predecible, sino más bien tenga un comportamiento más bien exponencial o logarítmico, esto significa

que el motor usado puede producir electricidad muy baja si no gira lo suficientemente rápido, aumentando su voltaje de forma súbita en la medida que llega a la velocidad indicada (exponencial), o por el contrario con pocas velocidades aumenta rápidamente hasta llegar a cierto voltaje, después del cual llegar al voltaje máximo implica acelerar mucho más la rotación de lo que fue inicialmente (logarítmico).

Es importante decir que si bien uno puede seguir cambiando la relación de las poleas y aumentando la eficiencia de la hélice, si uno pasara de largo, por decirse de algún modo, el exceso de alimentación al generador puede causar su mal funcionamiento, por ende es necesario que el diseño de este objeto no se enfoque a llegar al tope de la productividad, sino que llegar a un rendimiento optimo dentro de la energía necesitada y bajo el máximo, lo que sería el margen de juego de probabilidades.

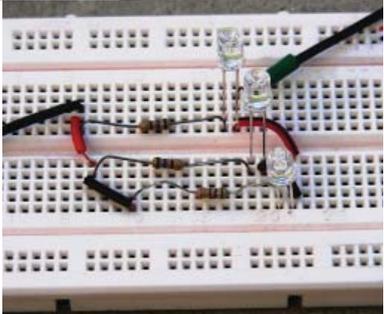
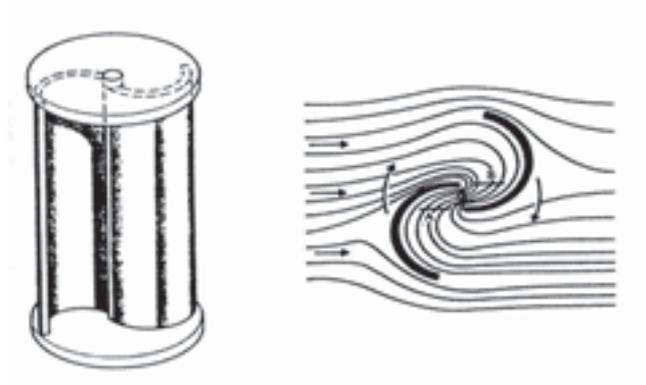


Imagen 2,52/2,53 ▲
Acercamientos
Imagen 2,54/2,55 ▶
Detalle primer circuito de prueba y eje principal

Imagen 2,56 ▶
Turбина Savonius
Imagen 2,57 ▼
Turбина Lenz



67



Modelos de molinos

Savonius

El molino savonius, o tipo veleta, fue inventada por Sigurd J. Savonius en el año 1922, en Finlandia. Es un tipo de rotor, consistente en velas o palas anexadas a un eje rotatorio vertical, por lo que es catalogada dentro del tipo VAWT (Vertical Axis Wind Turbine), de tal forma que el viento empuja estas velas haciendo girar el eje.

La ventaja que tiene sobre la hélice es que no necesita ser ubicado a grandes alturas, funcionando a ras de suelo o a la altura de una casa de 1 piso, lo que facilita mantenimiento, pueden aprovechar forma del terreno

para amplificar la corriente de viento que reciben, y no necesitan mecanismo de orientación, ya que son capaces de recibir viento desde cualquier dirección.

La desventajas son que no pueden aprovechar los vientos de grandes alturas porque no se pueden elevar, y al ser de eje vertical pierde app un 50% de la energía eólica, comparándola con una hélice.

Teniendo el concepto de la física de un ala o aspa en el viento, obtiene su giro de la fuerza de resistencia, esta transformación de fluido a mecánica genera un fuerte torque y velocidades de giro más bien bajas, haciendo este tipo de molinos poco útiles para la generación de electricidad, al menos no a la escala de kilo-watts, pero para aplicaciones domésticas de pequeña escala siguen siendo una posibilidad.

La eficiencia de este tipo de molinos es de solo un 15 %, es más útil como molino de agua u otras aplicaciones mecánicas donde se requiera

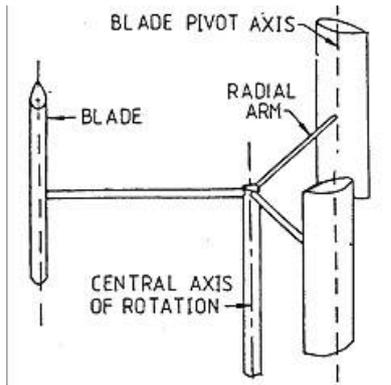


Imagen 2,58 ◀
 Turbina Darrieus
 Imagen 2,59 ▼
 Turbina Darrieus

fuerza y no velocidad. Su TSR generalmente es inferior a 1.

Darrieus

El molino darrieus es de tipo VAWT también, inventada por Georges Jean Marie Darrieus, en el año 1931 en Francia.

El molino de tipo darrieus, bajo el concepto de la física de un ala o aspa en el viento, obtiene su giro de la fuerza de sustentación, usando las diferencias de presión jalen de estas superficies, haciendo girar el eje.

El propósito de este modelo era hacer un trabajo más eficiente, a nivel teórico es tan eficiente como las hélices, sin embargo su diseño no trabaja bien con vientos de velocidad variable, y es difícil de implementar haciéndola poco práctica, no soporta vientos muy fuertes y es necesario echarla a andar de forma manual.

Su giro no tiene mucha fuerza (torque), pero puede obtener grandes velocidades con facilidad. Fácilmente su

TSR puede ser superior a 1, lo que hace este tipo de molinos mucho más aptos que los de tipo savonius para la generación de electricidad, pero poco útiles como bombas de agua u otros trabajos mecánicos.

Construcción de turbina híbrida savonius-darrieus, el modelo Lenz

Este modelo en particular de molino darrieus se caracteriza por modificar los alerones, removiendo la parte plana del lado exterior de estos, formando unas especies de palas similares a las que tienen los modelos savonius, pero con la disposición de la curvatura y la parte plana interior basta para mantener el trabajo como un modelo darrieus, o sea se obtiene la velocidad de un darrieus, o similar, y se gana la posibilidad de una ignición automática como la de los savonius. A modo de experimentación





Imagen 2,60/2,61▲
Maqueta de turbina Lenz

Imagen 2,62▶
Windbelt
Imagen 2,63/2,64▼
Vistas de maqueta de windbelt

se construye finalmente este modelo, construyéndose siguiendo las indicaciones generales dadas en la siguiente página:

<http://windstuffnow.com/main/vawt.htm>

Dimensiones:

80 cm de alto
30 cm de diámetro
ala de 7 cm de diámetro el ataque y 13 cm de largo del centro a la cola
950 gramos

Materialidad:

Trupan
Cartón corrugado

Como se describe en la página este modelo es capaz de girar solo y a grandes velocidades, con un TSR con el que fácilmente se puede generar electricidad, sin embargo su altura hace que sea difícil de sustentar, necesitando ser sujetado por arriba y abajo; también el problema del transporte se hace inmediatamente presente, a menos que se estudie un modo de hacer este objeto desensamblable.

Observaciones:

Este tipo de molinos tienden a **hacerse de grandes alturas** y de **reducidos diámetros**, esto parece coincidir con el hecho de que las alas de los aviones son largas por un lado, y por el otro por ser inconveniente el crecimiento radial, pensándolo bien no es solo problema de espacio, sino que a mayores radios, si bien la velocidad tangencial podría ser alta, la velocidad angular, la que finalmente importa, se reduce en la medida que crece el radio.

Wingbelt

El modelo WindBelt fue inventado por Shwan Frayne en **2007**, en EE.UU. Actualmente esta tratando de levantar una empresa para llevar su invención al uso masivo.

Este es un nuevo tipo de transformador, todavía no han salido al mercado alguna versión comercial, este se basa en la física que se puede observar en las arpas eólicas, en donde el viento al pasar alrededor de un objeto esbelto (la cuerda) genera una turbulencia, esta turbu-



lencia es aprovechada es la que hace vibrar la cuerda. En el caso del windbelt, hay una **cinta con propiedades aeroelásticas** que aprovechan estas turbulencias (conocidas como **camino de vortices de Kármán**) para aumentar las vibraciones.

En estricto rigor el modelo windbelt es **el que menos energía genera**, pero **su tamaño es comparativamente inferior a los otros** modelos: una reducida área y espesor, siendo principalmente largo, por ejemplo el modelo pequeño es **app del tamaño de un celular**, el modelo de tamaño intermedio es de un metro de largo, estando el grande que usaría un área de 1 metro cuadrado por 5 centímetros de ancho (aunque este no es más que una serie de modelos medios uno al lado del otro).

A diferencia de la hélice que funciona usando en área circular importante y un mástil, al igual que el sávonius y darrieus que también necesitan un volumen importante para trabajar, el windbelt usa un espacio sumamente reducido y las piezas móviles se ubican dentro de su mismo

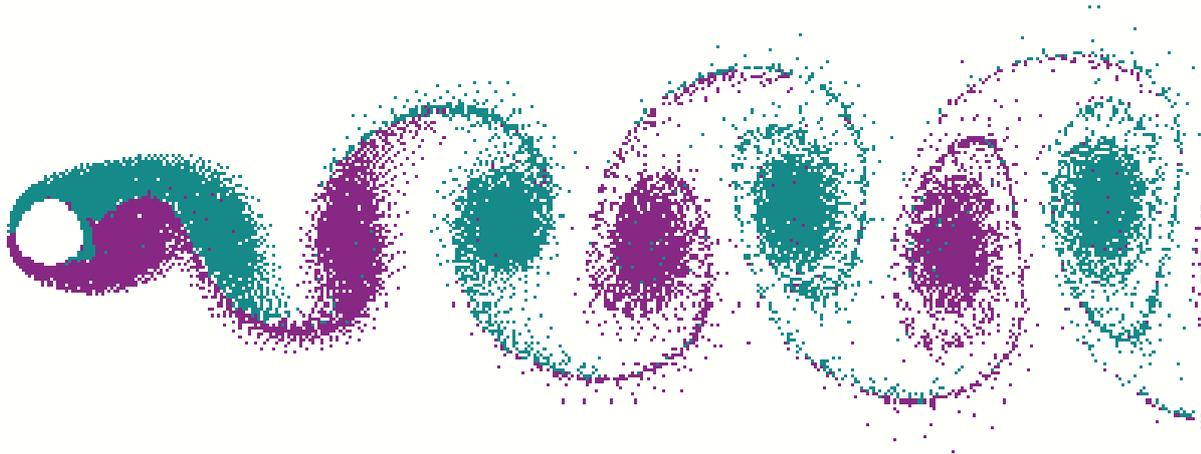
volumen, es más, se teoriza que los windbelt pueden ubicarse en los bordes de edificios altos para aprovechar el viento que los circunda, y por su delgado volumen, pueden pasar relativamente desapercibidos por la gente.

El creador afirma que algunos de sus prototipos es capaz de generar 40 mili-Watts con vientos de 16 kmh, siendo entre **10 a 30 veces más eficientes que generadores basados en microturbinas**. También hay que considerar el hecho que el motivo de este modelo es obtener energía de forma eficiente y económica, él **estima poder generar por 1.000 Watts** por 0.05 dolares con vientos de 21,6 Kmh (app. **25 pesos chilenos** octubre 2010).

Este tipo de generador no puede medirse usando el mismo tipo de formulas que los otros.

