



**[CUERPO ORGANICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CICLO DINÁMICO]**

GENERADOR DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA DE BRAZOS OSCILANTES

Alexander Israel Jimenez Bravo  
Profesor guía: Sr. Marcelo Araya Aravena

e[ad]

Escuela de Arquitectura y Diseño  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Diseño Industrial  
2017

## PRÓLOGO

El estudio de Alexander Jiménez tiene relación con la eficiencia energética y su obtención. Este problema es abordado desde el diseño pero también desde los conocimientos adquiridos en el ámbito de la ingeniería. En esta dualidad el diseñador aporta la intuición en la observación de la naturaleza: las curvas optimas de las ondas descritas por el vuelo de las aves, o la geometría que dibuja el movimiento de una duna... son campos de estudio que Alexander revisa y registra en la primera etapa de su título.

Por otro lado y casi paralelamente el conocimiento del ingeniero, aporta exactitud y precisión en la bajada y concreción de lo observado.

Cuando se cierra el círculo en la conjunción de ambas disciplinas tenemos un proyecto completo que dará, con seguridad, paso a otras investigaciones y desarrollos, en un tema tan actual y pertinente como lo es la obtención de energía con un bajo impacto en nuestro territorio.

Felicidades por tu trabajo y por entregar a la escuela, profesores y compañeros el cuestionamiento que se requiere siempre en toda disciplina pero además la pasión con que enfrentas cada trabajo.

Marcelo Araya  
Profesor guía

## AGRADECIMIENTOS

Después de cinco años y un trimestre no puedo hacer menos que agradecerle, a mis amigos, en quienes siempre más he confiado y quienes siempre han sabido estar presentes, entre todos nos hemos dado fuerza para seguir y para cumplir con esta etapa.

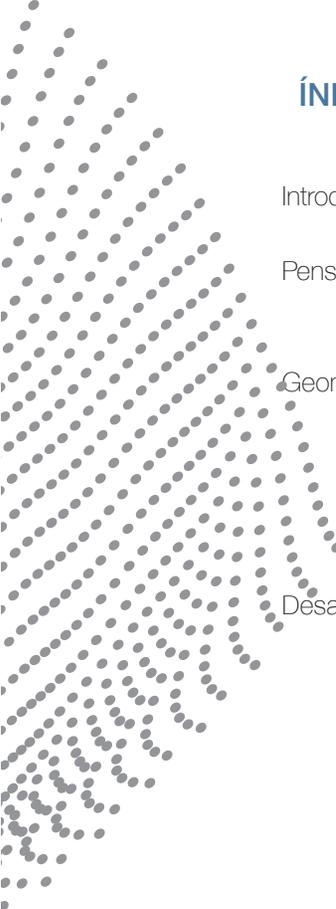
Particularmente para estos últimos tres trimestres me he visto acompañado y apoyado por Valentina Villegas, Pedro Garretón, Sebastian Cubillos, Luciano Morales, Macarena Allendes, Sebastián Olguín y a mi hermano Nicolás, a quienes agradezco de sobremanera su ayuda sin compromiso. Pero por sobre todo, a la persona que se ha convertido en mi compañera, que ha dado todo desinteresadamente para motivarme y ayudarme a lograr este proyecto, gracias Valentina Roco.

Quiero agradecerle a mi abuelo pero por sobretodo padre Héctor por darme todo lo que siempre necesité para siempre seguir y ser cada día mejor. A mi mamá Ana y su esposo Sandro, mi Tia Ivonne, mi Tio Jaime y mi Tia Myriam por creer en mí siempre.

Y aunque no pueda leer esto, a mi abuela Alicia que también fué mi madre y que gracias a su disciplina me hizo quien soy ahora.

Gracias a Dios por todo esto y por lo que se viene.





## ÍNDICE

Introducción.....	A
Pensamiento constructivo en la Naturaleza.....	1-12
Eficiencia energética	
Geometría invisible.....	13-38
Análisis de los movimientos orgánicos	
Cronofotografía	
Curva sinusoidal del movimiento	
Del movimiento organico al movimiento mecanico	
Desarrollo del proyecto.....	39-74
Consideraciones para la construcción de un generador por induccion electromagnetica de imanes permanentes	
Tipos de embobinado (diagramas)	
Materiales de impresión 3d	
Rectificadores de corriente	
Construcción de un ciclo dinamico para la generación electrica	
Diagrama del ciclo	
Generador eólico de doble brazo oscilante	
Planimetrias	
Experimentación y ensayos	
Conclusión.....	75-76
Bibliografía .....	77-78

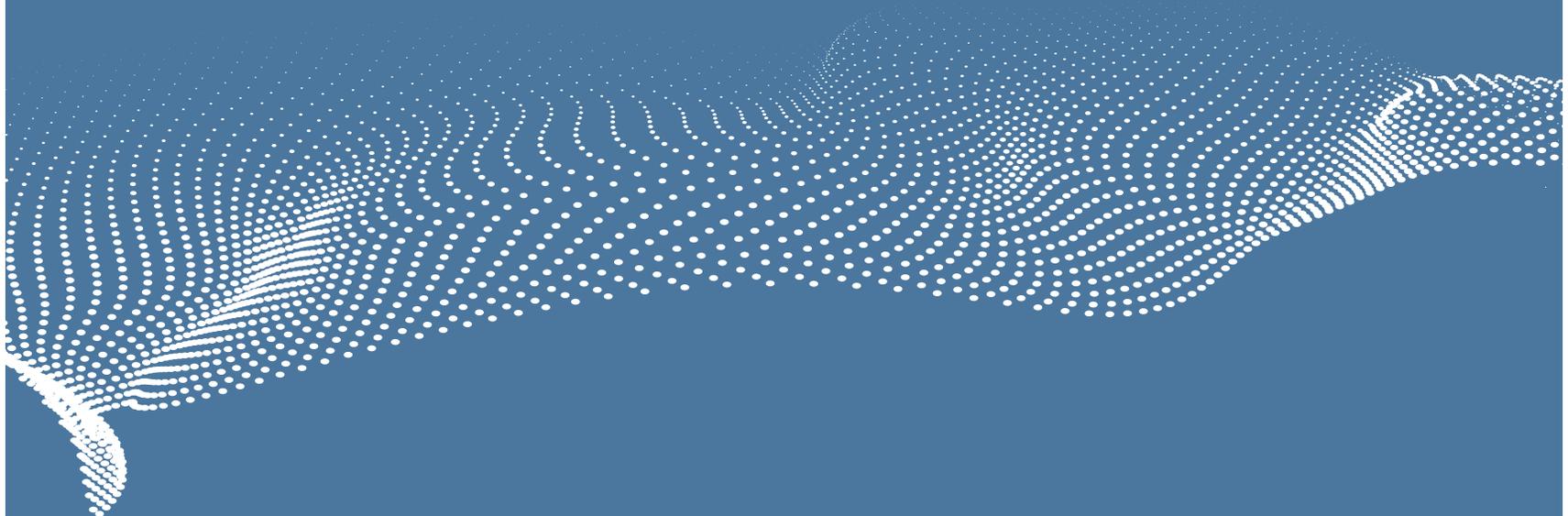
## INTRODUCCIÓN

En la creación y diseño de fuentes de energía renovable, la optimización del movimiento mecánico siempre está presente en la búsqueda del aprovechamiento de la energía. Es por esto, que durante esta investigación de título, se busca y explora el ciclo dinámico en la naturaleza, abordando desde sus características fractales y esperando usar esta analogía para crear un elemento capaz de replicar su gracia, eficacia y eficiencia. Para aprovechar este movimiento, se utilizará como fuente de generación, la inducción electromagnética. Es por esto que desde la mirada del diseño abordamos sus características constructivas, con el fin de conjugar estos aspectos técnicos con el ciclo dinámico propuesto.



# CAPÍTULO 1

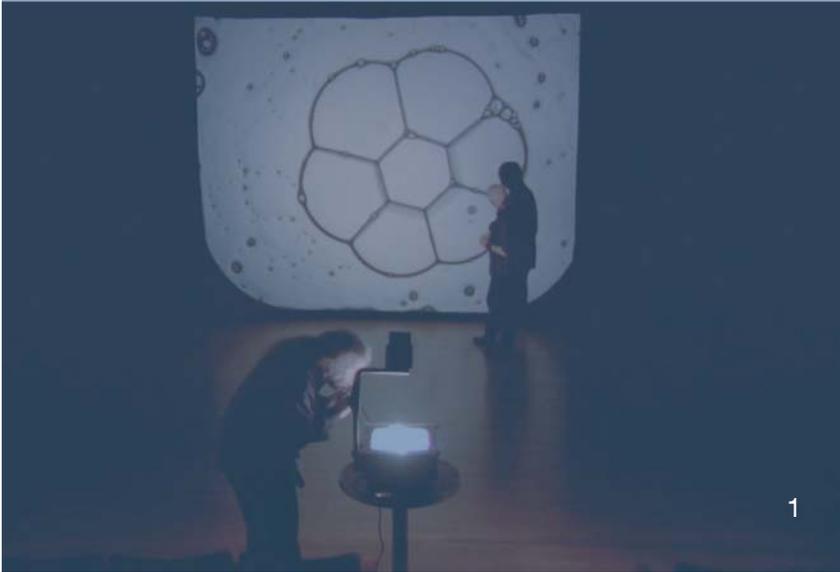
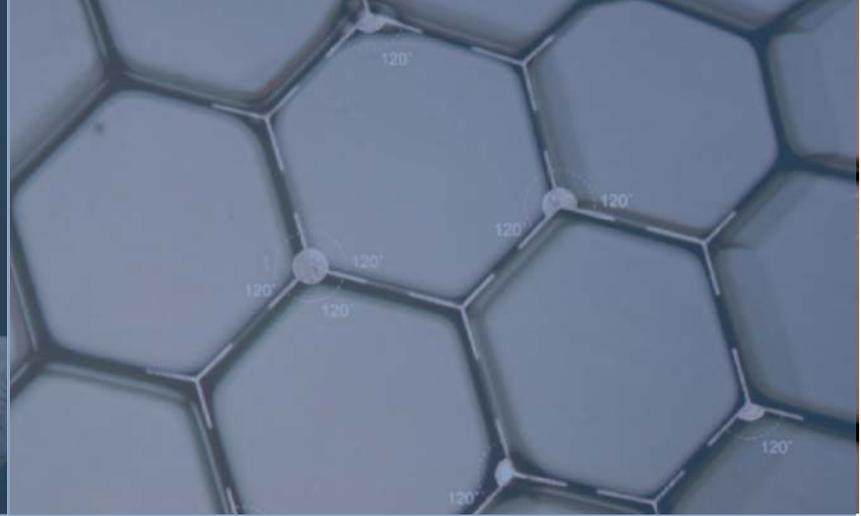
[PENSAMIENTO CONSTRUCTIVO EN LA NATURALEZA]



*En la concepción de las formas, la naturaleza nos lleva la delantera, no solo en complejidad, sino también en la eficiencia constructiva y funcional de todo lo que nos rodea. Poniendo a prueba diferentes estructuras, selecciona y utiliza las que más aportan a la delicada estructura del complejo sistema que nos rodea.*

*Sin duda nuestra idea preconcebida de las formas geométricas tiene un comportamiento mucho más regular que el aparente comportamiento irregular y algo caótico de las formas orgánicas. Pero resulta sorprendente verificar que realmente todas estas figuras en la naturaleza tienen un algoritmo que las rige y más aún las relaciona entre sí; este código es conocido como fractal.*





(1) Imágenes de la serie documental "The Code" de la BBC, donde se muestra la geometría natural eficiente presente en los cúmulos de burbujas.

(2) Similitud de geometría eficiente presente en el orden de las burbujas en un plano y la construcción eficiente de un panal de abejas.

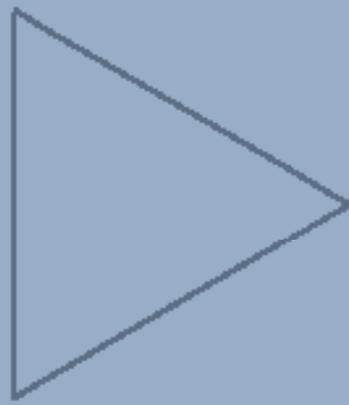
## EFICIENCIA EN LAS FORMAS VIVAS

En la física, la eficiencia tiene que ver con el vínculo entre la energía que se invierte y la energía que se aprovecha en un procedimiento o en un sistema.

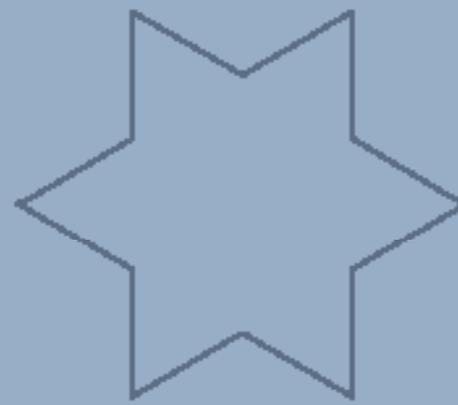
La eficiencia geométrica propia de la naturaleza, viene directamente de la utilización de las características primordiales que definen a los fractales, estas leyes, que definen sus relaciones ya sea en movimiento o de su orden, le permite a la naturaleza conformarse e interactuar realizando el menor gasto energético posible. Estas características formales son unidad mínima, autosimilitud, proporción (escala) y una cuarta vinculada al registro formal de la naturaleza en el espacio, esta se denomina ritmo (movimiento).