Siguiendo fotografías de la web, se crea este modelo a modo de prueba, usando listones y cinta adhesiva, que es plegada por la mitad dejando el punto de pliegue un espacio con aire (burbuja) para darle a la cinta un per-





71

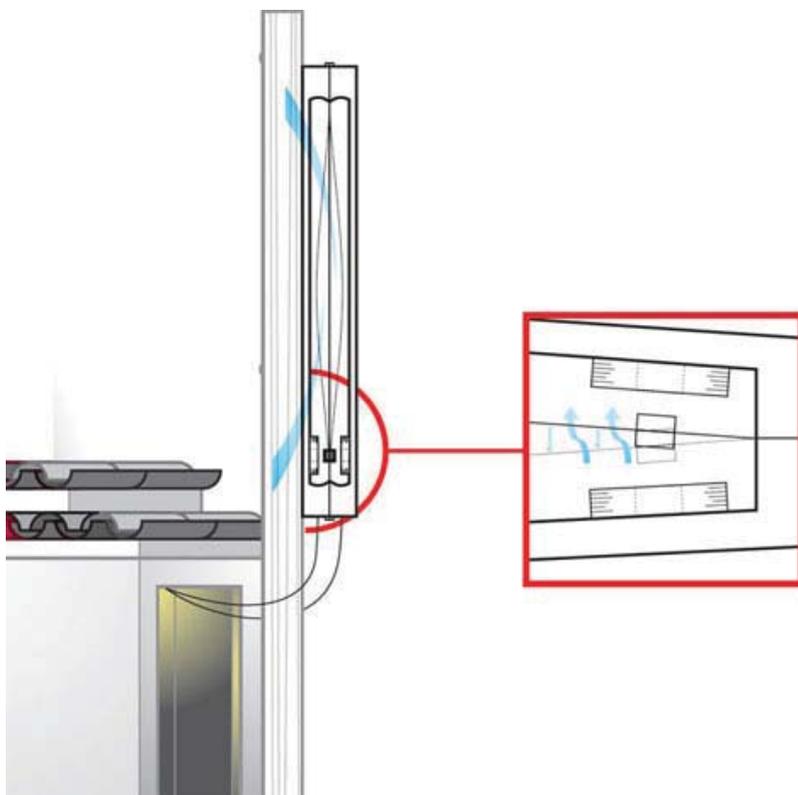


Imagen 2,65 ▶
Vortices de Karmán
Imagen 2,66 ▲

Esquema de instalación de windbelt

fil algo similar al de una ala, para ver si se puede amplificar el efecto.

Dimensiones:

60 cm de largo
5 cm ancho
6 cm de alto
439 gramos

Al hacerle ese bolsillo a la cinta se hace que este generador obtenga un adelante y un atrás, siendo el atrás el lado hacia donde la parte ancha se encuentra, porque claro este generador se basa en las turbulencias eólicas, y el ala lo que hace es tratar de evitarlas suavizando el extremo final, por ende volteando el final al principio y dejando el ancho (el que corta el aire en la ala) atrás hace que genere turbulencia.

A pesar de esto se decide no seguir insistiendo con los modelos windbelt, principalmente porque implica la construcción del generador eléctrico desde cero, siendo los molinos tradicionales los que permitirían simplemente apli-



car un motor ya existente.

Hélice

La hélices es un molino tipo **HAWT** (Horizontal-axis-wind-turbine), no hay una fecha clara para su aparición, es un elemento mecánico de tracción, compresión, sustentación, propulsión y de medición (no todos a la vez), formado de una serie de palas o aspas paralelas entre si, anexadas a un eje rotatorio.

Usado en medios líquidos y gaseosos, al girar el eje se ejerce una fuerza perpendicular a la hélice (también se puede decir que el eje de rotación es paralelo al viento), el sentido es dado por la orientación de las aspas. Las ventajas que tienen es que son muy controlables, siendo posible ajustar el ángulo de la aspa, el largo de esta, la altura de la hélice respecto al suelo, aguantan vientos más fuertes. Las desventajas son que necesitan ser alineadas

al viento, sufren de fatiga de material, y su instalación puede ser difícil por necesitar grandes alturas.

Conceptualmente hablando, uno puede entender el trabajo de una hélice de **2 modos distintos**, como una **especie de tornillo** que se mueve en el medio girando, por ejemplo la forma de las hélices de agua responden más a este concepto; o como una **serie de alas** que en vez de desplazarse de forma lineal lo hacen de forma circular, visto principalmente en los helicópteros hoy en día, los hermanos Wright unen ambos conceptos en la hélice delgada que caracteriza a los aeroplanos, en donde el motivo de la torsión de la pala tiene que ver con la relación del radio, la velocidad tangencial y el ángulo de ataque de la aspa, la cual a su vez posee un perfil alar variable a lo largo de ella.

Dependiendo del medio o función la forma de la hélice, y de su aspa también puede tener cambios drásticos,

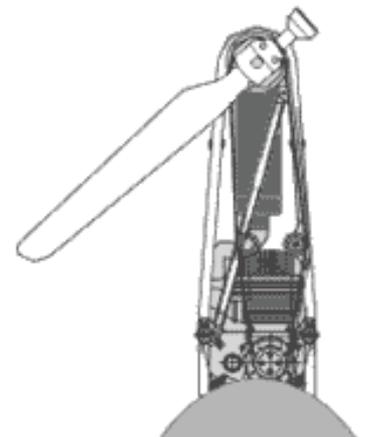
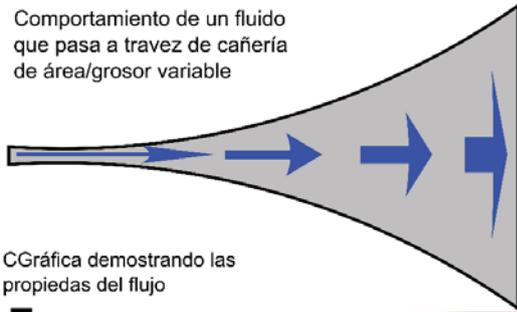


Imagen 2,67/2,68 ▲
Hélice marina y hélice de hermanos Wright

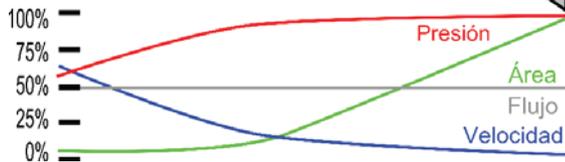
Imagen 2,69/2,70 ▶
Dibujo de hélice espiral de pequeño submarino. Hélice de una sola aspa

Proyecto de Título - Eoluz

Comportamiento de un fluido que pasa a través de cañería de área/grosor variable



Gráfica demostrando las propiedades del flujo



Viento libre lejos del ala



Viento de baja velocidad, y de mayor densidad

73



Imagen 2,71/2,72 ▲
Esquema de flujos y de el aire en torno a perfil alar

Imagen 2,73/2,74 ▼
Foto de deformación de hélice de helicóptero por peso y acercamiento al eje de la hélice

número de aspas, su perfil alar, la forma del centro de las hélices de aviones, el tipo de motor o la forma del cuerpo del avión influye en la forma final de la hélice.

En el caso del medio, las hélices se usan en el aire o en el agua, en esta última por ser mucho más densa es el concepto de “atornillarse” en el medio el que prevalece, el eje de la hélice es largo y las aspas son “profundas” por lo mismo, también anchas para mantenerse en contacto con el agua el mayor tiempo posible, normalmente estas hélices poseen múltiples aspas, rara vez son menos que 3, estas suelen usarse para empujar las embarcaciones.

En cambio las aspas de la hélice aérea son delgadas en comparación a la marina, y pueden ser múltiples aspas hasta 1 sola (aunque esta solo sirve como hélice de empuje en algunas lanchas de pantano, o de algunos generadores). Como la densidad del viento es menor, el rol de estas hélices se enfoca a tratar de aprovechar la diferencia de presión lograda con los perfiles alares. El

caso más extremo de esto es el caso de la hélice mayor de un helicóptero, estas funcionan exclusivamente como alas de avión, por lo que el elemento de torsión del aspa es menor o inexistente.

Pero por lo mismo, estas hélices son más susceptibles a las turbulencias en el aire, y las que estas mismas causan, generándose una relación entre la velocidad a la que gira la hélice, su número de palas y la velocidad del viento que las circunda, si la hélice gira muy rápido y tiene muchas aspas, estas pueden terminar entrando al aire turbulento dejado por la aspa anterior, antes de que el flujo del viento alcance a “llevarse” la turbulencia.

Palas y aspas

Elemento aero/hidrodinámico, parte de la hélice que desplaza las partículas del medio en que esta, de tal forma que permite trabajar con las diferencias de presión que resultan. Suelen existir en grupos superiores a 2 unidades por equilibrio, hélices de 1 aspa existen, teniendo que estar acompañadas de un contrapeso en donde debiese ir la segunda.

Imagen 2,75 ▶
Esquema de de perfil alar

Imagen 2,76 ▼
El 'paso' de una hélice

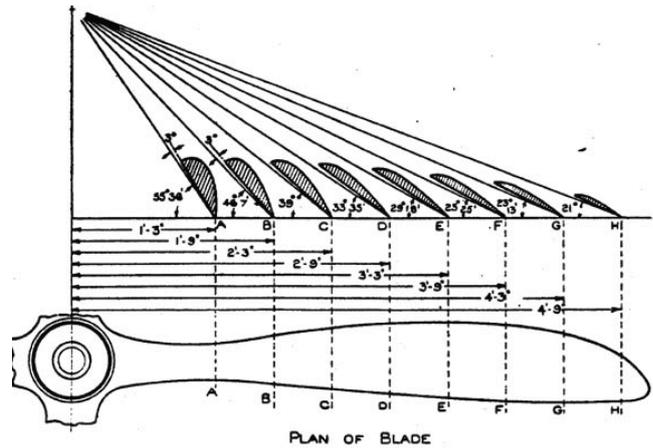


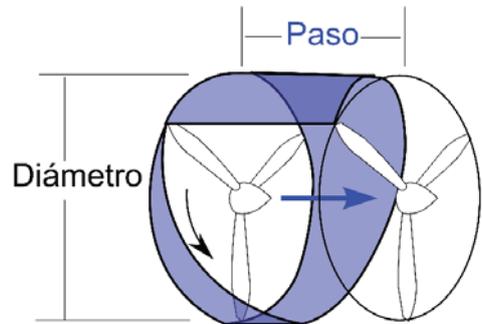
FIG. 219.—Lay-out of an Aircsrew.

Al estar sometida a trabajo, el aspa tiende a curvarse en 2 sentidos, el primero causado por el torque del motor y la resistencia del aire al ángulo de ataque, torciendo la aspa en el sentido contrario de la rotación, y la otra a causa del peso que esta moviendo (sea este un barco, avión, etc.), las puntas tienden a curvarse en el mismo sentido del movimiento, quedando el centro de la hélice detrás.

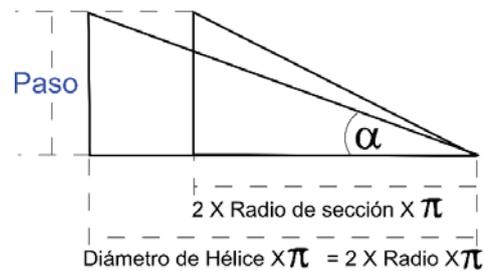
La hélice de un generador

A diferencia de la hélice propulsora, como la de los aviones y la de los barcos, o sustentadora como la vista en los helicópteros, la hélice del generador recibe/capta el viento, y este la hace girar, a esto se le suma el hecho de que estas hélices son estacionarias, en el sentido de que no buscan jalar o empujar el eje al que están sujetas, todo esto implica que estas hélices solo trabajan como elemento rotatorio en el medio o flujo del "aire" y que el perfil alar para generar diferencias de densidad resulta esencialmente irrelevante, solo importando el ángulo de ataque y que el perfil sea aerodinámico.

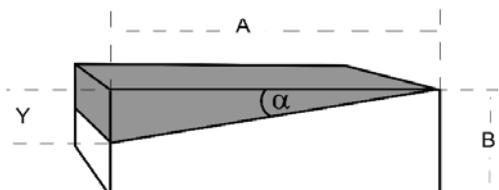
El "paso"



El paso es la variable con la que se puede medir la relación entre cuanto debe avanzar una hélice en un medio, el diámetro de la hélice y el ángulo de ataque de las aspas, dado que este último es variable a lo largo de si misma.



$$\alpha = \text{ArTan}\left(\frac{\text{Paso}}{2 \text{ X Radio de sección X } \pi}\right)$$



Este bloque represente una sección del aspa, siendo el volumen oscuro aquel que será eliminad.