Estas cualidades que sirven como ley constructiva se presentan de variadas formas y con diferentes niveles de incidencia, algunas más evidentes que otras. Por ejemplo, el ordenamiento de las burbujas de jabón (1), se relaciona con generar el elemento mínimo para vincular una burbuja con otra, para soportar no solo la presión que una se ejerce sobre la otra, sino también la presión de la atmósfera sobre ellas (2).

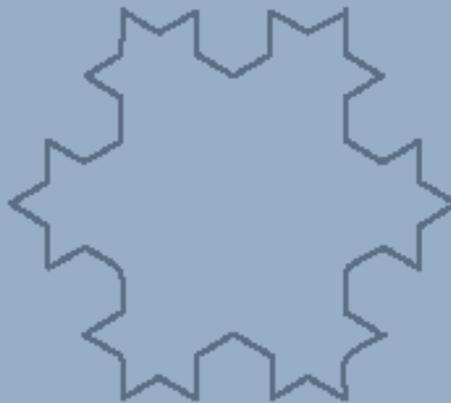
Por lo general los elementos que se consideran fractales en la naturaleza, se vinculan a elementos que guardan registro de su formación y crecimiento a lo largo de su forma, pero realmente existen muchos más, los cuales están vinculados a características de las cuales no queda registro físico, como lo es el movimiento.



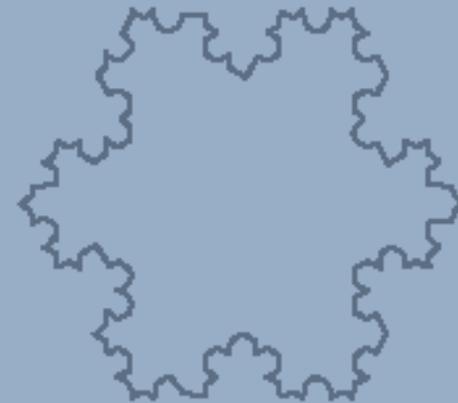
(A) PRIMERA ITERACIÓN  
 $Z^2+Z$



(B) SEGUNDA ITERACIÓN  
 $(Z^2+Z)^2+Z$



(C) TERCERA ITERACIÓN  
 $((Z^2+Z)^2+Z)^2+Z$



(D) CUARTA ITERACIÓN  
 $((((Z^2+Z)^2+Z)^2+Z)^2+Z)$

(3) Iteraciones fractales presentes en el copo de nieve de Koch.

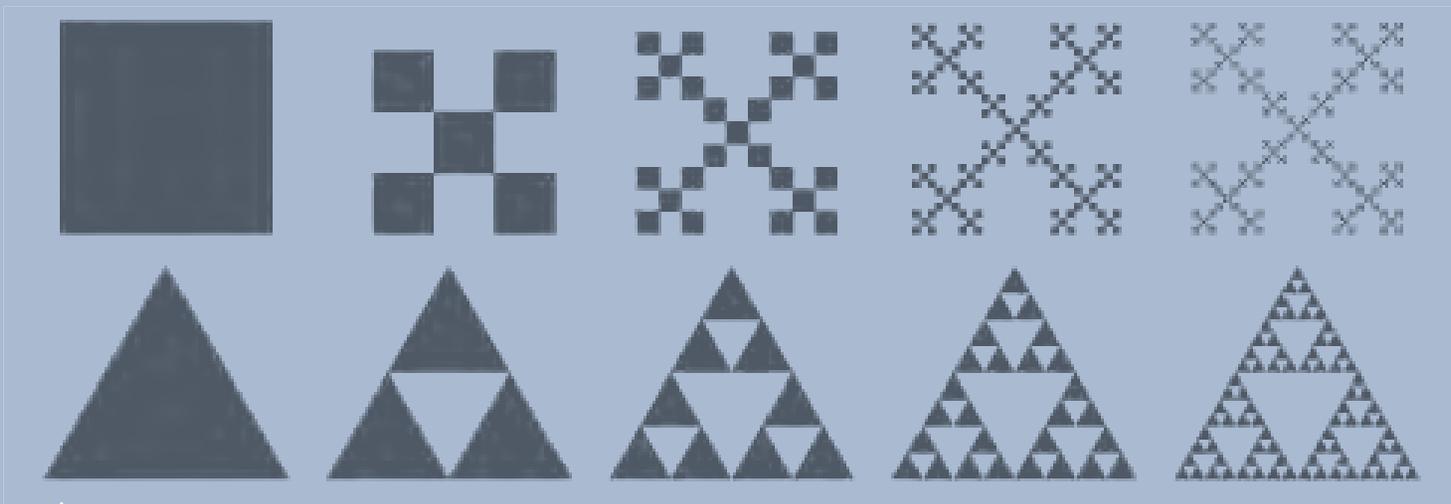
## FRACTALES, LA GEOMETRÍA DE LA NATURALEZA

La geometría nació en Grecia como un intento para comprender la naturaleza a través de la idealización de las formas. Sin embargo, en la naturaleza es muy difícil encontrar estas figuras geométricas ideales.

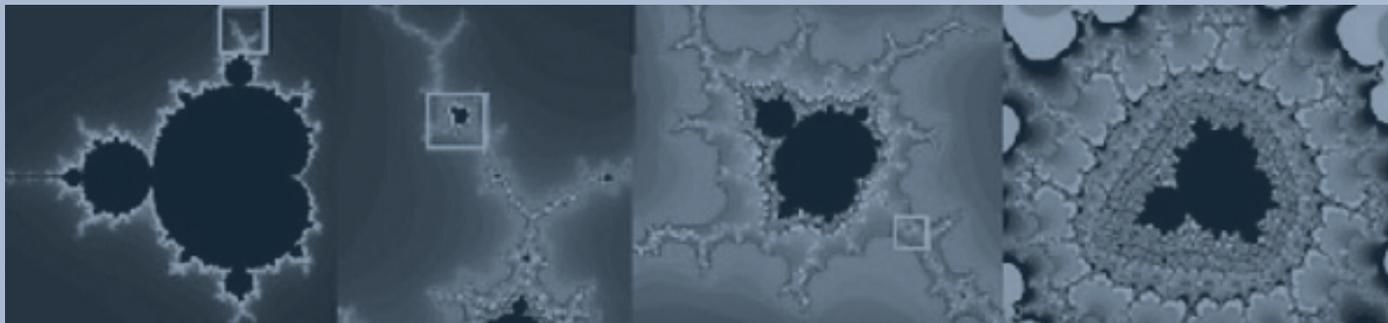
Benoit Mandelbrot (1975) creó el concepto de fractal para objetos de morfología irregular, plegados sobre sí mismos o ramificados. Inicialmente restringidos a objetos abstractos, posteriormente el mismo Mandelbrot (1982) extendió el concepto a las formas de la naturaleza.

### ¿CÓMO SE FORMAN?

Se forman mediante números complejos, de tal forma, que si tenemos el complejo  $z = a - bi$ , tendremos que someterlo a «una prueba matemática». Esta operación consiste en elevar el número  $z$  al cuadrado, sumándose después al mismo  $Z$ . A continuación, este resultado lo elevamos otra vez al cuadrado, sumándose otra vez a  $Z$  y así infinitamente: lo llamado iteración (3).

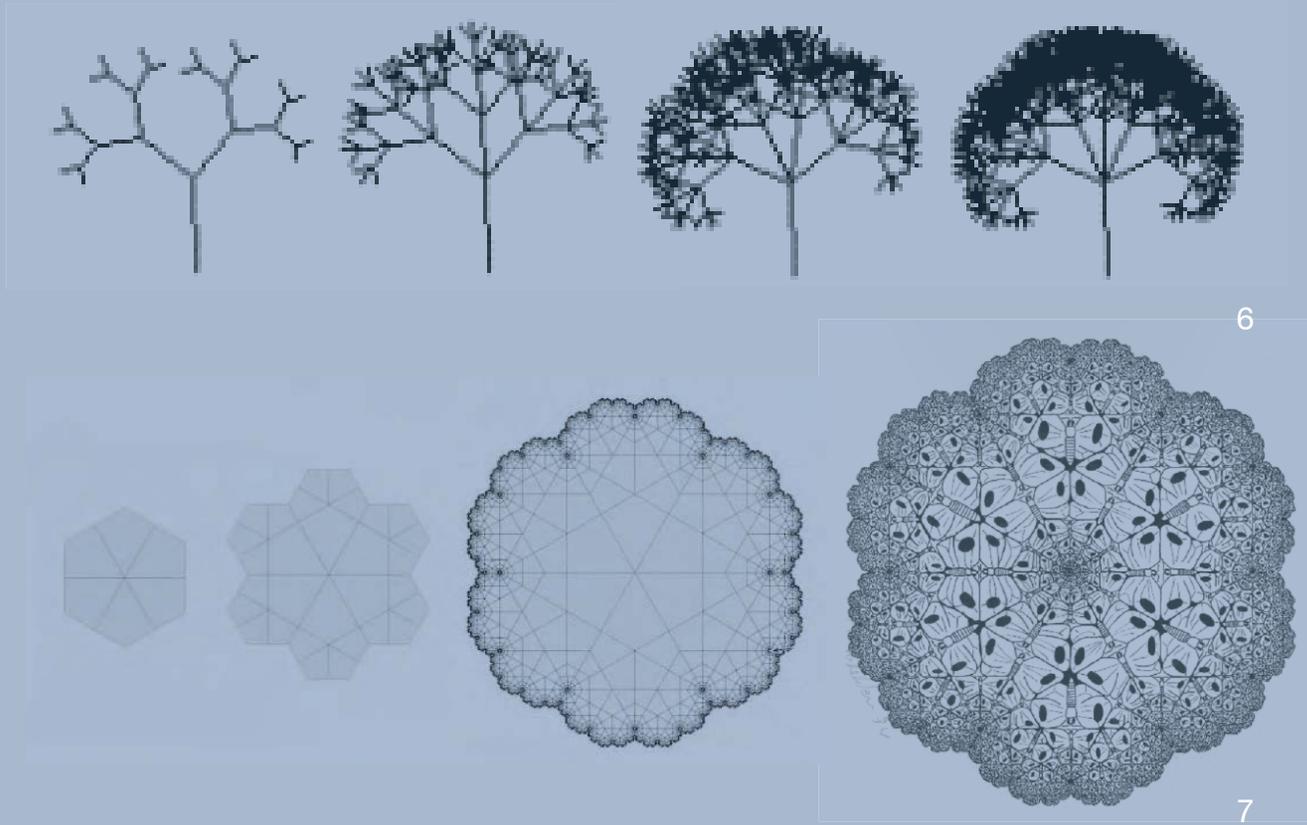


4



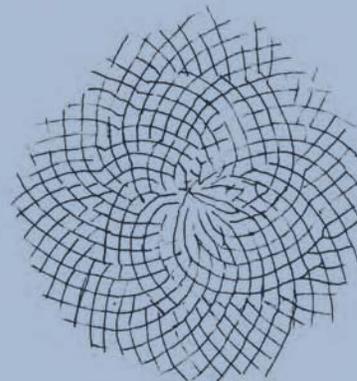
5

- (4) Desconstrucción de una teselación fractal para la visualización de sus propiedades.
- (5) Cuadrado y triángulo de Sierpinski, ejemplos de fractales de autosimilitud exacta.



(6) Árboles Brownianos, ejemplos de autosimilitud estadística.

(7) Conjunto de Mandelbrot, ejemplo de fractal con cuasiautosimilitud.



En la construcción de su patrón  
se guarda el registro de su movimiento.  
este movimiento es fractal.

(8) Croquis patrón central fractal del centro de un girasol.

## DINÁMICAS NO-LINEALES, CAOS Y SU RELACIÓN CON LOS FRACTALES

La palabra caos habitualmente se asocia a desorden. Sin embargo, en términos matemáticos y físicos el caos corresponde a la irregularidad impredecible de las trayectorias temporales de un cierto sistema. Su origen se encuentra en sistemas que, aunque pueden ser muy simples (unidad mínima), son no-lineales y muy sensibles a las condiciones iniciales (vínculo).

El caos puede aparecer en sistemas muy simples desde la perspectiva de los componentes. Robert May(1976) mostró que sistemas con sólo dos componentes, pueden tener dinámicas muy complejas, estableciendo claramente la diferencia entre complejidad estructural (vínculo) y complejidad dinámica (total/caos).

Por otra parte, en la realidad, para observar las cualidades fractales de los seres vivos y objetos dinámicos, se debe considerar la coordenada tiempo, pues es gracias este, que la iteración se convierte en movimiento, y la recopilación o recorrido de este movimiento, es lo que se manifiesta como fractal. Es decir, que la unidad mínima en sí misma no es fractal hasta registrar este movimiento no-lineal.

Es decir, el fractal dibujo fractal es el registro del movimiento que realiza la planta al crecer.

“Las dinámicas que aparentan ser no lineales son las dinámicas de las formas vivas, y los fractales son las formas resultantes de las mismas.”