Proyecto de Título - Eoluz

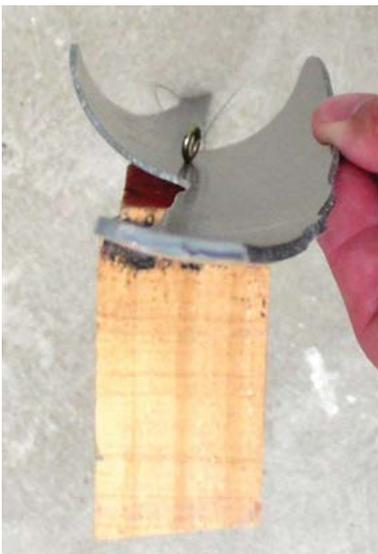
Imagen 2,77 ▶
Hélice de PVC sin y con centro, y
matriz
Imagen 2,78 ▼
Otra vista de hélice de PVC



75

Pruebas Construidas

Hélice de PVC



Este simple modelo fue construido de un tubo de PVC de 7.5 centímetros de diámetro, donde la figura recortada fue proporcionada por el siguiente sitio web:

http://www.gotwind.org/diy/Soil_Prop.htm

Dimensiones:

7.5 cm diámetro curvatura de las aspas
80 cm diámetro de hélice misma
91 gramos de peso (129 gramos al cerrar el perfil)

Este diseño de hélice fue elegido por responder a las medidas proporcionadas por los siguientes sitios web por un lado:

<http://www.fieldlines.com/board/index.php/topic,142104.html>
<http://www.fieldlines.com/board/index.php/topic,127759.html>

[com/board/index.php/topic,127759.html](http://www.fieldlines.com/board/index.php/topic,127759.html)

Y por el otro porque además lo mejora, reemplazando cortes rectos por curvas, lo que evita la aparición de puntos de fractura a causa de cortes en ángulo.

Construcción:

La hélice de PVC construida responde a una problemática de facilidad de construcción y económica, consiste simplemente en una forma recortada de un cilindro. Su costo unitario es muy reducido y a su vez bastante eficiente.

Descripción y funcionamiento:

Este diseño también tiene un buen TSR, y si bien tiene la desventaja de la orientación de la hélice, esto también puede usado a favor del generador en caso de que la velocidad del viento sea demasiado alta, simplemente sería cuestión de torcer la dirección del eje dado que la velocidad de giro de la hélice esta en relación directa con el ángulo de incidencia del viento a la hélice. Con respecto al tamaño es claramente inferior al del modelo darrius hecho, lo que lo



Imagen 2,79 ◀
 Hélice de PVC con centro, se forma
 perfil alar usando cinta adhesiva
 Imagen 2,80 ▼
 Otra vista de hélice de PVC sin centro,
 perfil alar hueco

hace más factible su transporte, pero su forma implica una inversión especial para su transporte dada su forma cóncava.

Esta hélice tiene la peculiaridad de tener aspas de perfil alar hueco, esto hace que le sea muy fácil empezar a girar con vientos de bajas velocidades, el poco peso del material también ayuda a esto, siendo esta la hélice que inicia con mayor facilidad.

Por otro lado es una hélice endeble por materialidad, difícil de asir por su exterior cilíndrico, cosa que además complica la posibilidad de hacer que tenga más aspas. Esta hélice es muy propensa a cambiar de velocidad tan pronto la velocidad del viento cambia, esto a causa de la baja inercia que tiene por su bajo peso.

Al cerrar el perfil, usándose cinta adhesiva, su rendimiento observado resulta menor, y la inestabilidad ante vientos de mayor velocidad es mayor. A ratos de girar a alta velocidad el viento deformaba un poco las aspas haciendo que perdiese velocidad a intervalos irregulares, por

lo que nunca llego a girar tan rápido como las otras.

Pruebas:

En la maqueta del generador portátil es esta la hélice que se utiliza. Al estar conectado al motor eléctrico y producir electricidad fue posible calcular su TSR de forma relativamente precisa, relativamente porque todo depende de la veracidad de la referencia usada (básicamente que la velocidad del viento obtenida fuese realmente bajo la cual se hizo la prueba por un lado, y por el otro que el rendimiento del motor como dínamo fuese constante, habiéndose hecho una prueba anteriormente conectando el motor a un Dremel para ver la generación (a velocidad 1 daba 7.5 volts, supuestamente girando a 3000 RPM).

En el primer prototipo de esta maqueta, mostrado aquí a continuación, la hélice iba conectada de forma directa al motor. A continuación los cálculos efectuados:

Se obtiene un voltaje variable entre los 0.8 Volts y 2.5 Volts. En pruebas anteriores se

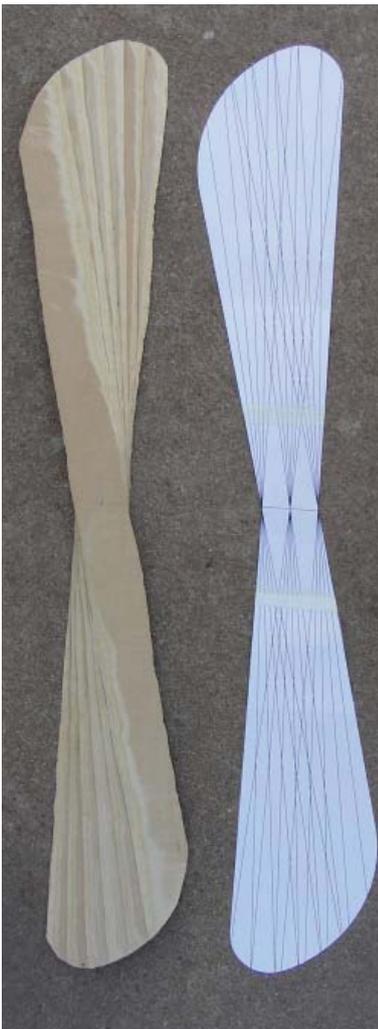


Proyecto de Título - Eoluz

Imagen 2,81 ▶
Hélice de 2 aspas de madera
Imagen 2,82 ▼
Hélice de 2 aspas y su matriz



77



corroborar que a una velocidad de 3000 RPM (velocidad 1 de un Dremel) el generador de prueba genera hasta 7.5 Volts.

Calculando RPM obtenido en la prueba:

Con los datos obtenidos, y suponiendo los datos de los sitios web exactos, se tiene que:

$$7,5V / 3000RPM = 2,5V / X-RPM = 0,8V / Y-RPM$$

$$X-RPM = 1000RPM$$

$$Y-RPM = 320RPM$$

Dado que la hélice tiene un diámetro de 0,8 m:

$$\pi \times \text{diámetro} = \text{perímetro de hélice} = 2.512 \text{ m.}$$

Al tener 1000 RPM, significa que en 1 minuto, el extremo de una aspa de la hélice recorre 1000 veces el perímetro de la hélice: el equivalente a 2512 metros (2 kilómetros) en 1 minuto,

41.93 m/s o 150,948 Kph.

Calculando la eficiencia o TSR:

$$TSR = \text{Velocidad tangencial} / \text{Velocidad del viento} = 150,948/25$$

$$TSR = 6,03792$$

Hélice de 2 aspas, punta ancha y base delgada, de terciado:

Siguiendo el modelo de los hermanos Wright, pero dejando de lado el perfil alar para lo que sería la tracción de un peso por la hélice, se procede a hacer una hélice de similar forma.

Imagen 2,83 ▶
Construcción de hélice de 2 aspas de
madera



Las pruebas hechas a esta hélice no pudieron hacerse con el motor eléctrico conectado, por lo que la medición de su rendimiento es exclusivamente observacional.

Dimensiones:

4.5cm ancho de capa de madera usada
2.1 cm de alto (6 capas de terciado de 3.5 mm)
80 cm diámetro de hélice misma
300 gramos

Construcción:

Usando capas delgadas de madera (terciado de 3.5 mm en este caso), se ponen desfasadas entre si con un ángulo constante, luego se recortan las puntas siguiendo una plantilla y se lija la superficie para alisar. Para asegurar que esta este balanceada se le coloca el eje a la hélice y se cuelga el conjunto de este, si un aspa baja se lija para quitarle peso hasta que esta quede en equilibrio.

Descripción y funcionamiento:

El perfil alar es más bien recto y/o con forma levemente de ojiva. Las aspas tienen una

forma ancha acercándose a las puntas y es delgada en la base, en donde el ángulo de ataque varia siendo paralelo al eje en la base del aspa y buscando la perpendicularidad en la medida que se aleja de ella.

Esta hélice es rígida y pesada, comparada a la de PVC, por lo mismo al ser probada resulta ser mucho más estable con vientos de alta velocidad, a pesar de necesitar más tiempo para empezar a girar, por así decirlo es de partida lenta.

A su vez su peso hacía que cuando el viento cambiase de velocidad, esta por inercia cambiaba su velocidad de giro de forma gradual, por lo que si el viento aumentaba o bajaba su velocidad para luego volver, no se apreciaba tanto el cambio en la hélice misma.

Por otro lado esta hélice a altas velocidades tendía a vibrar, se asume que a cierto margen el más mínimo desequilibrio del peso de las aspas puede ser el causante de esto.

Hélice de 3

79



Imagen 2,84/2,85/2,86 ▲
Hélice de 3 aspas de madera, punta
ancha y su construcción con matriz.
Imagen 2,87 ▼
Hélice de 3 aspas junto a hélice de
PVC

aspas, punta
ancha y base
delgada, de
terciado:

Dimensiones:

10 cm ancho de capa de
madera usada
2.5 cm de alto (5 capas de
terciado de 3.5 mm, por aspa,
más centro de 2 capas)
80 cm diámetro de hélice
misma
901 gramos

Construcción:

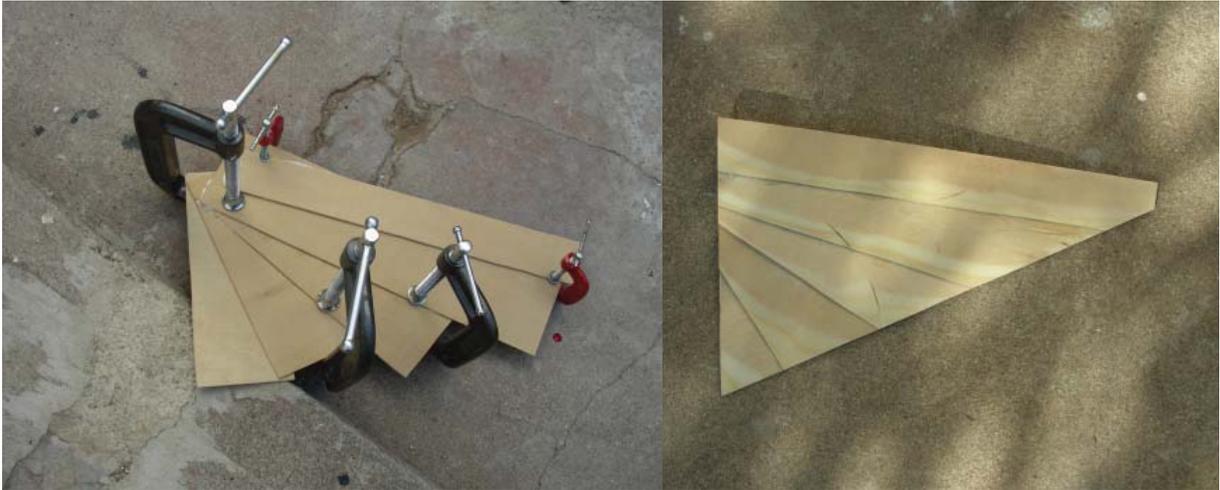
Se construye de modo simi-

lar a la de 2 aspas, pero
cada aspa es independiente,
unidas con un centro de 15
cms de diámetro con pernos.
Se diseñó el aspa para darle
una forma similar al de una
de ventilador.

La diferencia es el ángulo
de ataque, que es pequeño
comparándolo con el del
ventilador. Esto se debe a la
relación entre el paso de la
hélice en el medio (el aire en
este caso) y la que tiene el
ángulo de ataque. Dado que
las hélices de avión, barco
y ventilador buscan mover
mucho volumen con el mín-
imo de revoluciones, porque
mientras menos vueltas me-
nos combustible se gasta,
uno espera que el valor de la
variable "paso", sea elevada.