El vínculo entre agua y viento se hace visible sobre el borde de la ola. El viento se hace visible a través del agua

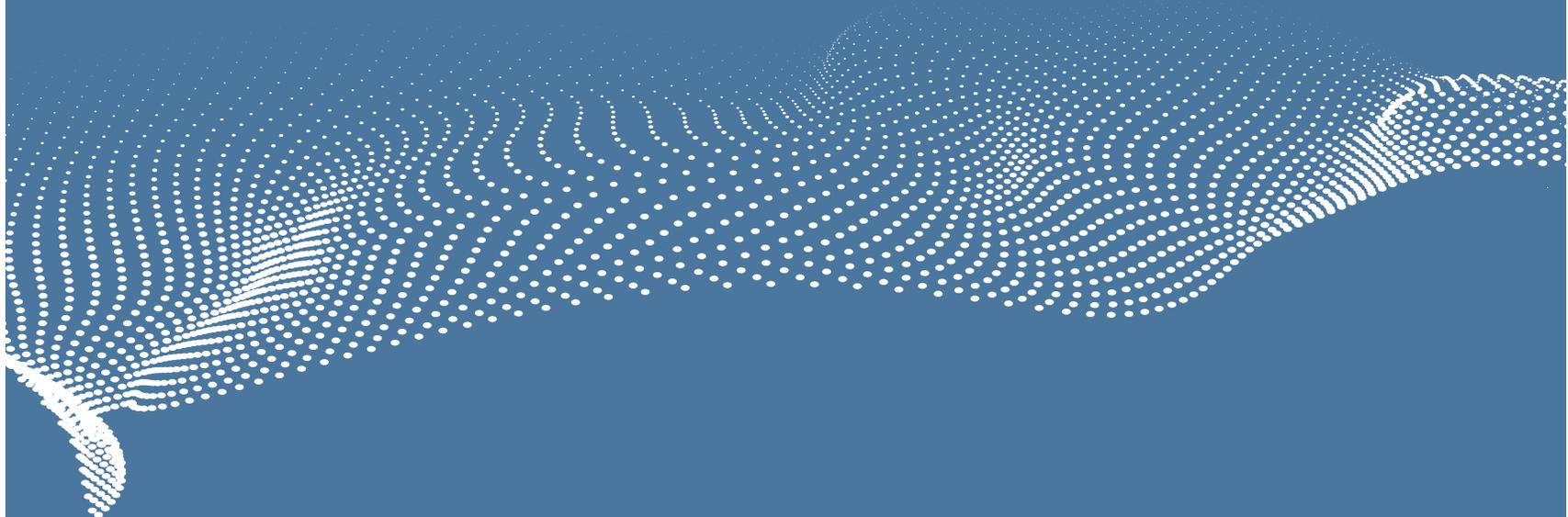


El agua y la tierra se  
sincronizan para construir  
un movimiento nuevo y  
CAÓTICO cada vez.

El agua y la tierra se sincronizan para construir un movimiento nuevo y caótico cada vez

# CAPÍTULO 2

[GEOMETRÍA INVISIBLE]

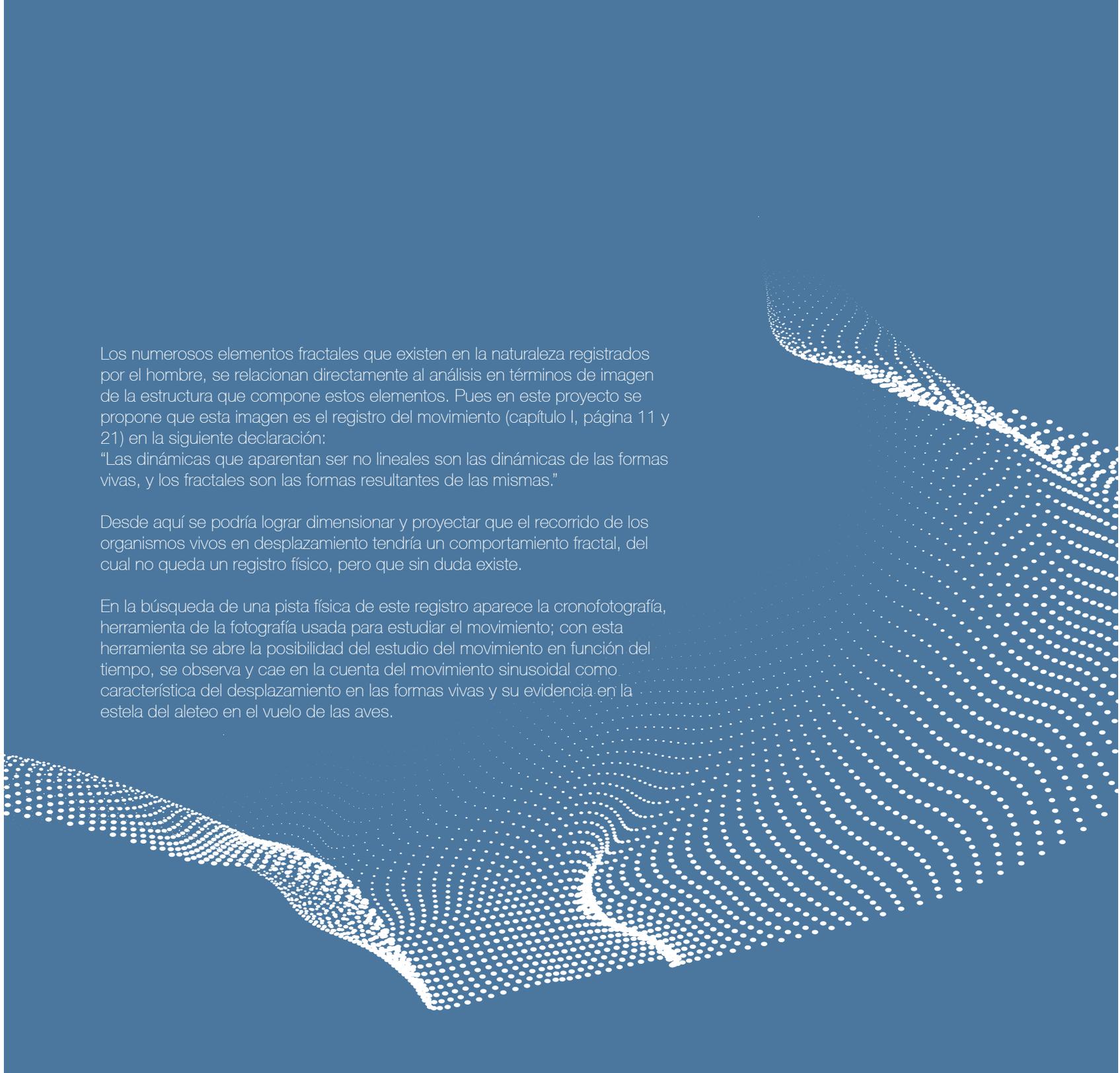


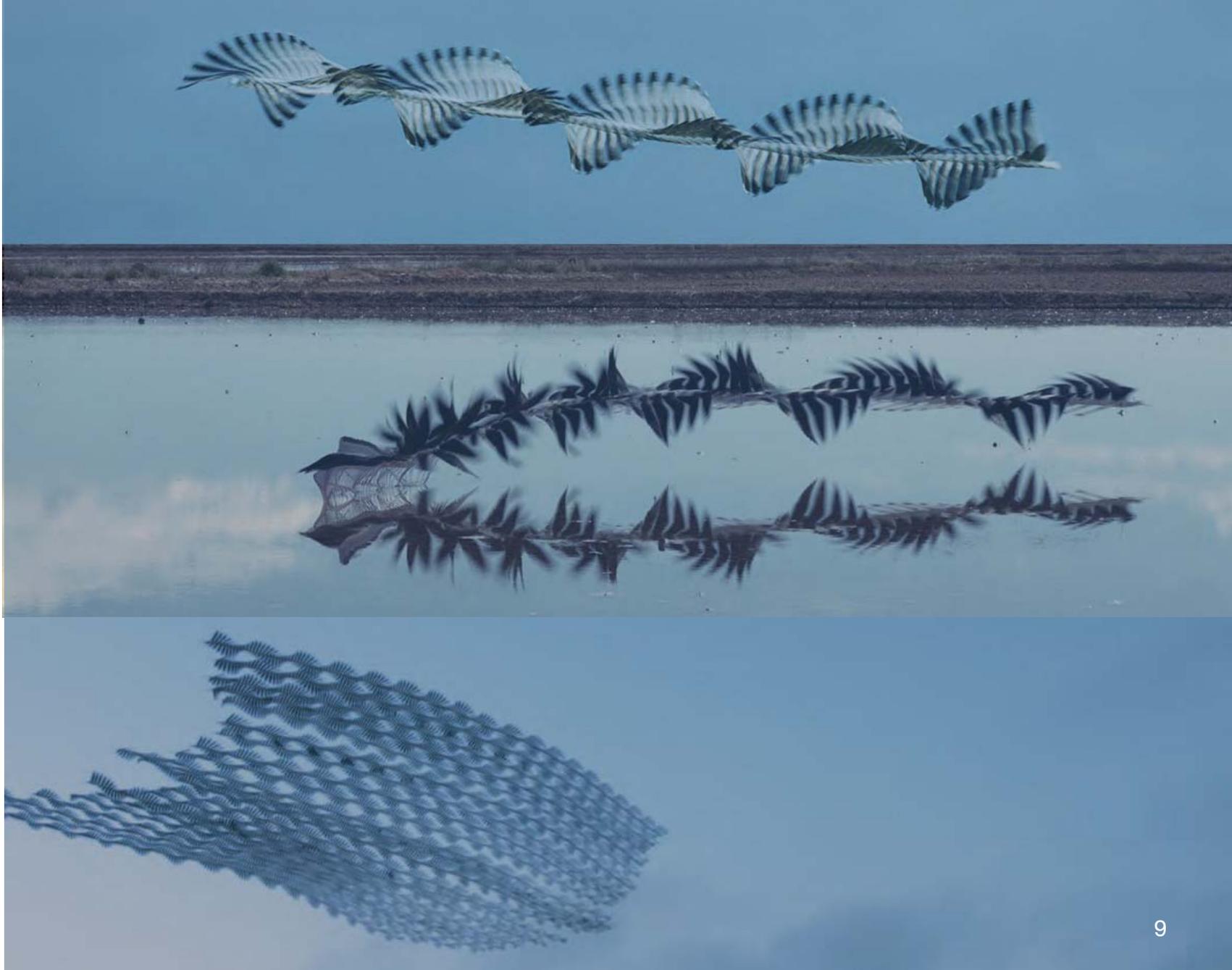
Los numerosos elementos fractales que existen en la naturaleza registrados por el hombre, se relacionan directamente al análisis en términos de imagen de la estructura que compone estos elementos. Pues en este proyecto se propone que esta imagen es el registro del movimiento (capítulo I, página 11 y 21) en la siguiente declaración:

"Las dinámicas que aparentan ser no lineales son las dinámicas de las formas vivas, y los fractales son las formas resultantes de las mismas."

Desde aquí se podría lograr dimensionar y proyectar que el recorrido de los organismos vivos en desplazamiento tendría un comportamiento fractal, del cual no queda un registro físico, pero que sin duda existe.

En la búsqueda de una pista física de este registro aparece la cronofotografía, herramienta de la fotografía usada para estudiar el movimiento; con esta herramienta se abre la posibilidad del estudio del movimiento en función del tiempo, se observa y cae en la cuenta del movimiento sinusoidal como característica del desplazamiento en las formas vivas y su evidencia en la estela del aleteo en el vuelo de las aves.





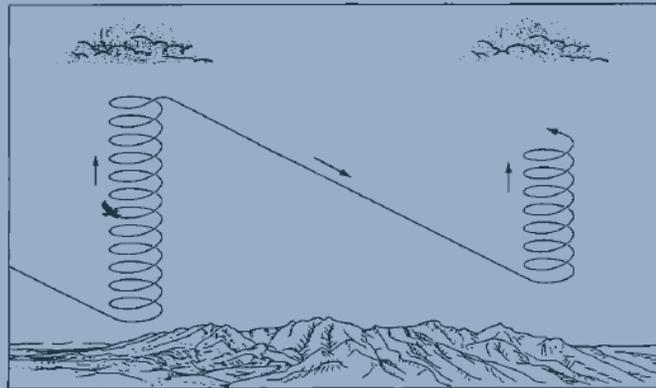
(9) Imágenes del proyecto "Ornitografías" de Xavi Bou

## LA CRONOFOTOGRAFÍA, REGISTRO FRACTAL DEL VUELO

En el registro del movimiento, el fractal aparece de forma inversa al registro que nos entregan las plantas, pues en el vuelo del pájaro, por ejemplo, se observa solo la unidad iterando, sin dejar registro de sus resultados, pero permitiéndonos visualizar cada uno de estos cada vez en tiempo real.

El fotógrafo Xavi Bou, en su proyecto ornitografía (25) registra el movimiento del vuelo de las aves con fines plásticos. Pero a nosotros nos abre el campo de observación para el análisis del registro invisible. Haciendo aparecer figuras que por su fugacidad no logramos percibir, pero que nos habla del modo de desplazamiento que tienen los pájaros sobre su medio.

Este registro fotográfico, nos permite preguntarnos sobre la forma del desplazamiento en el aire ya no solo mirando al pájaro en detención, sino también, analizando la estela que este construye en su vuelo de aleteo.



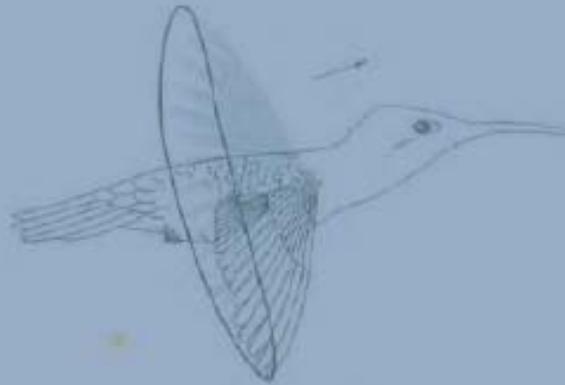
11

(10) Cronofotografía del aterrizaje de un pelícano.