Sin embargo al querer gen-
erar energía del viento, uno
desea lo opuesto, que con
poco viento lo hélice gire lo
más posible, por ende el val-
or de la variable "paso" debe
ser menor, y con él el ángulo
de ataque, ya que están rela-
cionados.

Descripción y funciona-
miento:



Esta hélice es mucho más pesada que la de 2 aspas, y con vientos que son capaces de hacer girar a esta última no es posible hacer girar la de 3 aspas, haciendo de esta hélice de 3 aspas un mal transformador aerodinámico a mecánico, con vientos de velocidades relativamente bajas como las que se encuentran en Valparaíso (entre 0 a 30 kmh).

Sin embargo si el viento es más fuerte (no hay valores cuantitativos solo comparaciones observadas) esta hélice empieza a girar muy lentamente, teniendo una aceleración constante, llegando obtener grandes velocidades de giro.

Esta hélice es bastante inestable también, pero la inestabilidad es distinta, mientras que las de 2 aspas vibran dada cierta velocidad, esta otra tiende a oscilar, de modo similar al de un trompo que va perdiendo velocidad, se puede atribuir esto que la mayor parte del peso de la hélice esta ubicado en los bordes de esta, y no en el

centro, lo que hace que cualquier movimiento en el sustento de la hélice haga que esta tienda a torcerse en esa dirección.

Se puede decir que este diseño claramente no es el indicado para el objetivo buscado.

Hélice de 3 aspas, punta fina y base ancha, de terciado:

Dimensiones:

ancho de capa de madera usada variable
 2.5 cm de alto (5 capas de terciado de 3.5 mm, por aspa, más centro de 2 capas)
 80 cm diámetro de hélice misma
 690 gramos

Construcción:

El método de construcción es el mismo que el diseño anterior, se trata de mantener el

*Imagen 2,87/2,88 ▲
 Hélice de 3 aspas de madera, punta fina, la construcción y matriz.*



81



Imagen 2,89/2,90/2,91▲
Hélice de 3 aspas de madera, punta fina, comparada con la de punta ancha y la de 3 aspas tallada.

área de las aspas igual, para poder comparar el rendimiento con el mínimo de diferencias posibles entre ambas. Pero el ancho de las capas, al ser variable, hacen a esta hélice más ligera.

Descripción y funcionamiento:

Este diseño posee un cierto parentesco con los remolinos de juguete que se venden en las calles para los niños.

Prácticamente toda hélice de generador eólico visto es de hélice de punta delgada, siguiendo esa idea, lo explicado respecto al paso de la hélice, y queriendo comparar su rendimiento con la hélice de punta ancha manteniendo, se hace este diseño.

Esta hélice es sumamente estable, teniendo una oscilación lenta (aunque potente) y predecible, probablemente causada por falencias en el balanceo de las aspas (problemas con el lijado). Es capaz de girar a una velocidad superior al de todas las demás y emite un zumbido al girar distinto a las otras, esto probablemente causado por

la forma recta de sus puntas, cabe recalcar que es la única con en la que no se suavizan, siendo estas las que causan este “silbido” al cortar el aire.

Hélice de 3 aspas, punta fina y base ancha, pino tallado:

Dimensiones:

9 cm ancho de listón usado
2.5 cm de alto (1,8 cm de listón, por aspa, más centro de 2 capas de 3.5 mm)
80 cm diámetro de hélice misma
470 gramos

Construcción:

Antes de tallar la madera, se dibuja en ella usando una guía la forma deseada, cortando las partes innecesarias, luego se marca los lados de llegada del perfil alar y finalmente se procede a sustraer el material fuera de estas demarcaciones usando formón,



martillo y lima metálica. Posteriormente se lija para suavizar la superficie. El perfil alar en este caso es recto, casi sin curvatura apreciable, tal vez hubiese sido mejor haber intentado lograr una forma un poco más curva como en otros casos.

Dado que el paso de estas hélices es pequeño, se aprovecha el mismo grosor de la tabla para dar la torsión de las aspas. En esta ocasión se suavizan las puntas para disminuir el sonido.

Descripción y funcionamiento:

En este diseño finalmente se imita la forma de las hélices de generadores eólicos pequeños vistos en varios sitios webs de gente que le gusta hacer proyectos caseros y/o medioambientalistas, que también es similar al de las hélices vendidas con generadores eólicos caseros, como las vendidas por www.solener.cl. Aunque se opta por dejar el radio del centro igual al de las otras 2 hélices de 3 aspas, a modo de comparación de rendimiento.

Al ser probada resultó tener un rendimiento inferior al esperado, siendo la anterior hélice de punta delgada y base ancha la superior. Pero es la más estable del conjunto.

Esto último probablemente sea por la superficie de contacto de con el aire de las aspas por un lado, por otro lado esta la relación del tamaño del centro con el diámetro de la hélice, siendo que se fuerza a ambas hélices a ser iguales en estos sentidos, es probable que eso le haya restado eficiencia a este último diseño. También se puede considerar que si bien se usa la relación de la variable paso con el ángulo de ataque del aspa, probablemente haya algún tipo de limite real que puede ser obviado al usar un camino netamente teórico.



*Imagen 2,92/2,93/2,94/2,95▲
Hélice de 3 aspas de madera, punta fina tallada, aspas sueltas y en perspectiva.*

Proyecto de Título - Eoluz

83



Exposición de etapa

Imagen 2,96 ▲
Foto de exposición.

Esta etapa, consistiendo en estudios generales del tema y primeras experimentaciones, culminó con una lámina expositora que toma la forma helicoidal del aspa de una hélice, terminando en punta. Arriba de esta lamina se cuelga la última hélice construida.



Imagen 2,97 ◀
Foto de exposición, acercamiento.
Imagen 2,98/2,99 ▶
Foto de exposición.

Construcción:

Esta lamina tiene una estructura interior compuesta de 5 cuadernas de alambre de grosor 10, las que fueron unidas verticalmente con un desfase fijo de tal forma que a punta superior de la helicoides tuviese una diferencia de 45° con la cuaderna de base. Luego se fija esta lamina colgándola del techo.



85



En la etapa 2 de este título es cuando el proyecto adquiere su nombre final, como también un primer

acercamiento a su objetivo, quedando la turbina y parte de la estructura construida. A continuación se entrega el contenido de la lamina de exposición, lo que también fue expuesto en la disertación frente a los profesores, al final de esta etapa se describirán las interrogantes que llevaron a las modificaciones que después se verán en la etapa 3.

*Imagen 3,1▲
Render de Ciudad Abierta con Eoluz
etapa 2.*



De las fuerzas de Eolo a la Ciudad Abierta, para que esta viva hasta en la noche



87

Luces para Ciudad Abierta

*Imagen 3,2/3,3 ▲
Render de área de estacionamientos
de noche y de día, según propuesta de
proyecto*

Habiendo estudiado el viento, como energía natural, el modo en que se puede transformarla y darle un uso, en la primera etapa de título se experimentó haciendo un pequeño generador portátil, para poder tener energía para generar alguna luz autónoma, independiente.

Pero entrando a la segunda etapa de título, este rumbo solo parece llevar a la creación de solo un objeto, que además puede ser mejor hecho por otros, por lo que se opta por un nuevo rumbo, uno que incluya a las personas, al lugar, la convivencia de todos estos.

La propuesta

La energía y la luz

Habiendo logrado obtener energía en la primera etapa de título, una pregunta aparece, ¿ahora qué? ¿Qué es lo que trae tener Energía? Abstracta, cuyo origen viene del griego ἐνέργεια, de forma coloquial se le da otro nombre: “la luz”, si bien incorrecto, este sobrenombre revela la utilidad más básica con la que vemos a la energía eléctrica, que también viene a ser la más importante.



La luz

Teniendo la luz, obtenida de la energía eólica, como elemento de trabajo, es necesario tener su opuesto para que esta esplenda, en este caso la oscuridad, la noche.

La noche siendo como un lienzo sin fin en el cual dibujar, ¿pero dibujar qué? ¿qué es lo que se dibuja en las noches? Las Estrellas dibujan las constelaciones y el universo, la Luna dibuja en la Tierra las siluetas y contornos de la geografía, las ampolletas dibujan a la ciudad en la distancia, sus edificios y caminos juntos con los automóviles.



Imagen 3,4/3,5/3,6/3,7▲
Render mapa de Ciudad abierta sin/con
las luces de Eoluz propuestas

Proyecto de Título - Eoluz

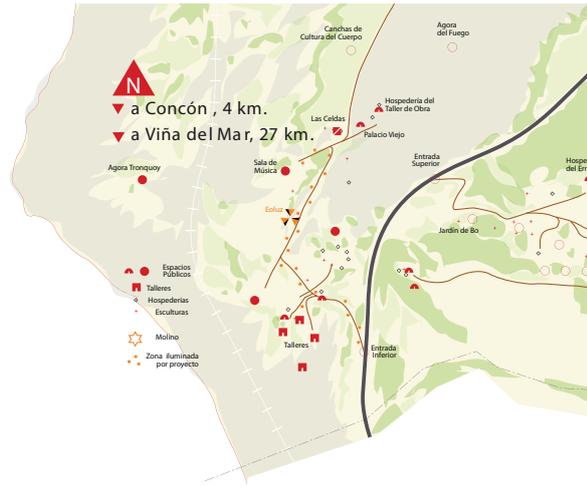
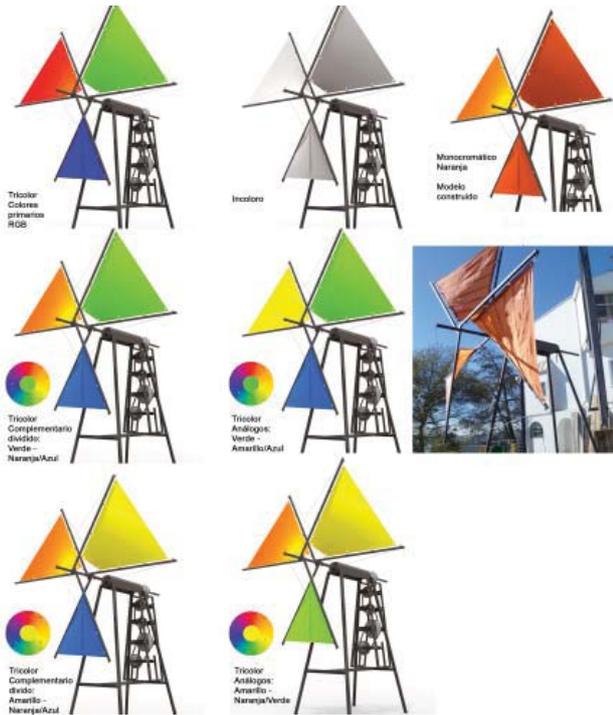
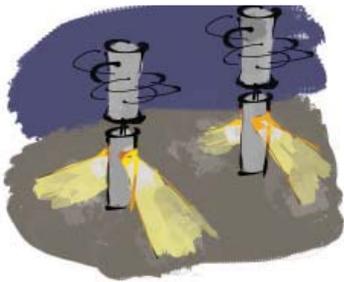


Imagen 3,10 ▲

Mapa de Ciudad Abierta mostrando posiciones de elementos

89



La luz y la ciudad de la noche

Las luces de la ciudad, artificiales como son también cumplen un rol fructífero, que es de deshacer la oscuridad, orientar a los ciudadanos, resguardarlos del temor intrínseco de los humanos a las tinieblas. Pero también es una señal de acogida. Común es dejar una luz solitaria en la entrada de las casas, a veces en la primera habitación tras la puerta también, al esperar a un ser querido que volverá cuando todos estén ya durmiendo. Una bienvenida simbólica.

Lo que la luz, la eléctrica, la luz del hombre, dibuja en la noche es: la ciudad, la orientación, la protección y la acogida, en el fondo el hecho que vivimos como sociedad, juntos.

Pero entonces, ¿que ciudad se puede dibujar en la noche, cuando ya todas están dibujadas?

Ciudad Abierta, la ciudad experimental de la escuela, consustalleresyhospederías, que simplemente desaparece tragada en la oscuridad de la noche, salvo la poca luz que escapa de las construcciones en ellas.