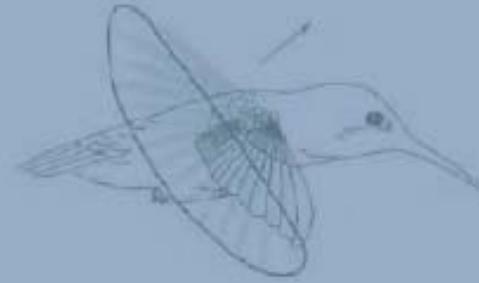
(11) El uso de corrientes termales en un vuelo de remonte de un buitre para contrarrestar la caída.

## ANTECEDENTES, EL VUELO EN LAS AVES

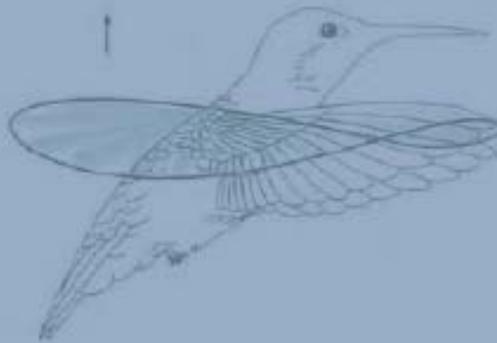
Las aves han explotado un rango extraordinario de modos especializados de vuelos. Modelos aerodinámicos simples y comparaciones con aeroplanos no siempre se aplican con precisión a las dinámicas del vuelo real. Aves pequeñas, particularmente, usan variadas formas de aleteo de vuelo que reduce el arrastre de perfil y el nivel de costo de potencia en relación con la velocidad aerodinámica. Podemos distinguir cinco formas de vuelo: el planeo, el paracaidismo, el remonte, el vuelo de aleteo y el vuelo en suspensión. En el idioma inglés tiene más palabras que el castellano para diferenciar las diferentes formas de volar de las aves, así que para evitar confusiones llamamos planeo a lo que en inglés se suele denominar como gliding y a veces también sailing, paracaidismo a lo que se conoce como parachuting, remonte al soaring o aspiration, y vuelo de aleteo al flapping.



Vuelo hacia adelante, 42 km/h.  
(velocidad máxima)



Vuelo hacia adelante,  
14km/h.



Vuelo en suspensión



Vuelo en reversa

(12) Movimiento de las alas de un colibrí. En el vuelo hacia adelante, las alas aletean verticalmente para generar empuje hacia adelante. En un vuelo en suspensión, las alas golpean horizontalmente en el patrón de un ocho aplanado. Para volar hacia atrás, el colibrí inclina el ángulo de las acción del ala para crear empuje hacia atrás.

## TIPOS DE VUELO

### PLANEEO:

El planeo es un descenso ligeramente inclinado, con las alas extendidas y quietas, a velocidad constante. En estas condiciones la resultante de las fuerzas aerodinámicas tiene que ser igual al peso del animal.

### PARACAIDISMO:

El planeo con ángulos superiores a 45 grados se considera normalmente como descenso del tipo paracaidista. El paracaidismo es un tipo de vuelo que suelen practicar animales primitivos, como la ardilla voladora, y también algunas aves en determinadas fases del vuelo.

### REMONTE:

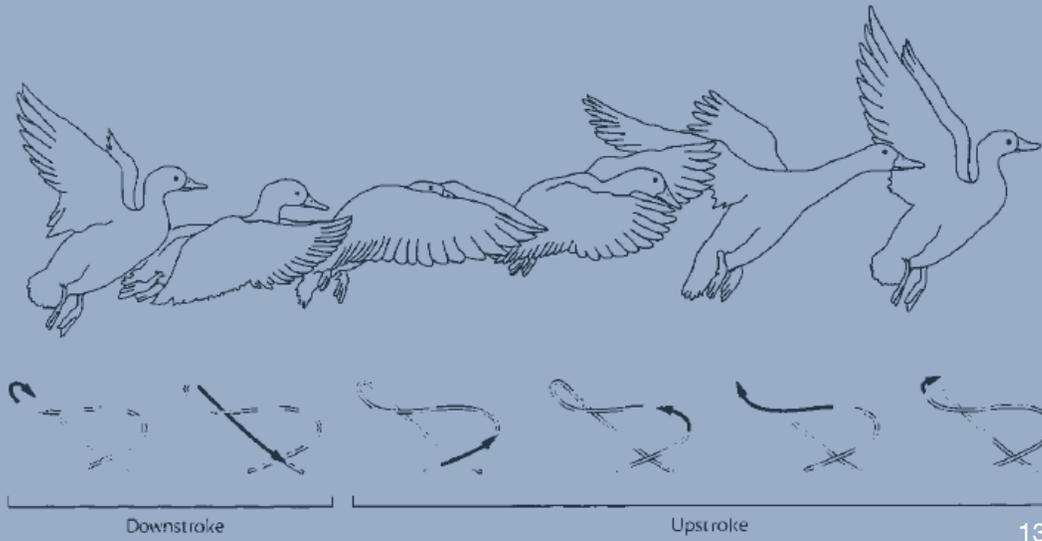
En cuanto al remonte (21), se trata de un vuelo a nivel o en ascenso con las alas extendidas y quietas. Es una forma especial de planeo que únicamente puede darse cuando existe viento con una componente ascendente dados por la concentración de masas de aire de alta temperatura en las partes más bajas.

### ALETEO:

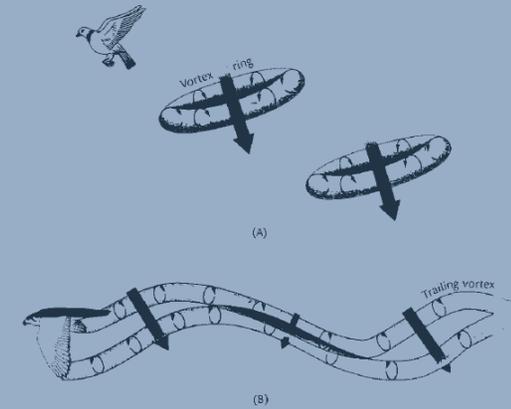
El vuelo de aleteo (22) consiste en desplazarse con velocidad moviendo las alas y este es un modo de vuelo que todas las aves voladoras practican. Durante este vuelo, las puntas de las alas de las aves describen una compleja figura geométrica, que en muchos casos, como el de las palomas, colibríes y patos, tiene forma de ocho. Además, en las aves cabe distinguir perfectamente dos movimientos en las alas: el descendente y el ascendente. El movimiento ascendente suele ser más rápido, dependiendo del ave en cuestión.

### SUSPENSIÓN:

Finalmente hay otro tipo de vuelo, el vuelo en suspensión (22), que no todas las aves son capaces de efectuar ya que exige el consumo de una tremenda cantidad de energía. Mediante este tipo de vuelo, el ave se mantiene suspendida en el aire agitando sus alas. Uno de los problemas que plantea el estudio de esta forma de volar es el enrarecimiento del aire que rodea al pájaro que se ve afectado de forma importante por el movimiento de las alas.



13



14

(13) Movimiento alar completo de un pato. Las secciones de flecha negra trazan el movimiento de la punta del ala durante el movimiento alar.

(14) Aleteo dejando estelas de corrientes de remolinos de aire (A) La fuerza del movimiento descendente del vuelo lento de las palomas produce patrones de corrientes de aire con forma de rosquilla llamados anillos vórtice. (B) El patrón de la estela de vórtices detrás del vuelo rápido de un cernícalo con continuos impulsos integrados de movimientos descendentes y movimientos de recuperación ascendentes.

## EL RECORRIDO DEL ALA EN EL VUELO

Las aves en su vuelo controlado elevan y empujan en patrones complejos, rápidos, y continuos. Ni una aeronave se aproxima a la media de la maniobrabilidad acrobática de las aves. Fotografías de aves en slow-motion durante el despegue, maniobras aéreas, persecuciones y aterrizajes revelan los cambios precisos en la posición de las alas que controlan la orientación del cuerpo y la velocidad en el aire (13).

Las aves rara vez chocan. Aún más importante que la integración de la elevación y el empuje, es el control independiente de cada ala. Acciones asimétricas de las alas permite a un ave dirigir, girar, y torcer. Al aletear con un ala orientada hacia adelante y la otra orientada hacia atrás, la ave puede ejecutar un giro abrupto.

Ajustando las alas en una posición parcialmente doblada reduce la cantidad de elevación, controlando la pérdida de altitud gradualmente mientras se desliza. Al ajustar un ala más atrás que la otra, el ave adiciona curvatura a su trayectoria de deslizamiento.

Poderosos movimientos de descenso seguidos de simples movimientos de recuperación producen aros de turbulencia con forma de rosquilla, aire de remolino, llamados anillos de vórtice, en la estela de la ave voladora (14).



(15) Dibujo de las trayectorias sinusoidales del vuelo de una gaviota.

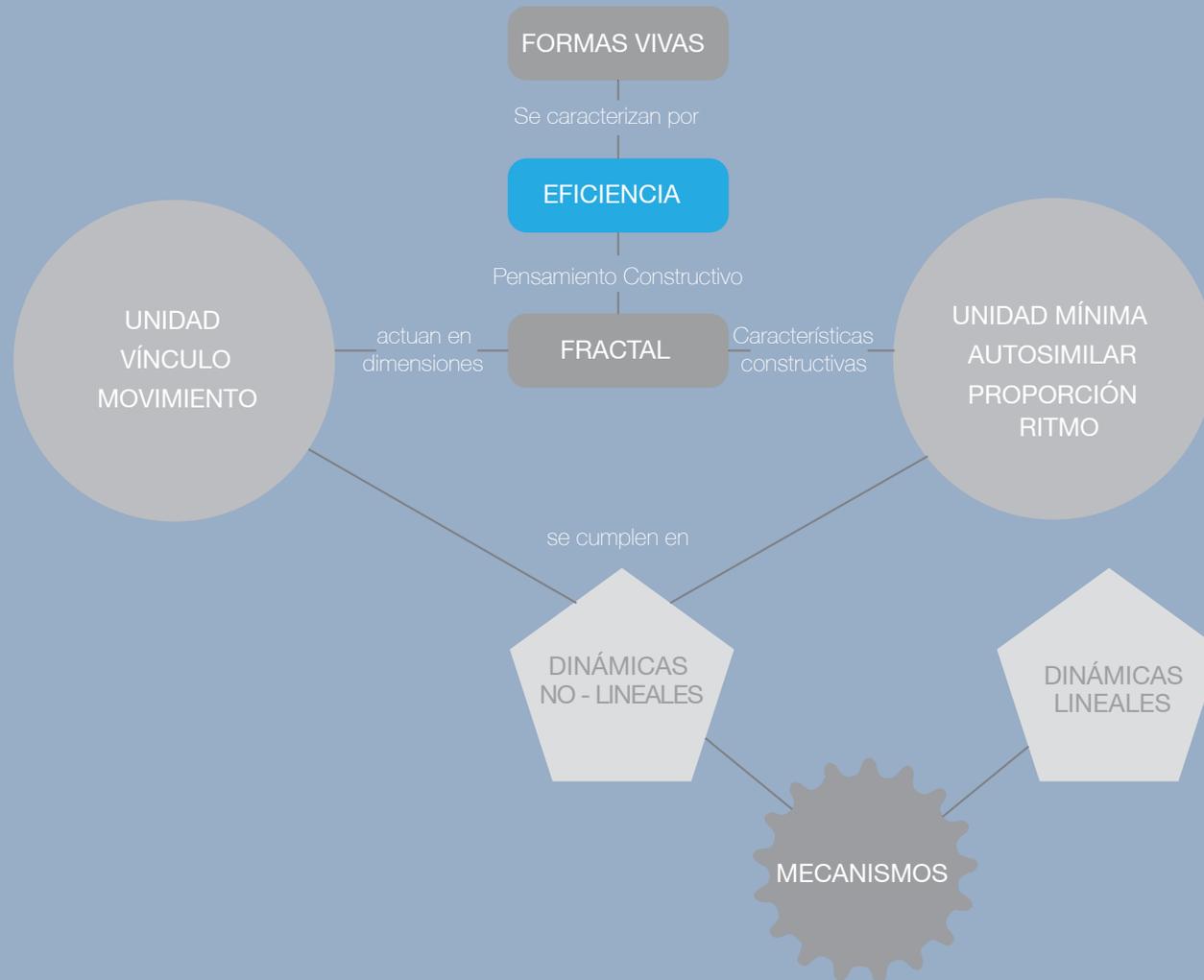
## CURVA SINUSOIDAL DEL DESPLAZAMIENTO

Al hacer un acercamiento en las imágenes de los diferentes tipos de vuelo y por sobre todo en el vuelo de aleteo, se logra identificar con claridad tres grandes trayectorias, las cuales construyen un recorrido sinusoidal (comportamiento de la función seno).

Al dibujar estas trayectorias sobre la fotografía, se observa la construcción de una superficie que vincula estos tres ritmos. Esta varianza de ritmos se explica, en el equilibrio que busca el cuerpo sobre las fuerzas que hace en el ala y por otra parte en las maniobras que se hacen con las alas en determinadas condiciones de la atmósfera.

La principal cualidad que nos permite observar el recorrido sinusoidal del vuelo, es la función tiempo, pues es ella la encargada de deformar el ciclo de dos dimensiones que tiene el agitar de las alas, dándole cuerpo al ritmo.

Para analizar el ritmo, sincronía y geometría de estas trayectorias en profundidad, se propone abstraer a través de mecanismos el movimiento de estas trayectorias paralelas, analizando de este modo los elementos necesarios para componer un ciclo fractal desde el artificio.