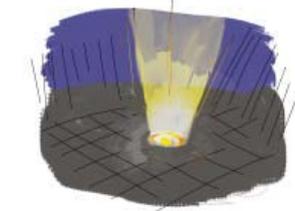


Imagen 3,8/3,9▲

Renders estudios de color de las aspas de Eoluz, y alternativas para los focos de luz

Finalmente se propone iluminar Ciudad Abierta, sus accesos a modo de bienvenida para sus habitantes, sus caminos



para los que transitamos en ella, los lugares para que Ciudad Abierta pueda vivir en la noche. Con una luz sutil que no contamine con demasiada luz lo dibujado por los cuerpos celestes, y limpia también usando una energía que hasta se puede obtener de la naturaleza misma, del viento.

La segunda etapa

En esta etapa, se estudió una posibilidad de molino generador eólico, desarrollo, detalles y resultados de este se exhiben en las otras laminas, y si bien no se alcanzó a finalizar la construcción del molino (por tiempo y costos), fue una fuente importante de material

de estudio.

Proyección de la última etapa

Para la etapa final de este proyecto, se desea ver la posibilidad de estudiar algún otro generador, lo que podría implicar un cambio sustancial en la forma del molino, dado que es esta pieza la que determina las velocidades y fuerzas requeridas.

Por otro lado esta la posibilidad de profundizar en la luz misma, el elemento que tendría esta luz y el conjunto de estas, como también el trazado o dibujo de Ciudad Abierta en la noche. Probablemente con un prototipo de luz funcional. Por ahora solo se presenta una proyección conceptual.

Imagen 3, 11/3, 12/3, 13/3, 14 ▲
Renders comparando algunos puntos de Ciudad Abierta de día y noche

*[...] Jugamos fuera del tiempo
Y juega con nosotros el molino de viento
Molino de viento
Molino de aliento
Molino de cuento [...]*

*[...] Así eres molino de viento
Molino de asiento
Molino de asiento del viento
Que teje las noches y las mañanas [...]*

-Vicente Huidobro

Estudio de la construcción del corazón del proyecto

91

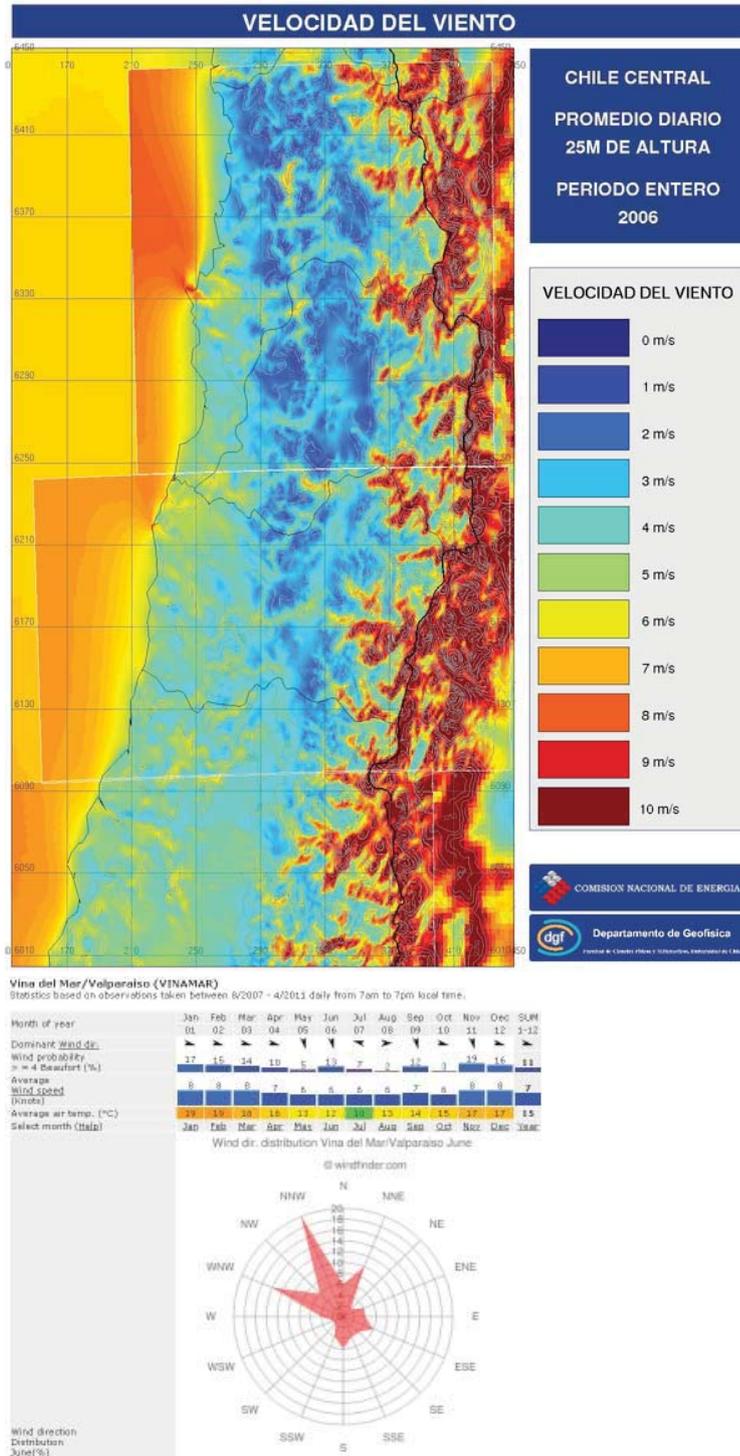


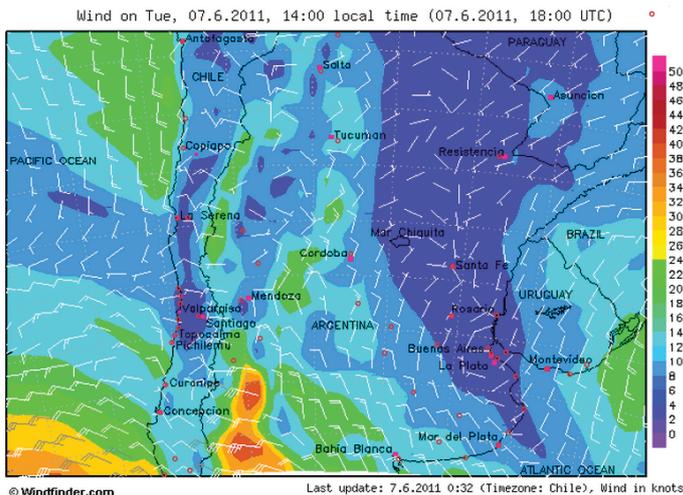
Imagen 3, 15/3, 16 ▲
Mapa de vientos de la región central de Chile y gráfico indicando dirección y velocidad del viento en sector Viña/Valparaiso

Con el fin de tener independencia energética para el proyecto, el molino tiene la función de actuar como transformador de tipo, de energía aerodinámica a mecánica y de allí a eléctrica.

Si bien este molino esta sin terminar, aquello que falta va a ser proyectado en esta lamina. Según ciertos cálculos y referencias encontradas a finales del desarrollo, no hay certeza absoluta de que la energía generada sea suficiente, los que también serán explicados.

Ubicación

Es conveniente tener el generador cerca de la "red de luces", y de forma inicial se desea iluminar el trayecto entre la entrada a las Celdas, por ende se piensa ubicar al molino al lado del camino que une los talleres con las Celdas, en lo alto de una suave pendiente que existe para aprovechar al máximo



la altura. Otra posibilidad es tal vez ubicar el molino en lo alto de los mismos talleres, pero esta se esta dejando de lado por ahora.

Idealmente es necesario hacer un estudio de vientos detallado de la zona, usando un anemómetro, pero un estudio serio habría tomado 1 año cronológico, en donde lo ideal es haber hecho mediciones al menos 3 a 4 veces diarias, o 1 vez a la semana para ver el comportamiento general a lo largo del año. Existen estudios que solo miden 4 veces al año, pero son de tipo macro. Un estudio semejante se escapa de la duración de este proyecto de título (9 meses en total).

La base

A modo de lograr la altura necesaria se construye una base simple con forma de caballete, en este se fijan los rodamientos, la protección para estos, y la caja de cambios.

Construcción

Se parte soldando 2 pares de patas entre si con sus travesaños inferiores y un sujetador provisorio en la punta superior. Luego se ponen de pie y se amarra un listón, con la medida correcta, a estos sujetadores con alambre para formar la distancia de la parte superior, se ubica el travesaño central y se hace una amarra con alambre el cual se tensa para mantener en posición.

Para obtener la inclinación deseada, se dibuja en el suelo el área que usarán las patas de la base para asegurar la forma, y con un nivel que mide el ángulo de inclinación se asegura la inclinación de las patas. Hecho eso se suelda el travesaño central al los



Imagen 3,17 ▲
 Mapa de vientos de cono Sur
 Imagen 3,18/3,19/3,20/3,21/3,22/3,23 ▶
 Secuencia de construcción de base de Eoluz

93



otros 2 dejando fijos la forma general de la estructura.

Arriba de los sujetadores se ubican otros trozos de madera más para rellenar la altura necesaria para nivelar el perfil C que se usará de base y con prensas se sujeta a las patas. Luego se retiran los sujetadores y amarras y se termina de hacer las soldaduras.

Finalmente se sueldan unos perfiles cuadrados al perfil C para dar mayor resistencia y se curvan las puntas de este para que tengan mayor contacto con las patas.

Consideraciones

Inicialmente se estudio la posibilidad de que la hélice pudiese orientarse hacia la dirección del viento, pero a causa de la caja de cambios resulta poco factible, ante lo cual habría 2 posibilidades, o se cambia el sistema hélice/cambios por algo de menor tamaño que pueda ser montado en un sistema de orientación encima de la base, o hacer que la totalidad de la base pueda orientarse.

Los rodamientos y su cobertor

Los rodamientos adquiridos para este molino son rodamientos principalmente para fuerzas radiales, estos necesitan ser lubricados con grasa o aceite cada cierta cantidad de tiempo y no se les puede dejar a la intemperie sin protección, a raíz de esto se construye un cobertor, un techo, al molino. Como se ve en las fotos se pensó el cobertor de tal forma que este quedase afirmado entre los rodamientos y la base usando los mismos pernos, la desventaja es que esto hace que el armado del molino se vuelva un poco más complejo, como también la lubricación de los rodamientos.



El motor - generador

El motor ocupado es un motor facilitado por el ingeniero civil eléctrico Rodrigo Godoy. El sr. Godoy importa estos motores eléctricos de China para su negocio de bicicletas eléctricas, en donde estas funcionan usando un sistema de baterías en las que en la medida que uno pedalea el motor actúa como generador y carga las baterías, y al estar estar cargadas uno puede dejar de pedalear y hacer que el motor haga el trabajo.

Dimensiones generales:

- Motor, soportes de baterías y accesorios: 70x70x30 cm (14 kg).
- Baterías: 30x15x8 cm (15 kg)
- El kit tiene un costo de **300.000 pesos** (kit para la bicicleta), y el puro motor tiene un costo de **90.000 pesos**

Ventajas:

Con **500 Watts** de potencia, da **48 Volts** a **10 amperes** (máximo de 25), los cuales

cargan un set de baterías que entregan la misma potencia.

Teniendo una **eficiencia** del **95%** como generador, este motor además tiene la característica de ser un generador de baja velocidad, solo **350 RPM** para cargar, a diferencia de un alternador de automóvil que tienen una eficiencia de app. 50% y necesitan sobre 1000 RPM para funcionar.

Otra cualidad es que siendo un motor/generador que es para bicicletas, es capaz de resistir la intemperie por ser un sistema hermético, necesitando poca **mantención**.

Desventajas:

Este motor funciona teniendo el rotor fijo y el estator, el cuerpo exterior del motor, es el que gira, por un lado es conveniente porque puede usarse de forma directa como si fuese otra polea, pero su radio es más bien grande lo que complica la creación de la caja de cambio, además de necesitar un torque importante para hacerse girar.