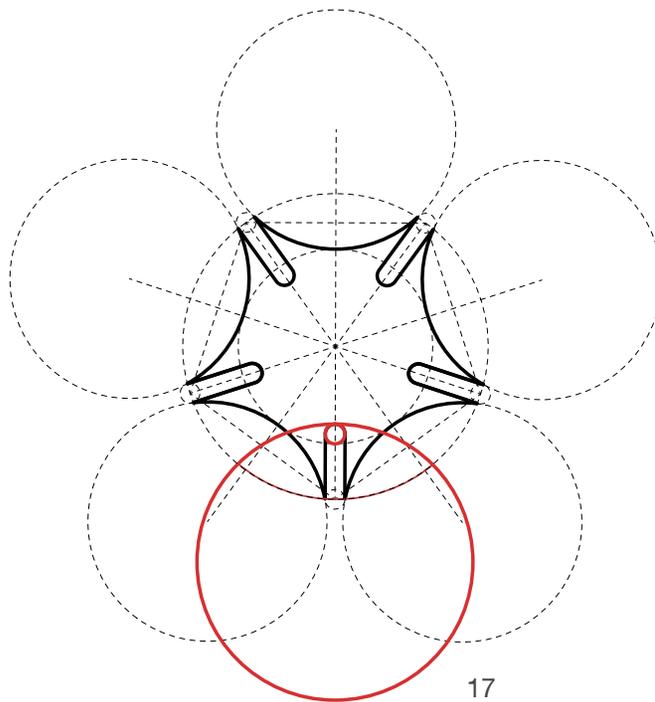


(16) Diagrama recopilatorio del estudio de las formas vivas.

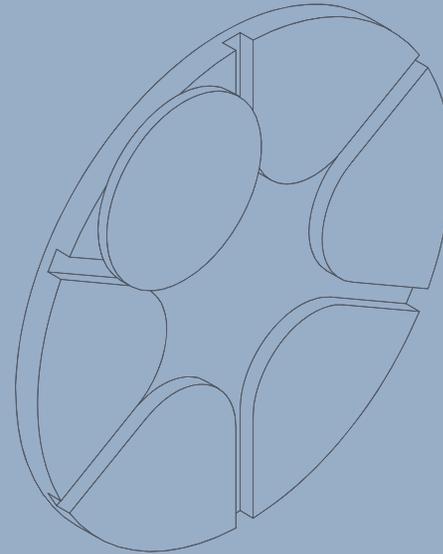
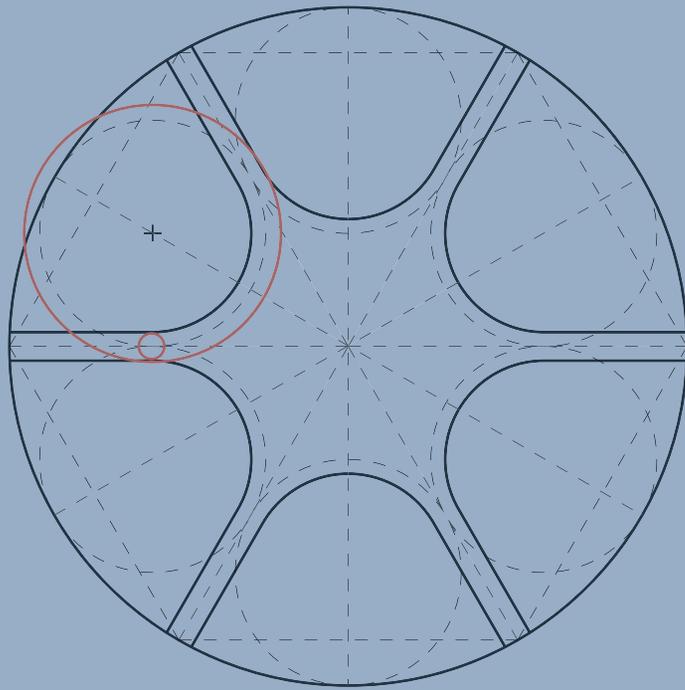
## DEL ANÁLISIS FORMAL AL ARTIFICIO

En el mundo de los elementos fabricados por el hombre, un objeto mecánico, tiene características formales dadas por la interacción que realizan sus partes.

La geometría que construyen los mecanismos esta puesta en función del tiempo, y en específico al ritmo que se quiere construir. Es decir, un sistema mecánico no es en sí mismo, sino que se debe al total; entendiendo éste como el ciclo dinámico proyectado. En estos ciclos se evidencian dos grandes tipos, las dinámicas lineales y las dinámicas no-lineales, siendo las últimas las que conservan mayores rasgos formales del movimiento, no solo en sus características visibles, sino también en las figuras geométricas auxiliares e invisibles que conforman sus partes (17).



(17) Mecanismo paso a paso y su geometría invisible.



18

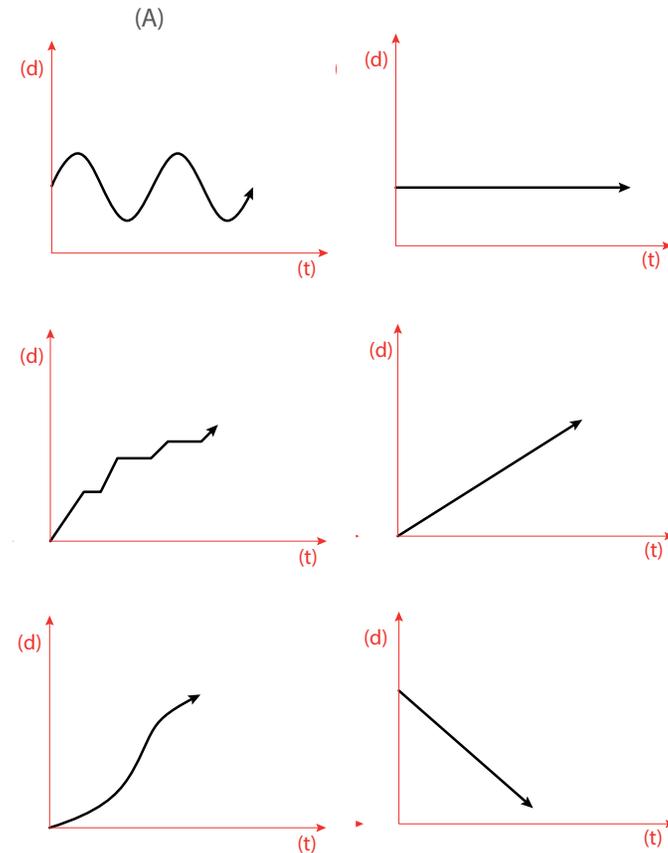
(18) Mecanismo paso a paso que registra en sus líneas auxiliares sus trayectorias de movimiento.

## MECANISMOS, LINEALIDAD Y GEOMETRÍA INVISIBLE

Los mecanismos son la abstracción formal de los movimientos, pues son los encargados de traducir una trayectoria en un elemento con cualidades geométricas simples, en este sentido se identifican dos grandes tipos, los de movimientos lineales y los no-lineales.

Si bien, al graficar el movimiento del recorrido, en función al tiempo, todas las figuras representan una continuidad, las gráficas de movimientos no lineales, resultan más representativas de los movimiento provenientes de la naturaleza, puesto que las cualidades orgánicas de los seres vivos no les permite un comportamiento perfectamente regular, pero del que se puede identificar un comportamiento general.

A su vez, estos movimientos construyen recorridos formales, que en alguna medida se reflejan en las formas de sus partes, Descocomponiendo un movimiento en en varios mecanismos que interactúan entre si, como se observa en los sistemas motrices de los autómatas japoneses karakuri



19

(19) Ejemplos de gráficos lineales(B) y no lineales(A) en relación distancia tiempo.

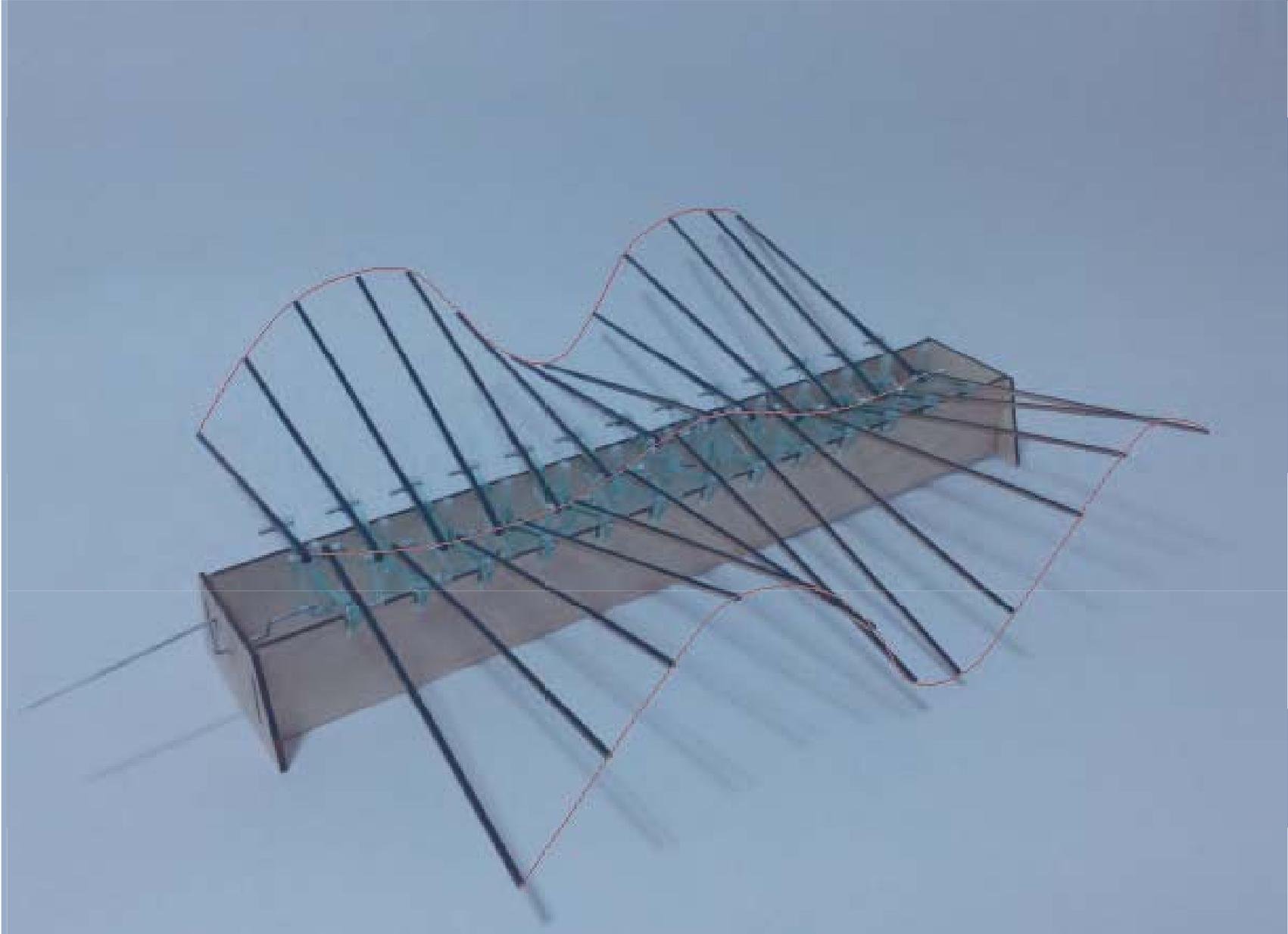


(20) Karakuri de un muñeco que sirve té, de Chahakobi Ningyo. Los Karakuri son autómatas cuyos mecanismos buscan imitar un movimiento "natural" de manera automática y con ritmos lo mas cercanos a la realidad como sea posible, Eran llamados "karakuri", que se podría traducir como "aparatos mecánicos para producir la sorpresa en una persona"



21

(21) Autómata de la Reina María Antonieta realizado por David Roentgen (1782-1784). El mecanismo y diseño detrás de ella es extremadamente extraordinario y complejo: la figura golpea las cuerdas en perfecto ritmo con dos pequeños martillos metálicos sostenidos en sus manos, que se mueven con gran precisión.



Artefacto Sinusoidal del Movimiento, objeto experimental para titulo 2

Para concluir el proceso de título dos, se propone construir un elemento que replique de forma mecánica el movimiento orgánico del aleteo.

Desde aquí se pone la mirada sobre dos grandes áreas:

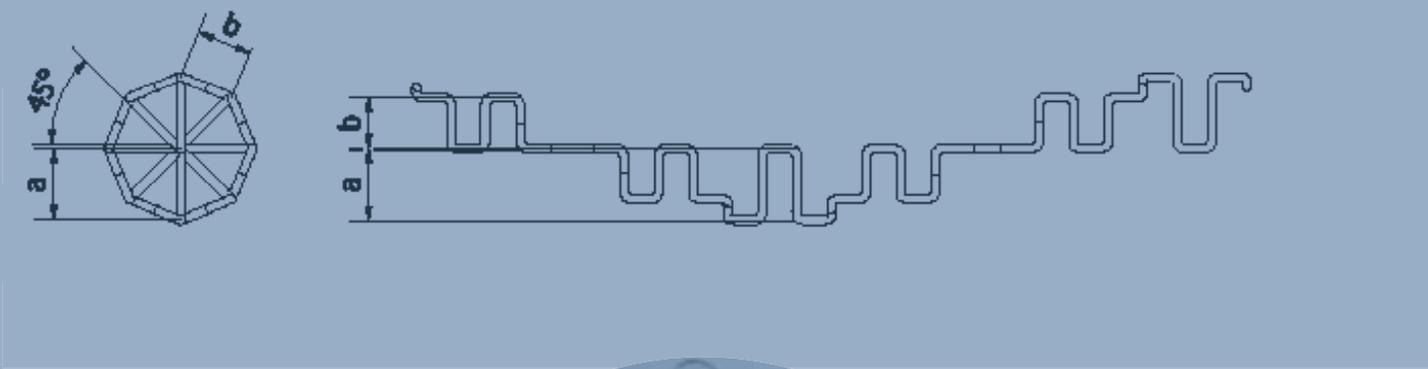
## GEOMETRÍA FRACTAL

Resulta evidente percatarnos de que un elemento mecánico, por muy complejo que pueda ser, tendrá un número limitado de variaciones, de acuerdo al número elementos que inciden en el movimiento final. Convirtiéndolo en un ciclo en sí mismo, con mayor o menor complejidad. Es por esto que decir que un elemento real es fractal, es siempre teniendo en cuenta que el número de iteraciones en la realidad es limitado.

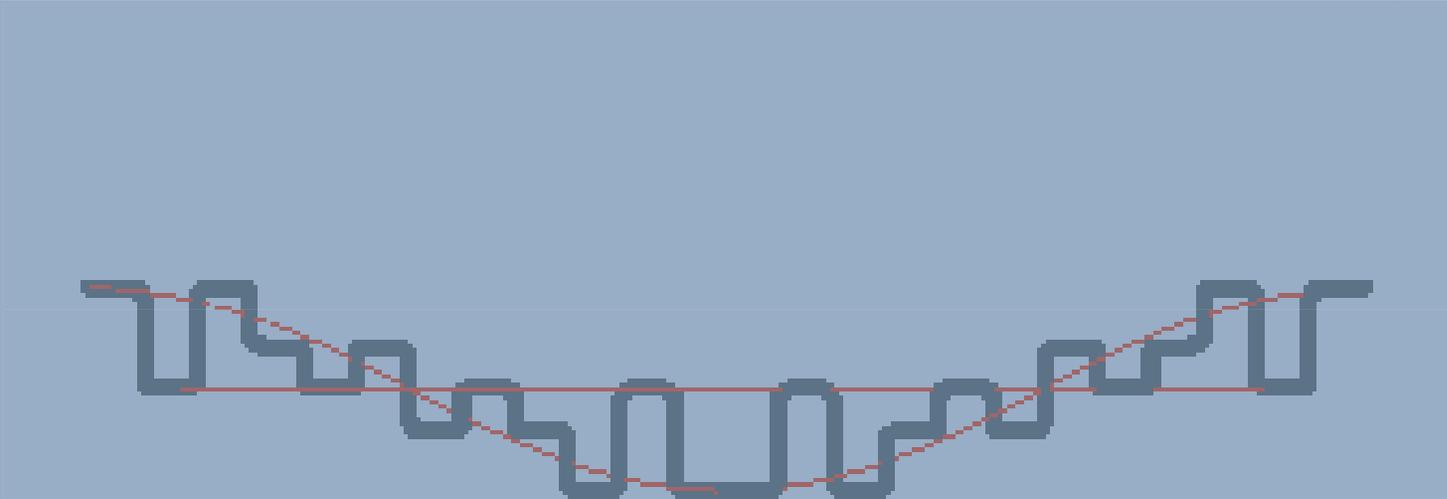
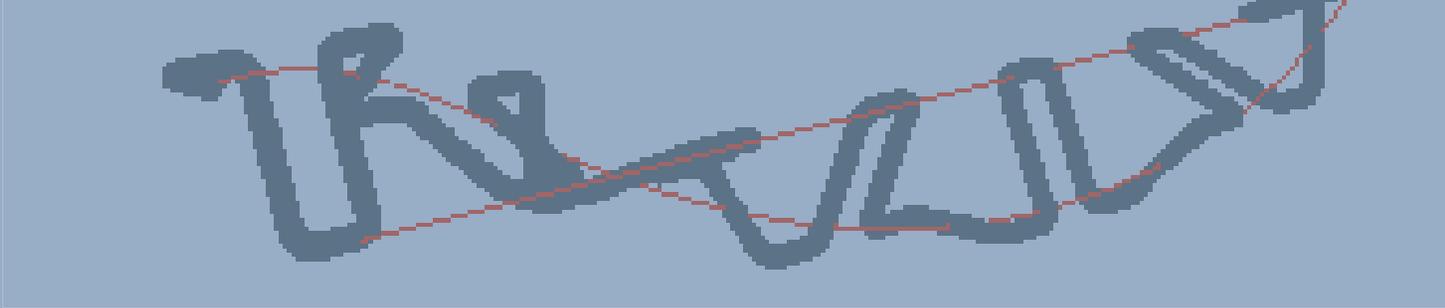
Para la construcción del elemento que replica el vuelo del pájaro, se descompone este en diferentes momentos, los cuales son vinculados con un solo elemento, estilo eje cigüeñal que los vincula y sincroniza.

este elemento, es capaz de plasmar en su forma la variación en X,Y que es igual para todos los aleteos, pero que en cada caso forma parte de un momento distinto.

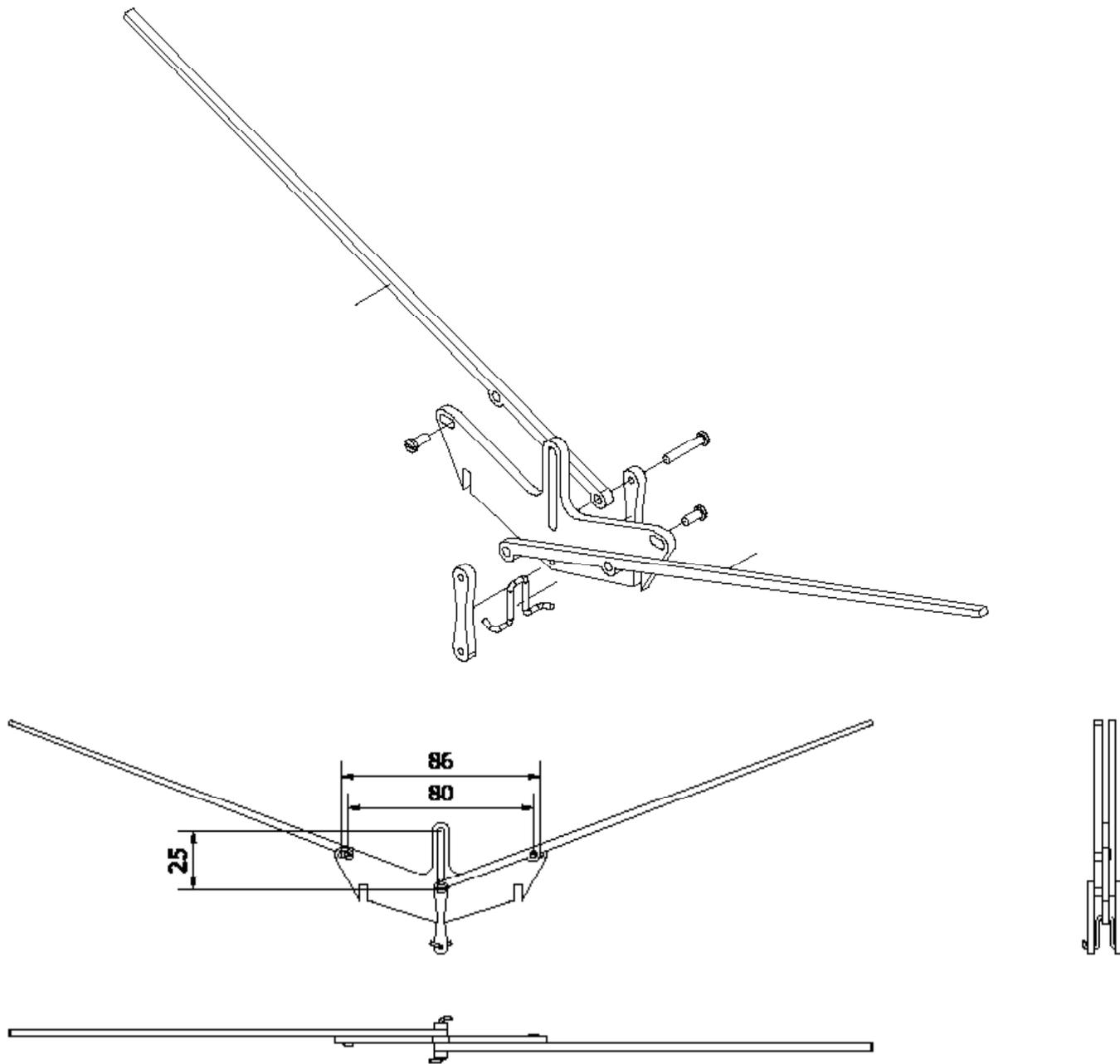
Resulta interesante lograr identificar en este eje un comportamiento fractal, puesto que en sus formas se identifica una unidad formal mínima, un elemento formal que los vincula y una varianza en su comportamiento.



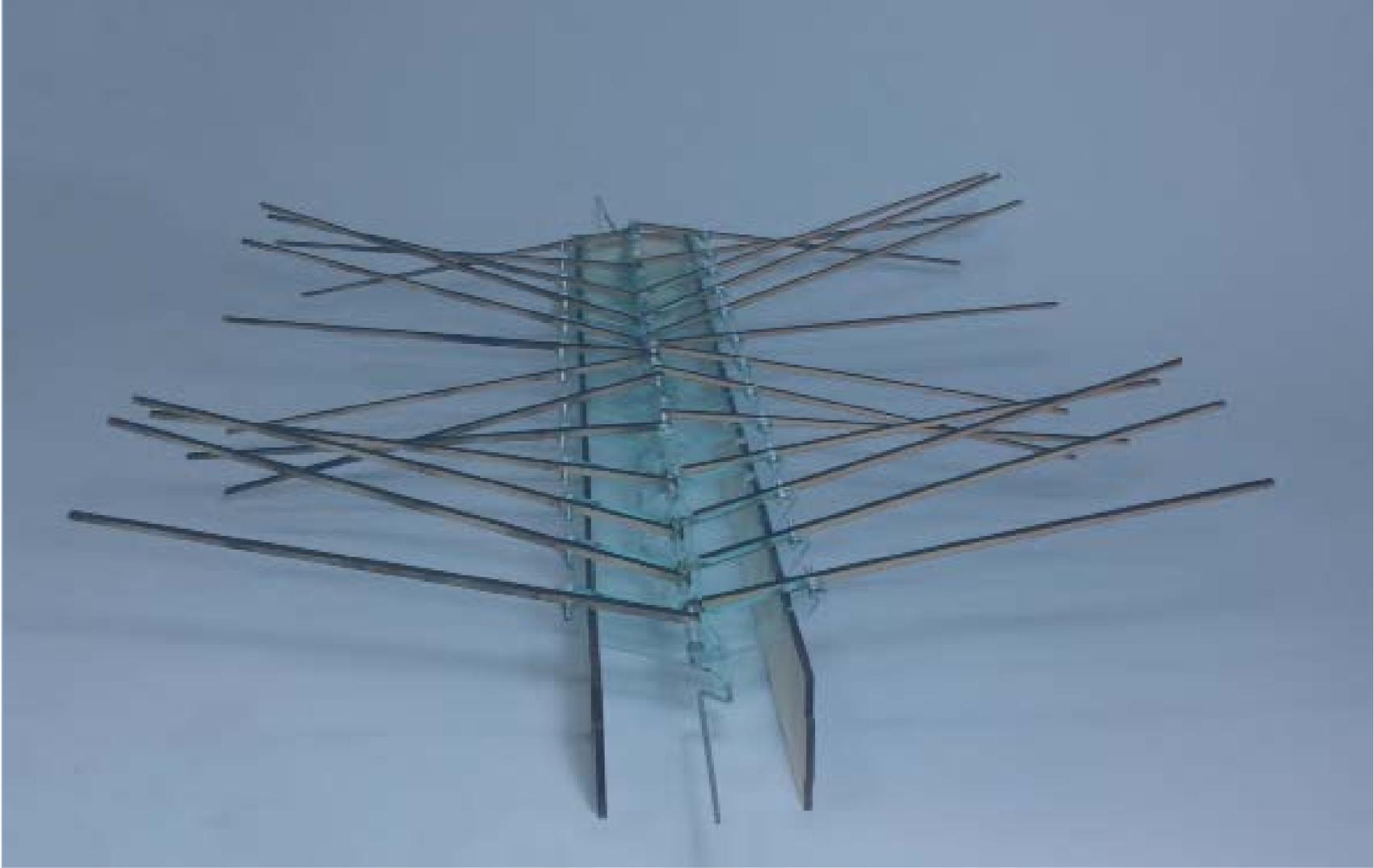
Vista frontal y lateral eje cigüeñal. Proyecto titulo 2



Vinculo sinusoidal de los brazos del eje



Vista en explosión y medidas generales unidad. Artefacto Sinusoidal del Movimiento



Artefacto Sinusoidal del Movimiento, objeto experimental para título 2



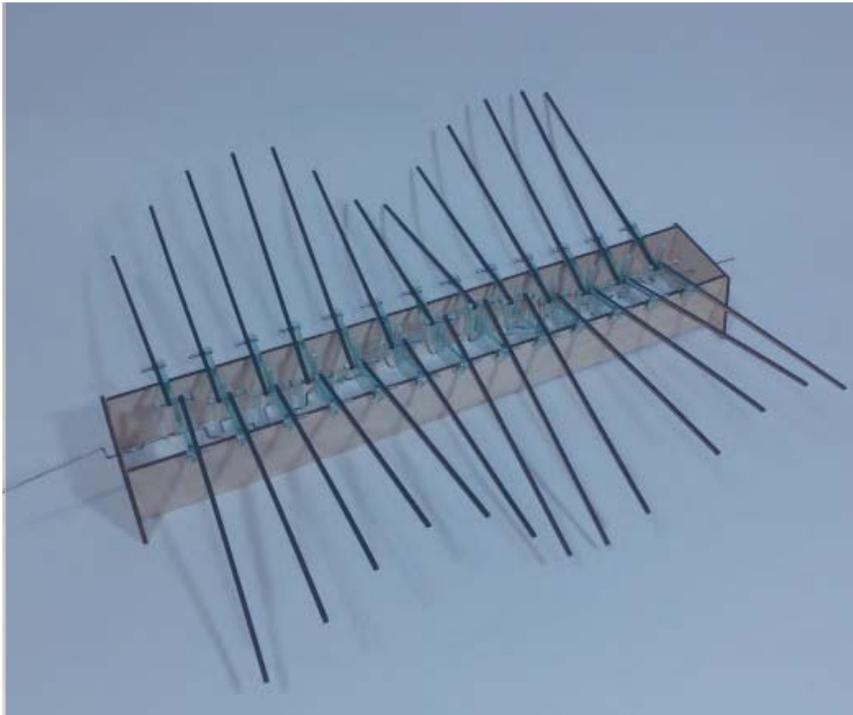
## EFICIENCIA ENERGÉTICA

Si bien, los elementos usados para la construcción, tiene gran margen de juego de las particularidad, se cae en la cuenta sobre el gasto energético necesario para darle movimiento a un sistema que desde su concepción, siempre tendrá pérdidas.