Red eléctrica

Del mismo modo en que el peso de los materiales de una misma estructura deben considerarse al momento de determinar cuanto esta estructura puede soportar, hay que tener en cuenta que en la transmisión eléctrica existen pérdidas relacionadas a la misma red, esto porque el tendido eléctrico dista de ser una conexión ideal por tener resistencias que se hacen evidentes en la medida que las distancias se alargan.

Las pérdidas eléctricas se miden según los siguientes cálculos:

La potencia eléctrica es medida según la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \text{Voltaje} \times \text{Corriente}$$

Siendo la potencia perdida calculada según:

$$\text{Potencia perdida} = \text{Corriente}^2 \times \text{Resistencia cable (Ohms)}$$

Es por estas fórmulas que se desprende porque se transporta la electricidad elevando el voltaje y reduciendo la corriente, para minimizar la pérdida de

potencia, cosa que no viene al caso para la pequeña red que se propone.

También se desprende que la variable "resistencia" de la última fórmula sirve para calcular largo y ancho máximo del cable. Esta se calcula del siguiente modo:

$$\text{Resistencia del cable} = \rho \times \text{Largo cable} / \text{Área cable}$$

En donde "ρ" es la resistividad intrínseca del material del cable.

Suponiendo que uso finalmente el motor del sr. Godoy, sería:

$$500W = 10A^2 \times R \\ R = 500/100 = 5 \text{ Ohms}$$

$$\rho = 17.2 \text{ (n}\Omega\text{-m)}$$

$$\text{Radio cable} = \\ \text{app } 0,001 \text{ m, Área} = \\ 0,00000314$$

$$R = 5\Omega = 5 \times 10^9 \text{ n}\Omega = \\ 17,2 \times \text{Largo} / 0,00000314$$

$$\text{Largo} = 912 \text{ metros app.}$$

Todo esto significa que usando un cable de 1 milímetro de espesor, después de 912

metros lineales ya no se percibirá corriente eléctrica, partiendo de 500W.

Partes por investigar

Sistema de frenos

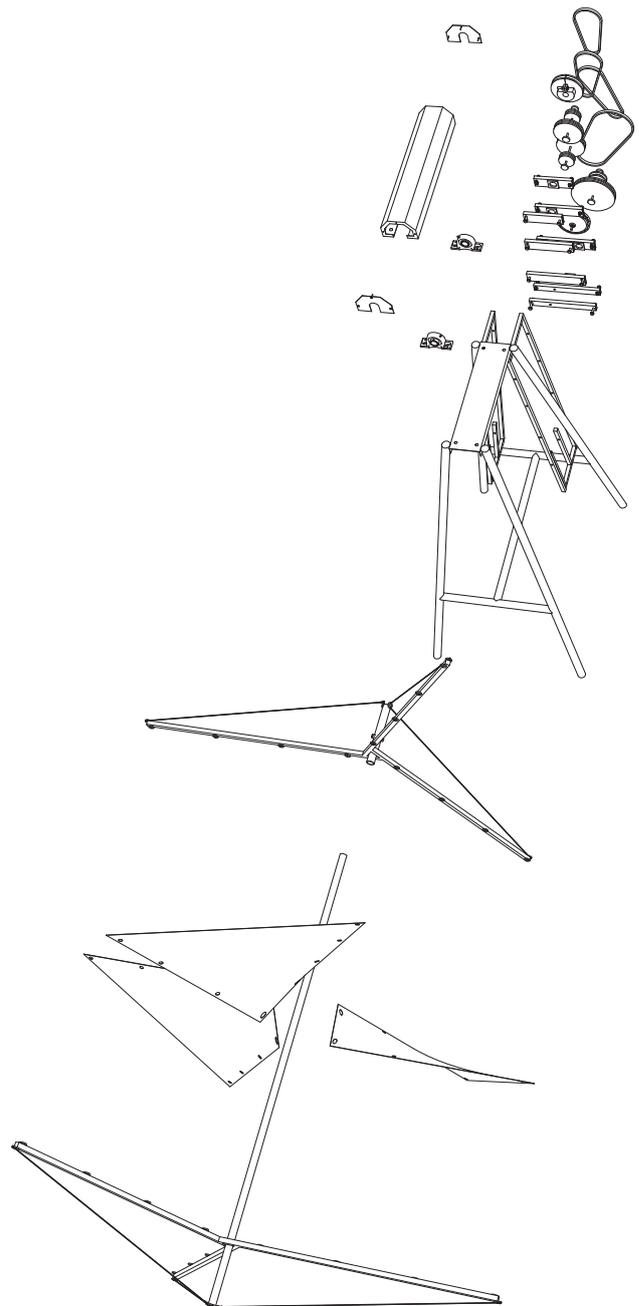
En esta etapa no se profundiza en la aplicación de frenos para este molino, en caso de velocidades de viento muy altas la posibilidad de daño en el equipo es real. Es posible utilizar el mismo generador como freno, se puede hacer un circuito que detecte la entrada excesiva de energía, ante la cual el generador puede pasar a hacer la función de motor con lo cual frenar el molino.

Protección para poleas, motor y sistema eléctrico

Dadas las características del motor este no pareciera necesitar mayor protección contra la intemperie, por ser parte de la rueda de una bicicleta esta hecho para resistir, pero es probable que igual necesite algún tipo

de protección si se tiene en cuenta el prolongado tiempo que se supone que tendría a la intemperie de usarse como se propone.

Las poleas y sus rodamientos necesitarán tanto protección como mantenimiento, sin embargo no hay certeza de cual de estos es prioritario sobre el otro, siendo esto último lo que determina la forma de la protección a hacer.



96

Imagen 3,31 ▲
Despiece de Eoluz en perspectiva

El transformador eólico-mecánico

97

La Hélice

Este es un molino de tipo HAWT (turbina de viento de eje horizontal), el cual se construye teniendo en cuenta el generador que fue obtenido (véase en siguiente punto). La fórmula general de obtención de energía para un generador como este es la siguiente:

$$\text{Potencia (Watts)} = \text{Área } m^2 \times \text{Velocidad}^3 \text{ (m/s)}^3$$

Salta a la vista que es la más importante, pero teniendo en cuenta el poco viento existente se opta por apostar por la otra variable existente, el área.

Se diseña la hélice en base a aspas de tela, a modo de vela, de tal forma que sea regulable tanto la variable "paso" de la hélice, como su área de contacto con el viento. Si bien es de mayor seguridad tener la mayor parte del área de las aspas cerca del eje en vez de cerca de la punta, se obtiene con mayor facilidad un área mayor hecho de este modo, y constructivamente hablando, se facilita la tensión de las

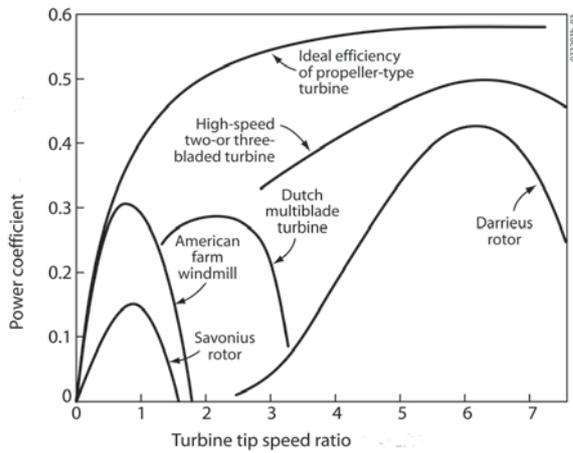
aspas de tela.

La relación entre el área y el paso con la energía tiene que ver con la eficiencia de la transformación de aerodinámico a mecánico, en donde en el mejor de los casos, según Albert Betz en 1919, es de solo convertir la $16/27$ parte de la energía cinética del viento, un 59.3% , en energía mecánica.

Otra variable importante es el TSR ("Tip Speed Ratio" ó "Razón entre la velocidad del viento versus la punta de una hélice"), en donde se compara la velocidad del viento contra la del extremo exterior del rotor, pero esta variable es difícil de calcular por no haber un anemómetro a mano ni tener como medir de forma exacta la velocidad de giro del molino.

Construcción:

Antes de nada, se prepara el eje principal con un tubo que se le tapan los extremos para minimizar la oxidación al máximo, luego el eje menor es perforado y se le sueldan 2 turcas para así fijar este sustento "móvil", este es el que permite que la hélice



pueda tener varias formas.

Se opta por construir los soportes de las velas de forma tangente al eje, de este modo se logra tener un área de contacto mayor para las soldaduras.

Se construye una matriz, con 2 alturas, una a ras de suelo para dar espacio a los "contratensores", tensores hechos para contrarrestar la tensión que harán las velas/aspas contra la estructura, también para asegurar la perpendicularidad del eje y las aspas. La segunda altura es donde se sueldan las "astas tangenciales". Antes de soldar las astas, a estas se sueldan argollas desde donde se harán todas las amarras. Las argollas de las aspas se sueldan antes de soldarlas a los ejes, siendo las argollas de los ejes soldados al final.

Energía transformada:

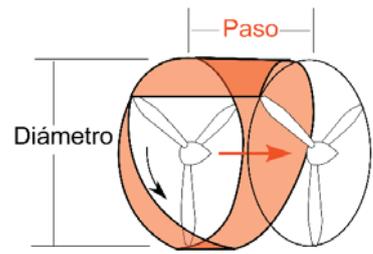
Un molino de gran área asegura una buena fuerza torque, pero según los datos de un libro *A, pero el molino propuesto (vagamente similar a los molinos cretenses, por aspas de velas) podría

tener una velocidad máxima de **60 RPM**, un problema siendo que el motor obtenido necesita al menos **350 RPM**, a modo de solventar esto se crea una caja de cambios para aumentar la velocidad.

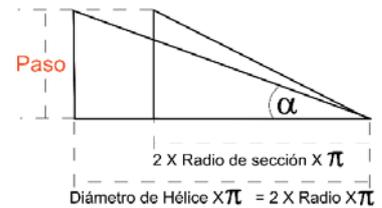
Existen, además, factores que contribuyen a pérdidas de velocidad son:

- el peso de la hélice (esta hecha de fierro).
- el peso hace que el eje adquiera cierta curvatura.
- los rodamientos ajustables son de la medida correcta para el eje, pero igual son levemente más grandes que este, esto hace que el eje físico no este totalmente centrado en el eje de rotación.

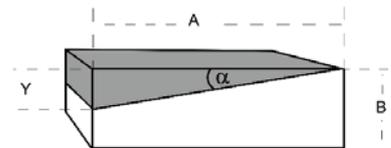
El "paso"



El paso es la variable con la que se puede medir la relación entre cuanto debe avanzar una hélice en un medio, el diámetro de la hélice y el ángulo de ataque de las aspas, dado que este último es variable a lo largo de sí misma.



$$\alpha = \text{ArTan} \left(\frac{\text{Paso}}{2 \times \text{Radio de sección} \times \pi} \right)$$



Este bloque represente una sección del aspa, siendo el volumen oscuro aquel que será eliminad.

Imagen 3,32 ◀
Gráfico comparando el rendimiento de distintos tipos de turbinas eólicas
Imagen 3,33 ▲
Cálculo de el 'paso' de una hélice



Las Aspas

Variables de la forma del aspa

Un aspa es la pieza de la hélice que recibe el viento, y es guiado por el eje de la hélice para formar el recorrido giratorio, su forma esta relacionada con el manejo del aire como flujo y por esto modelos de aspas de materiales sólidos asemejan a los perfiles alares, las secciones de un ala de avión.

Pero estos últimos están alineados para un recorrido lineal, en donde todas las secciones del ala viajan a igual velocidad, en cambio en la hélice las velocidades lineales de las secciones del aspa varían, aumentando en la medida que se alejan del eje central, por esto la forma del aspa varia en su forma (relación alto-largo) y **ángulo de ataque** a lo largo del aspa.

Otra variable que determina la forma del aspa, es el **Paso**. Esta variable mide la **relación entre el ángulo de ataque** de

la sección del aspa, el **radio** de la hélice y la **cantidad de viento lineal que es necesaria para hacer que la hélice de 1 giro**.

Por esto las aspas de las hélices forman un tirabuzón, teniendo en la punta un ángulo cercano a la perpendicularidad con el viento y casi paralelo a este llegando a la base del aspa en el eje (esto en el caso más extremo).

El generador busca generar electricidad haciendo girar un rotor lo más rápido posible (esto puede variar dependiendo del tipo de generador), y siendo la de velocidad del viento una variable imposible de manipular, se ha de modificar el paso de la hélice para que con una velocidad de viento determinada uno pueda definir la velocidad de giro. Si el viento sopla a velocidades muy altas, se necesitará un Paso "alto", de lo contrario se puede obtener una velocidad de giro excesiva, por el contrario si la velocidad del viento es baja, el valor del Paso deberá ser "bajo", de este modo se aprovechará el máximo el viento existente.

Imagen 3,40/3,41/3,42 ▶
 Construcción de hélice, desde la
 construcción de la matriz
 Imagen 3,43▼
 Montaje de lo construido con aspas
 falsas a modo de prueba



Otro ejemplo: en un avión, este hace girar su hélice con combustible, deseándose que gire lo menos posible y así consumir menos; a su vez la hélice “tira” del avión a través del aire, deseándose que avance lo máximo posible con el mínimo devueltas de la hélice. Por ende uno desea un valor de paso “alto”.

Teniendo el radio de la hélice app. 2810 mm, α sería ángulo de ataque más externo del aspa:

$$\alpha = \arctan(\text{largo del arco de 1 aspa (igual a 1/6 del perímetro)} / \text{profundidad aspa})$$

$$= \arctan(1471,31 / 300) = 11,52^\circ$$

$$\text{Paso} = \tan(\alpha) \times \text{perímetro hélice} = 1800 \text{ mm}$$

Material

Para disminuir el peso de la estructura se opta por usar como material tela, específicamente tela de cortaviento, una tela ligera hecha para proteger del viento y resistir a la intemperie, lo que elimina la preocupación por la forma del perfil alar mismo y reduciendo el problema solamente a la variación del ángulo de ataque.



Proyecto de Título - Eoluz

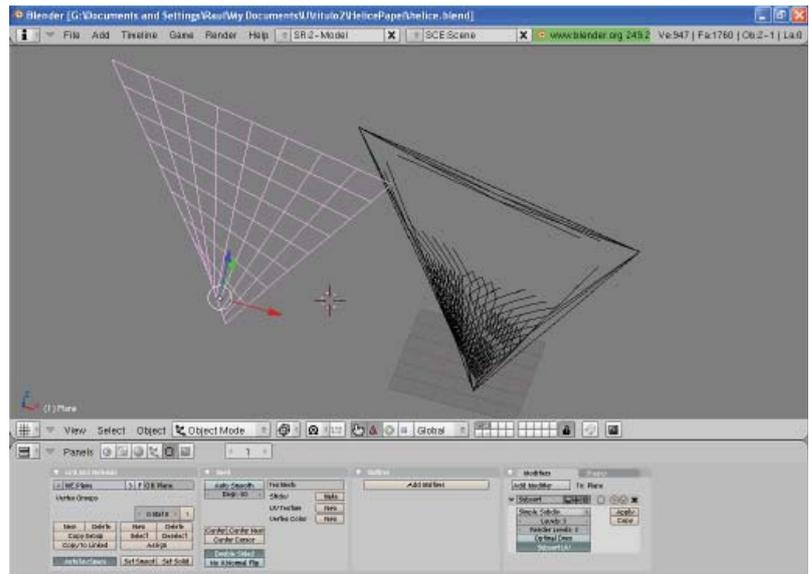
101



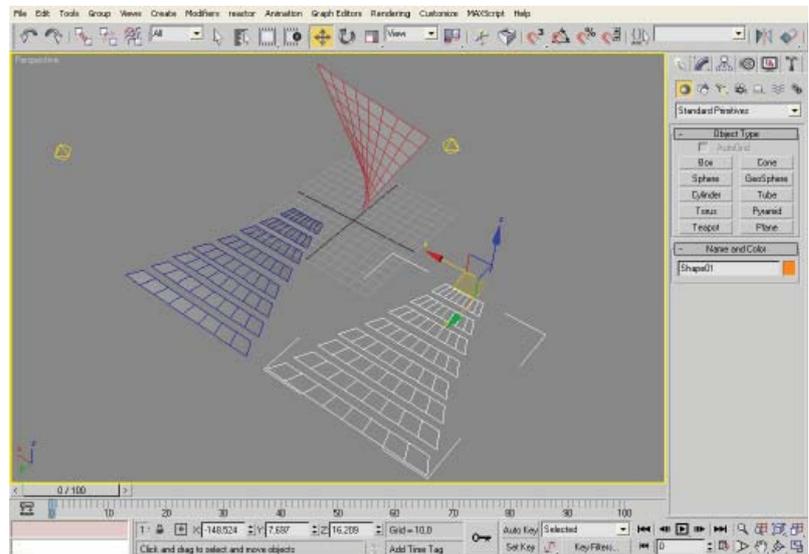
Construcción:

Se parte creando el modelo 3D de la forma del aspa (ver imágenes anexadas), usándose Autodesk **Inventor** se asegura la precisión de la forma, a continuación se exporta el modelo 3D a **Blender**, en el se toma el modelo y se hace una refinación del modelo, luego en Autodesk **3D Studio Max** se toma el modelo y se aplica la herramienta **UV Unwrap**, esta herramienta se usa para poder aplicar correctamente texturas a las superficies, para ello toma las "facetas" (elemento unitario plano que

Imagen
 3,44/3,45/3,46/3,47/3,48/3,49/3,50 ◀
 Construcción de aspas, después de
 tener matriz del computador
 Imagen 3,51/3,52/3,53 ▶
 Generación planimetría de aspas,
 desde Inventor a Blender, luego a 3D
 Studio Max y finalmente Autocad

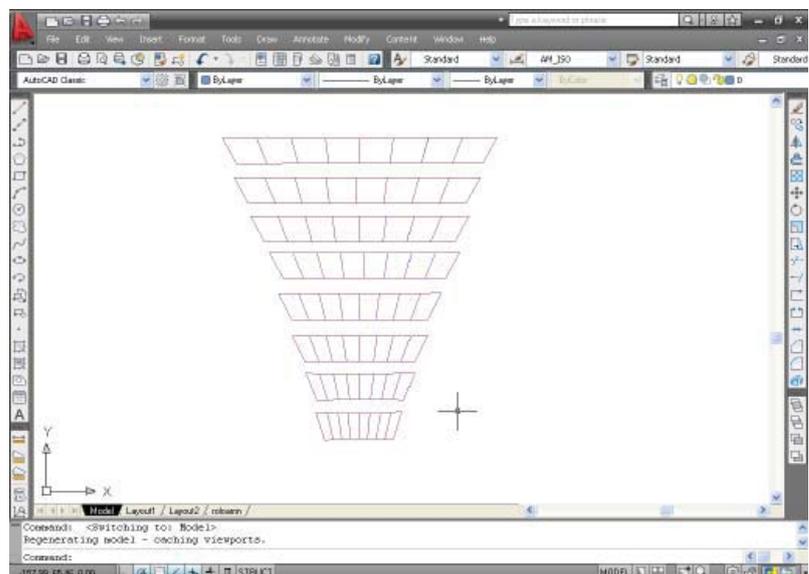


102



conforma los objetos 3D), las desvincula las unas de las otras y las ubica de forma plana. De este modo obtengo la aspa de forma "parabólica", en secciones planas que después se exportan a Autodesk Autocad, donde se imprimen.

Estos trozos son usados como matrices para recortar la tela, a la cual se le da un poco más de largo para poder hacer un bolsillo en donde se inserta una correa y así reforzar la tela, allí donde después se ubicarán los ojettillos.



La caja cambios

103

Para lograr la velocidad requerida por el generador (mínima de 350 RPM, ideal de 1000RPM), se opta por hacer un tren de poleas de cambio, porque un cambio directo de 60 a 350, lo que sería 6:1 (para 1000RPM sería 16:1), y siendo la el motor de 30 cm, la polea mayor tendría que ser de 1.8 metros.

La estructura que contiene estas poleas será parte de la misma base, como se ve en el juego de planos, cada polea con sus rodamientos van en unos sostenedores que son capaces de pivotar en un extremo y por medio de pernos fijarse en el otro para así poder tensar las correas de transmisión. Es por esto que se obtiene un recorrido en zig-zag del tren de poleas que puede variar entre ajuste y ajuste.

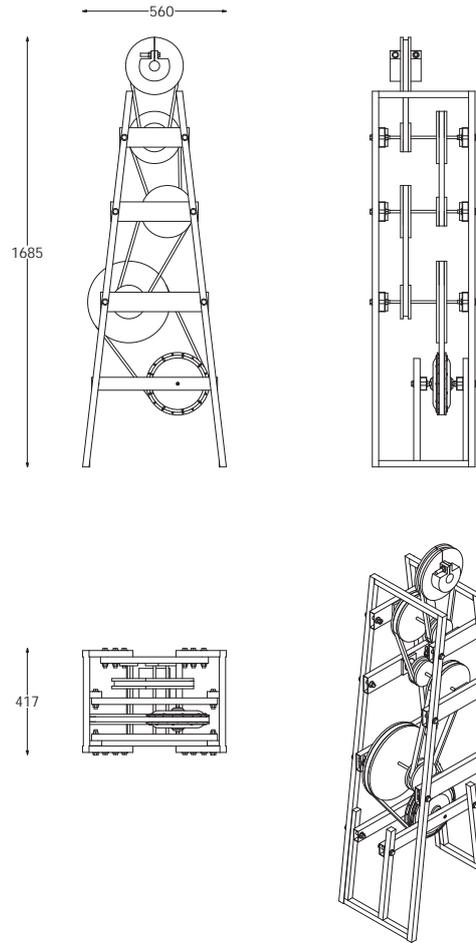
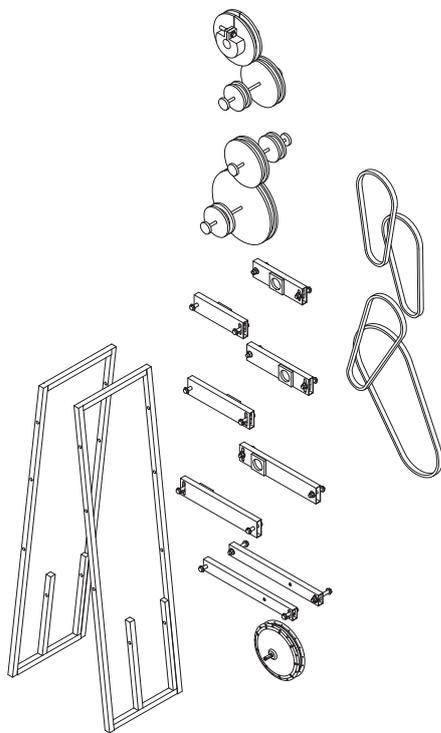
Construcción

La caja de cambios misma consiste en 2 marcos metálicos rectangulares, soldados a la estructura principal a la base superior (debajo del compartimiento

de los rodamientos de la eje de la hélice) y a los patas por la parte alta de los marcos, y por la parte inferior irán soldados al travesaño. Los marcos tendrán perforaciones para los sostenedores de las poleas.

De forma ideal las poleas debieran ser hechos en una tornería de metales, como el aluminio, pero el costo es elevado (alrededor de 30.000 pesos cada una), pudiéndose mandar a hacer a pedido. Lo bueno es que luego son instaladas en un eje, que a su vez tendría que ser insertado en rodamientos para asegurar el mínimo de roce posible, y estos rodamientos irían empotrados a un fragmento de plancha metálica, de tal forma que todo este elemento pasaría a ser una pieza, ya que el fragmento tendría perforaciones con los cuales se puede apernar y fijar a la estructura principal.