Desde aquí nos hacemos la interrogante, ¿cómo concebir un sistema que pueda construir un ciclo mecánico, pero que la integración de sus partes permite un funcionamiento realmente orgánico?

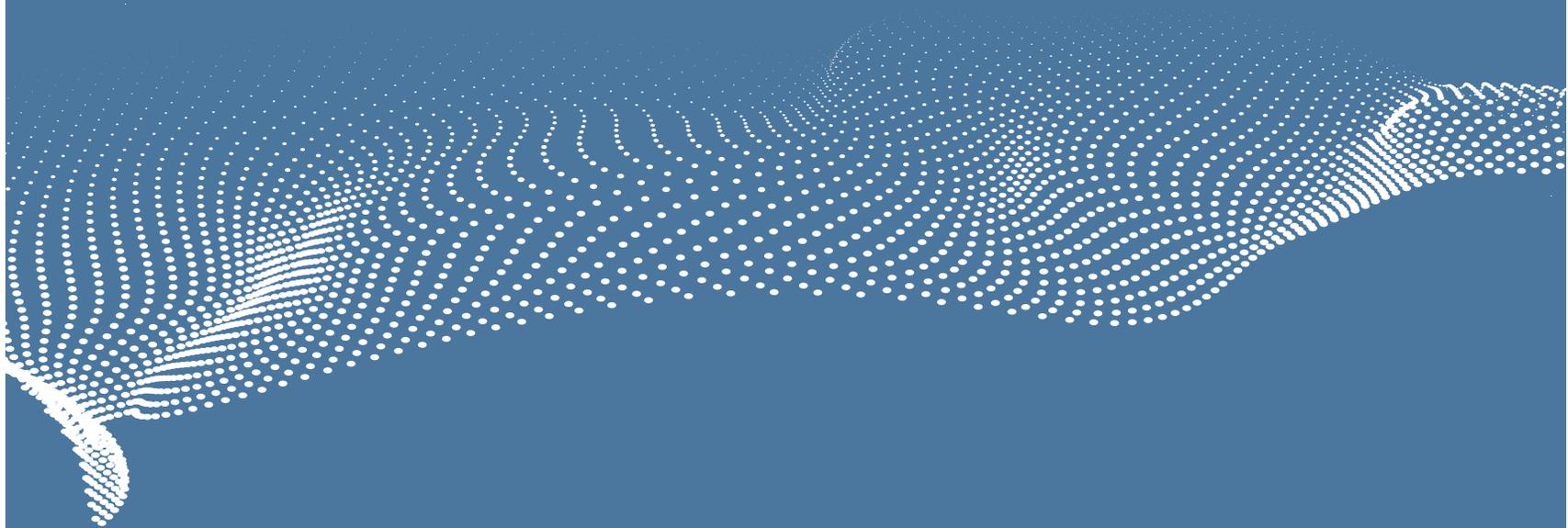
En este sentido, es evidente que cualquier cuerpo que se mueva tendrá roce, pero hablamos de diseñar un elemento que para construir el ciclo complejo, utilice el menor número de pasos posibles.

Anteriormente, mencionamos que el ciclo está directamente relacionado al propósito por el cual fue concebido, es por esto que se propone utilizar esta logica de pensamiento en la construcción de un generador eléctrico que utilice un elemento propio de la naturaleza como fuerza motriz.



# CAPÍTULO 3

[DESARROLLO DEL PROYECTO]





*Si bien, como se declaró en capítulos pasados, nuestra materia de estudio es el movimiento orgánico inserto en las formas, para poder construir un movimiento que sirva para la generación eléctrica, primero necesitamos entender su funcionamiento.*

*En este capítulo introduciremos de forma general los conceptos necesarios para poder crear un generador de inducción electromagnética de imanes permanentes, ayudando y guiando para una correcta selección al momento de decidir la disposición de sus partes.*

*Existe la premisa, de que cualquier motor puede al inducir el giro, generar electricidad, es por esto que se pueden encontrar diagramas comunes entre generadores y motores.*

Dimensions in Inches			Approximate Weight/Lbs.	Grade in MGO
Thickness	Width	Length		
0.045	0.101	0.200	0.0002	35
0.074	0.153	0.467	0.0014	35
0.100	0.130	0.250	0.0008	35
0.100	0.250	0.250	0.0016	35
0.100	0.500	0.500	0.0067	35
0.110	0.260	0.600	0.0045	35
0.150	0.320	1.000	0.0128	35
0.188	0.188	0.375	0.0354	35
0.230	0.230	0.750	0.0106	35
0.234	0.391	0.469	0.0115	30
0.250	0.500	0.750	0.0250	30
0.500	0.250	0.750	0.0250	30
0.500	0.500	2.000	0.1340	35
0.500	1.000	1.000	0.1340	35
0.500	2.000	2.000	0.5340	35
1.000	2.000	2.000	1.0680	35

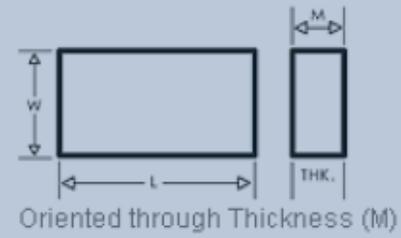


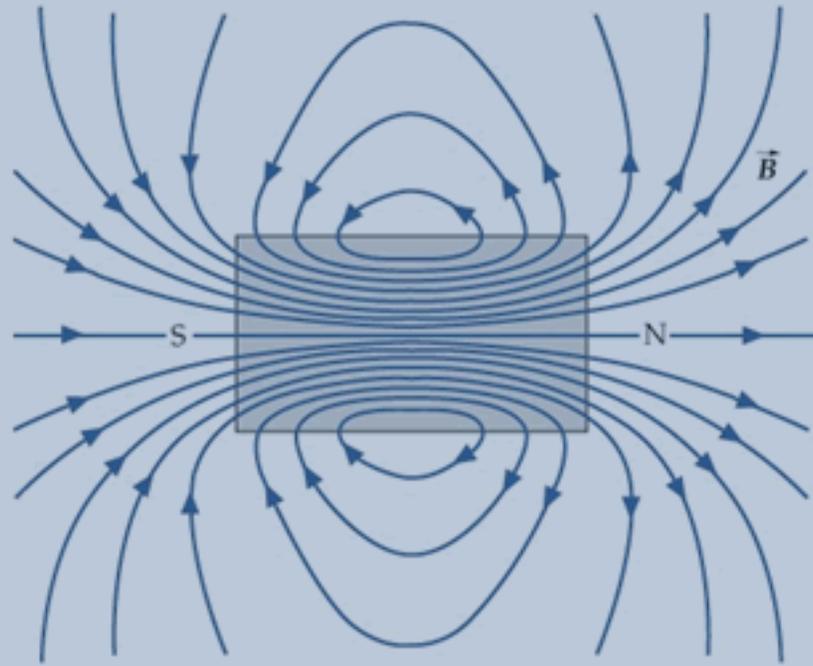
Tabla para imanes de neodimio

## IMANES

El imán de neodimio ha sido un desarrollo tecnológico clave que ha permitido la construcción de alternadores prácticos y eficientes. La alta resistencia del Neodimio es parte de lo que hace que los discos duros de la computadora sean tan compactos. Actualmente el material está disponible comercialmente para todo tipo de propósitos. Muchos de sus tamaños hoy en día disponibles son perfectos para su uso en alternadores "DIY".

Cuando se hacen imanes, los polos magnéticos se "congelan" con un electroimán externo cuando el metal se enfría. Si un imán se calienta demasiado, su fuerza se debilitará.

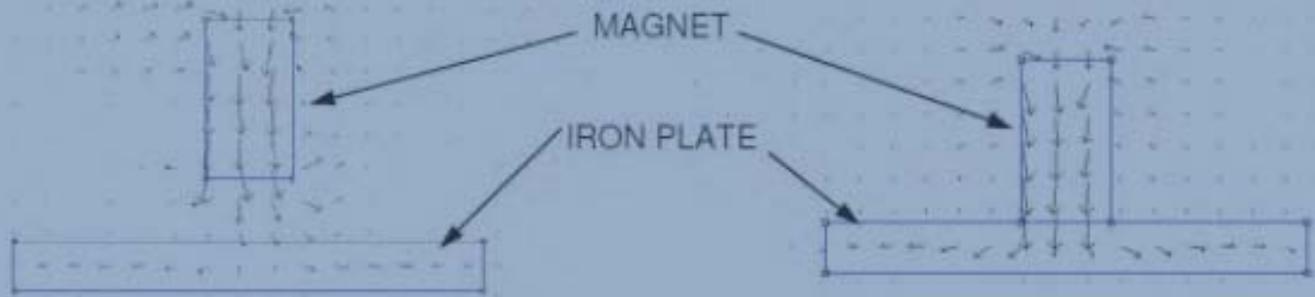




Líneas de campo magnético alrededor de un imán

El "campo magnético" es el término técnico para las líneas de la fuerza que se dibujan a menudo para simbolizar el campo magnético alrededor del imán. La intensidad del campo magnético se mide en Teslas (después del inventor Nikola Tesla), o Gauss (después del matemático). El símbolo "B" se utiliza para la intensidad del campo (como "F" para la fuerza, "W" para el peso). La intensidad B, se hace más fuerte a medida que se acerca al imán, ya que las líneas se acercan.

Siempre hay un Polo Norte y un Polo Sur. Los imanes que se prefieren usar para los generadores tienen polos en las caras con mayor superficie. Los imanes de ejemplo mostrados (numero de imagen pagina anterior) son más planos en una dirección: los polos están en las caras más anchas. Algunos tipos de imanes son más largos en el eje polarizado, pero un alternador de flujo axial es eficiente y más ligero cuando los imanes son lo suficientemente grandes para el trabajo, y no más grandes.



LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE UN OBJETO  
ATRAÍDO A UN IMÁN

LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE UN  
OBJETO EN CONTACTO CON UN IMÁN



Magnetic Repulsion

REPULSIÓN MAGNÉTICA



Magnetic Attraction

ATRACCIÓN MAGNÉTICA



Magnets in Proximity  
(dense field lines)

EN PROXIMIDAD  
(LÍNEAS DE CAMPO DENSAS)

Interacción campos magnéticos

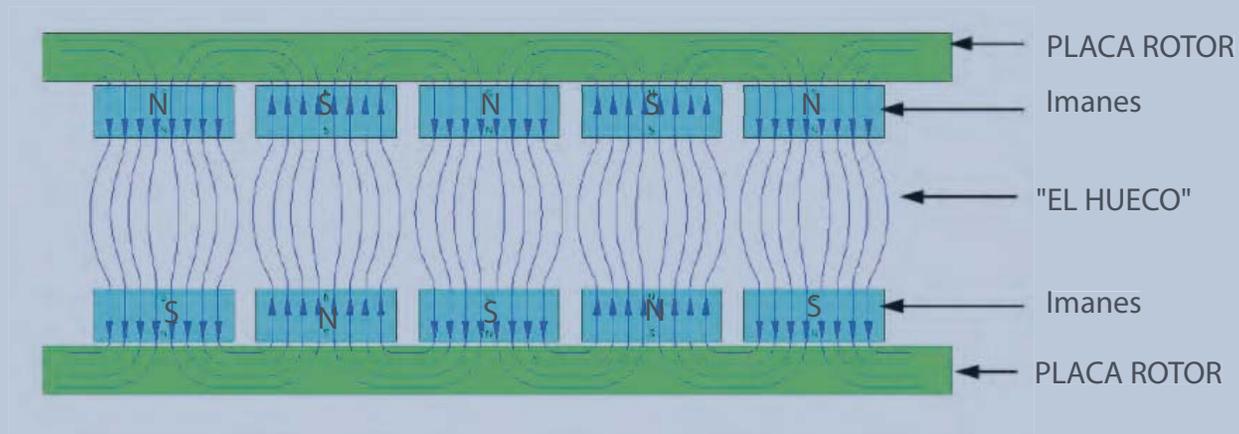
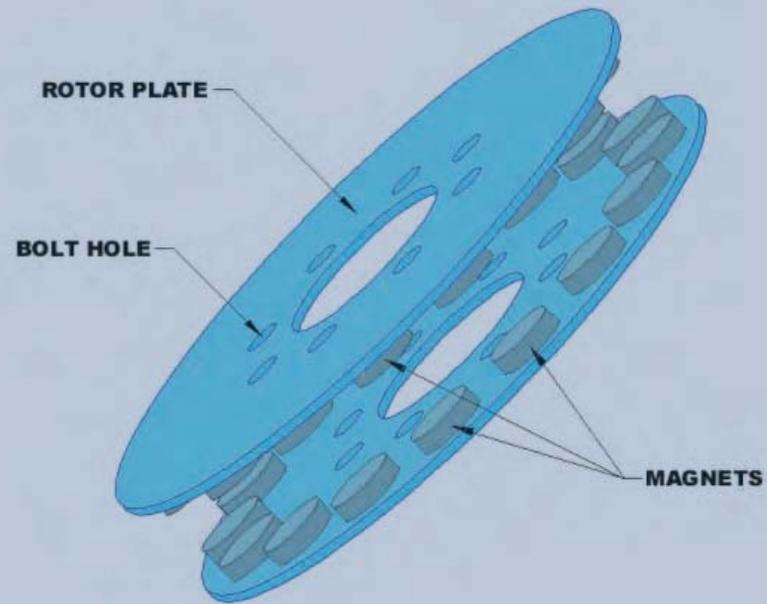
## CAMPOS MAGNÉTICOS