Los sostenedores de las poleas se piensan como cortes de perfiles cuadrados de metal con series de perforaciones para en ellos fijar los rodamientos en la parte central. En un extremo ira una perforación



104

para dejar ese lado fijo a la estructura y del otro extremo se debería hacer una perforación con forma de fracción de arco circular. De este modo los sostenedores pueden pivotar del lado de la perforación simple y con la perforación con forma de arco permitiría que el perno se deslize mientras este suelto y al apretar fijar el sostenedor donde sea necesario.

se llaman respectivamente velocidad angular y velocidad tangencial. En donde:

$$\text{Vel Tangencial} = \text{Vel Angular} \times \text{Radio}$$

De tener 3 poleas (A, B y C), A y B conectadas via correa y B y C por su eje, la relación entre la velocidad de transmisión de una polea a otra por medio de la correa de transmisión es dada por:

Velocidades y roces

El cambio de velocidad se lleva a cabo por medio de una transformación relacionada a la relación entre el radio y el diámetro de la polea, que en terminos de velocidad

$$\text{Vel Tangencial A} = \text{Vel Tangencial B}$$

Independientemente del radio de ambas poleas, sin embargo la velocidad angular cambia por la diferencia del radio de estas.

Imagen 3,54 ▲
Despiece y vistas de caja de cambios

Proyecto de Título - Eoluz

105 Por otro lado, en el caso de 2 poleas conectadas al mismo eje:

$$\text{Vel Angular B} = \text{Vel Angular C}$$

En donde la **velocidad tangencial** de estas 2 poleas varia a pesar de estar conectadas al mismo eje.

Se desarrolla un poco:

$$\begin{aligned}\text{Vel Angular A} &= \text{Vel Tangencia A} / \text{Radio A} \\ &= \text{Vel Tangencial B} / \text{Radio A} \\ &= \text{Vel Angular B} \times \text{Radio B} / \text{Radio A} \\ &= \text{Vel Angular C} \times \text{Radio B} / \text{Radio A}\end{aligned}$$

Por ende la relación de la velocidad angular de A y C (o B dado que B y C tienen misma velocidad angular) es:

$$\text{Vel Angular A} / \text{Vel Angular C} = \text{Radio B} / \text{Radio A}$$

Siendo la relación de **velocidades tangenciales** la siguiente:

$$\text{Vel Angular A} / \text{Vel Angular C} = \text{Radio B} / \text{Radio A}$$

$$(\text{Vel Tangencial A} / \text{Radio A}) / (\text{Vel Tangencial C} / \text{Radio C}) = \text{Radio B} / \text{Radio A}$$

$$\text{Vel Tangencial A} / \text{Radio A} = \text{Radio B} / \text{Radio A} \times (\text{Vel Tangencial C} / \text{Radio C})$$

$$\text{Vel Tangencial A} = \text{Radio B} \times \text{Vel Tangencial C} / \text{Radio C}$$

$$\text{Vel Tangencial A} / \text{Vel Tangencial C} = \text{Radio B} / \text{Radio C}$$

Un tren de poleas puede aumentar, o disminuir, la velocidad de giro de forma exponencial, no lineal, como ocurre cuando uno hace un cambio con solo 2 poleas, esto favorece el que con una serie de poleas se pueda aumentar mucho la velocidad sin tener que tener diferencias de tamaño muy drásticas.

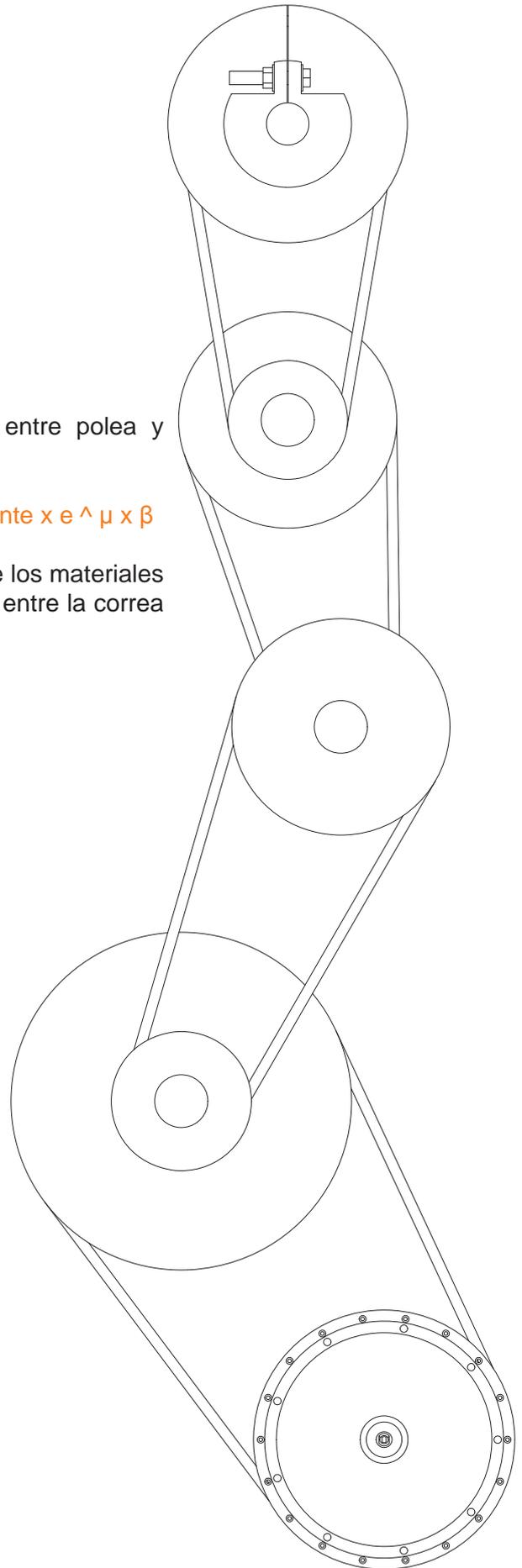
La desventaja es que a mayor número de poleas, mayores son las fricciones por el mayor número de rodamientos y puntos de contactos, por ende es necesaria más fuerza.

Imagen 3,55 ▶
Acercamiento de poleas

Esto esta dado por la formula de fricción entre polea y correa:

$$\text{Tensión fuerza tirante} = \text{Tensión fuerza resistente} \times e^{\mu \times \beta}$$

Donde μ es el coeficiente de resistencia entre los materiales (un número fijo) y β es el ángulo de contacto entre la correa y la polea.



Proyecto de Título - Eoluz

107



Exposición de etapa

Construcción:

Esta lamina consta de 6 caras, cada una de lamina de PVC impresa a 4.200 pesos el metro cuadrado (total fue de 28.000 aproximadamente). El trabajo incluía aplicación de ojettos, por lo que solo faltó amarrar la lamina a la estructura.

Con la estructura de Eoluz, se aprovecha de exponer el fin de esta etapa dentro del mismo proyecto, exponiendo en el patio de la escultura, el patio trasero de la escuela que da al mar a modo de mirador. Se juega haciendo orificios en las las laminas frontal y posterior para dar más aire a la presentación general, de cierto modo este juego podría haber augurado los cambios que se verían posteriormente en el proyecto.

Imagen 3,56/3,57/3,58/3,59 ▲
Exposición de Etapa 2
Imagen 3,60/3,61/3,62/3,63 ▶
Exposición de Etapa 2



109



Exposición de etapa

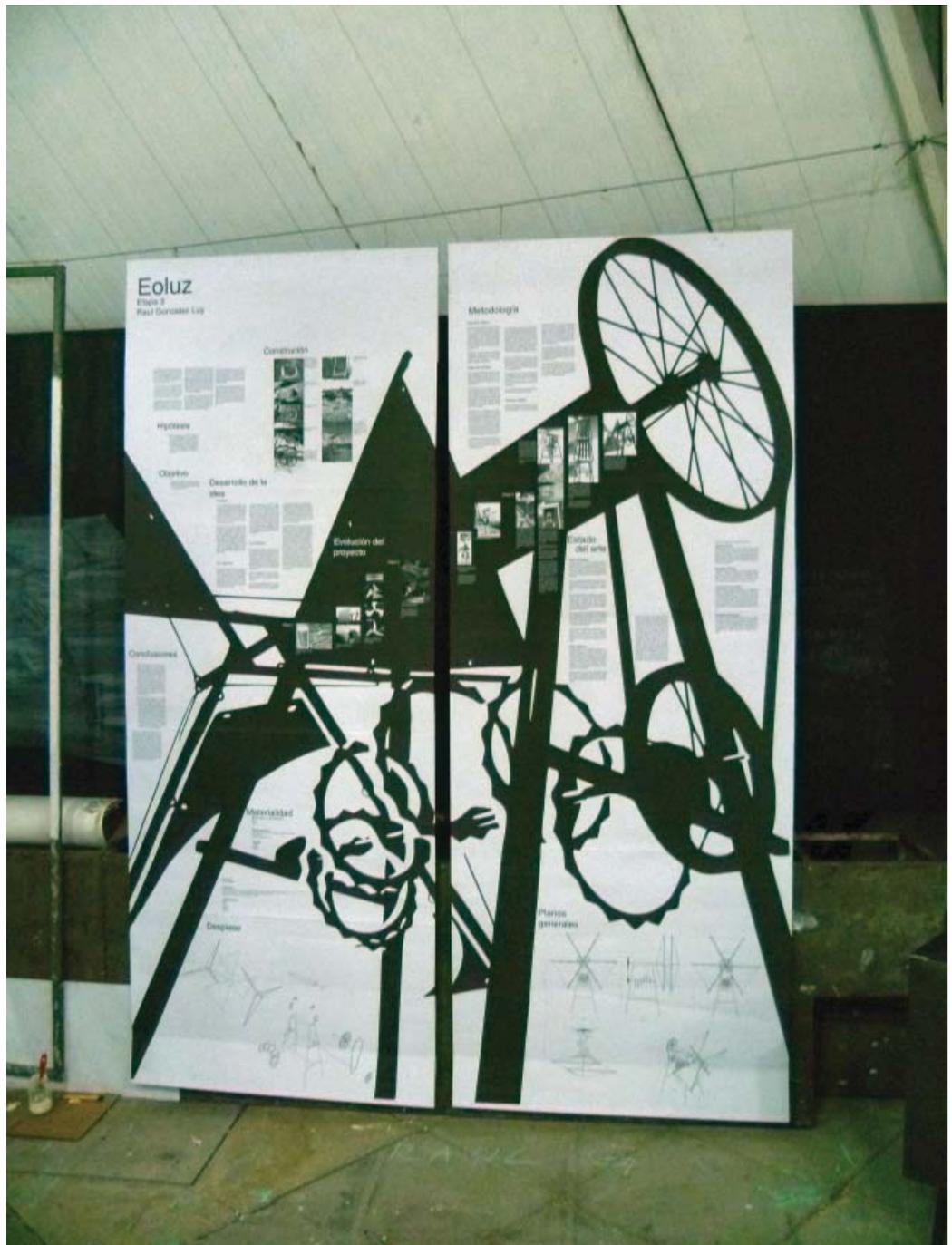
Para la exposición final, de 2 metros por 1,90, a modo de que todos los titulantes estuvieran en la misma línea de diseño, se define utilizar una fotografía en blanco y negro de alto contraste como imagen de fondo para la lámina y que esta sea la que diagramase el contenido.

Construcción:

Se cuelga la lámina en la sala de exposición y con el peso de unos listones de maderas en los extremos superiores e inferiores de la lámina esta se tensa. La lámina se compone de 2 láminas verticales, las que se nivelan en el lugar para dar la continuidad. Adicionalmente se había pensado colocar un elemento que sostuviese una carpeta con el estudio del color hecho en la etapa, pero se deja de lado a falta de tiempo.

En la etapa final de Eoluz los textos hechos para la exposición fueron hechos teniendo en mente que serían de ayuda para la creación de esta carpeta, por lo cual el contenido de esta etapa es la estructura contenida en el cuerpo principal de esta carpeta. A continuación se pasará directamente a exponer la exposición de fin de etapa.

*Imagen 4,1 ▲
Foto vectorizada para fondo de la lámina de exposición*



110

Imagen 4,2▲
Exposición de Etapa 3

Colofón

Impresión en impresora laser
color casera Samsung CLP-
325.

En papel hoja A4 bond.

Impreso el Lunes 19 de
Marzo 2012.