¿Cómo se manipulan los campos magnéticos?. Cuando los imanes son atraídos por objetos metálicos, la atracción puede ser representada por una distorsión de las líneas de campo magnético que se mostró anteriormente. Las líneas se dibujan a ese objeto, de la misma manera que el objeto mismo es dibujado al imán. Cuando el imán se acerca a la placa, las líneas del campo magnético pasan a través de la placa y se hacen más fuertes. El tamaño creciente de las flechas en los diagramas de abajo ilustra esto.

Cuando la placa de metal está en contacto con el imán, las líneas del campo pueden volverse muy concentradas en la placa. Se concentran a ellas mismas en la placa, y si la placa es lo suficientemente gruesa, muy pocas líneas emergen por el otro lado. En cambio a través del propio imán de neodimio, la fuerza magnética no cambia mucho.

En cierto sentido, sostener un imán junto a un plato de hierro es como sostener una pelota sobre el suelo. La bola cae debido a la gravedad, y viene a descansar en una energía potencial más baja. Lo mismo con la pieza de hierro; Una vez que está en contacto con el imán, la energía potencial es menor.

El campo magnético de los imanes es manipulado de esta manera. Las siguientes ilustraciones muestran dos imanes que están muy juntos. Si los polos similares están cerca juntos, entonces las líneas divergen, y el efecto se siente como repulsión. Si sus polos opuestos están juntos, entonces las líneas convergen (atracción). A medida que se acercan, más líneas se acercan, haciendo que el campo sea más intenso.



Rotores de un pequeño alternador de imán permanente

## CONCENTRANDO ENERGÍA MAGNÉTICA

Podemos manipular el campo magnético a nuestro favor al hacer alternadores de imanes permanentes. Concentrando el flujo magnético entre dos polos magnéticos opuestos, y capturando el flujo en planchas de hierro que de otro modo sería desperdiciado, dirigimos tanta energía como podamos a través del espacio entre las caras.

Este sistema de rotores muestra imanes redondos. Esto es común en los alternadores de flujo axial más pequeños, pero a medida que se hacen más grandes, a menudo es más práctico utilizar imanes rectangulares, que están disponibles en tamaños más grandes, y las bobinas de alambre son más compactas. Es importante que los rotores sean de acero o de hierro, de modo que el flujo magnético sea conducido por ellos.

Los imanes están dispuestos en un patrón N-S-N-S alrededor de la circunferencia de los rotores. Los polos opuestos se enfrentan. Si rastreamos las líneas de flujo, se desplazan desde una cara de imán, directamente al imán de la cara opuesta, luego viajan a través de la placa de rotor de acero al siguiente imán y vuelven a cruzar el espacio. Las bobinas de alambre en el “espacio” capturan la energía magnética en esas líneas de campo.

La trayectoria del flujo magnético debe ser más clara con el diagrama (numero de imagen). El flujo se ha concentrado confinándolo entre las placas. El flujo alterna también entre el Norte y el Sur. Una brújula dentro de este hueco a medida que los rotores giran se balancearía frenéticamente. Una brújula fuera de las placas es débilmente afectada, porque los campos han sido confinados.

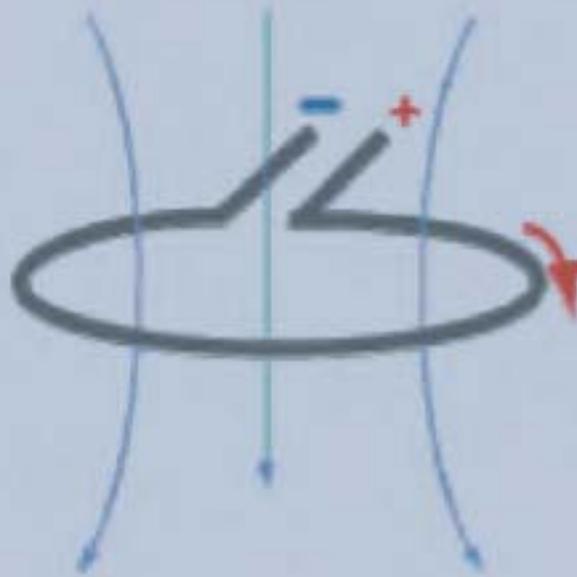


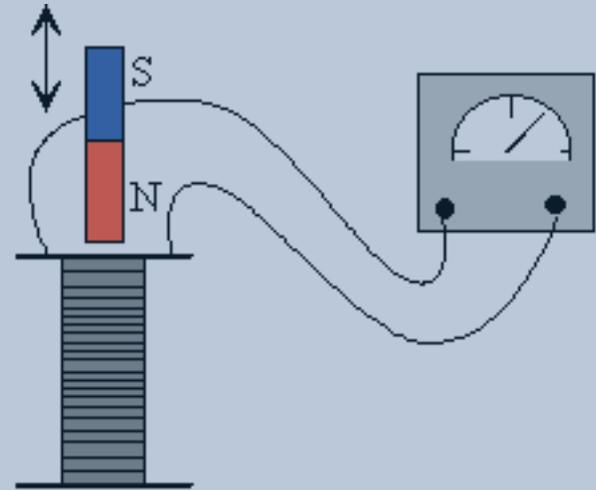
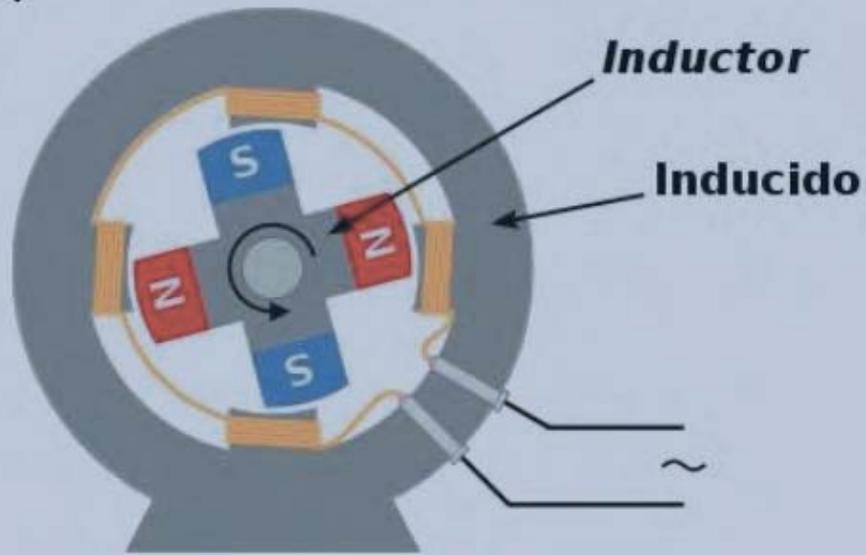
Diagrama alambre de cobre, atravesado por campo electromagnetico

## APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA MAGNÉTICA

Ahora llegamos a la humilde bobina de alambre. No hace mucho por sí sola, pero en presencia de campos magnéticos, suceden cosas interesantes. Un solo lazo de alambre encierra una cierta cantidad de área. El campo que pasa por esta zona es un "flujo magnético"(imagen). Se mide en Webers.

No ocurre mucho cuando el campo magnético circundante está quieto, pero cuando se pone el sistema en movimiento, se genera un potencial de voltaje. Cuanto más rápidamente cambie el campo magnético (mayor o menor), más voltaje se crea.

En realidad, no importa cómo se cambia el campo para que el fenómeno se produzca. Usted puede tener imanes que se acercan, que oscilan hacia adelante y hacia atrás, voltear una y otra vez, o tal vez no se mueven los imanes en absoluto, y en su lugar girar la bobina de ida y vuelta.



generador/alternador rotativo o radial

generador de inducción lineal o axial

En la mayoría de los casos, las bobinas se mantienen fijas, mientras que los imanes giran desde el rotores. Debido a que los imanes estaban dispuestos N-S-N-S, la dirección del campo se mueve cada vez que pasa un imán. Cada bobina ve un campo magnético invertido, y se produce un pulso de electricidad. Cuando el campo retrocede, se crea un pulso de voltaje opuesto. es decir produce corriente alterna.

A su vez, de este mismo modo, un generador lineal. es decir donde la bobina se encuentra paralela o alrededor del imán, al moverse de izquierda a derecha produce una polaridad y al moverse de forma inversa, la polaridad cambia. si esto es repetido como un ciclo, también se producirá corriente alterna

AWG gauge	Diameter Inches	Diameter mm	Ohms per 1000 ft	Ohms per km	Maximum amps for chassis wiring	Maximum amps for power transmission
0000	0.46	11.684	0.049	0.16072	380	302
000	0.4096	10.40384	0.0618	0.202704	328	239
00	0.3648	9.26592	0.0779	0.255512	283	190
0	0.3249	8.25246	0.0983	0.322424	245	150
1	0.2893	7.34822	0.1239	0.406392	211	119
2	0.2576	6.54304	0.1563	0.512664	181	94
3	0.2294	5.82676	0.197	0.64616	158	75
4	0.2043	5.18922	0.2485	0.81508	135	60
5	0.1819	4.62026	0.3133	1.027624	118	47
6	0.162	4.1148	0.3951	1.295928	101	37
7	0.1443	3.66522	0.4982	1.634096	89	30
8	0.1285	3.2639	0.6282	2.060496	73	24
9	0.1144	2.90576	0.7921	2.598088	64	19
10	0.1019	2.58826	0.9989	3.276392	55	15
11	0.0907	2.30378	1.26	4.1328	47	12
12	0.0808	2.05232	1.588	5.20864	41	9.3
13	0.072	1.8288	2.003	6.56984	35	7.4
14	0.0641	1.62814	2.525	8.282	32	5.9
15	0.0571	1.45034	3.184	10.44352	28	4.7
16	0.0508	1.29032	4.016	13.17248	22	3.7
17	0.0453	1.15062	5.064	16.60992	19	2.9
18	0.0403	1.02362	6.385	20.9428	16	2.3
19	0.0359	0.91186	8.051	26.40728	14	1.8
20	0.032	0.8128	10.15	33.292	11	1.5
21	0.0285	0.7239	12.8	41.984	9	1.2
22	0.0254	0.64516	16.14	52.9392	7	0.92
23	0.0226	0.57404	20.36	66.7808	4.7	0.729
24	0.0201	0.51054	25.67	84.1976	3.5	0.577
25	0.0179	0.45466	32.37	106.1736	2.7	0.457
26	0.0159	0.40386	40.81	133.8568	2.2	0.361
27	0.0142	0.36068	51.47	168.8216	1.7	0.288

Tabla de resistencia electrica para filamentos de cobre

El alambre viene en una variedad de tamaños. El diámetro (o "calibre") del cable determina la cantidad máxima de corriente que puede transportar. El cable más pesado puede transportar más corriente que un cable más delgado. El constructor selecciona un tamaño de cable que permite la corriente necesaria para su diseño, pero no mayor.

Si un solo bucle de cable captura una cierta cantidad de voltaje en un campo magnético cambiante, entonces más de esos bucles capturará más voltaje. El constructor querrá muchas vueltas de alambre para capturar tanto voltaje como sea posible. Este objetivo entra en conflicto con el objetivo de permitir más corriente, ya que el cable más pesado toma más espacio. Menos vueltas de alambre pesado, o más vueltas de alambre delgado. El constructor busca un equilibrio para satisfacer sus necesidades. Los constructores experimentados saben por experiencia cómo lograr el equilibrio adecuado.

Coils	Magnets	# Coils Per Phase
6	8	2
9	12	3
12	16	4
15	20	5
18	24	6

En un alternador que produce energía trifásica, un grupo de bobinas está en la corriente de pico mientras que los otros no. Por lo tanto, los imanes se alinean con una sola fase a la vez. En lugar de averiguar cómo se hace esto desde cero, aquí está el truco:

Para cada bobina de alambre en el estator trifásico, hay 1,33 imanes. Número mínimo absoluto de bobinas en un alternador trifásico es de 3 bobinas. Uno por cada fase. Por lo tanto, necesitará 4 imanes. En realidad, eso sería bastante torpe

Tabla ejemplo, numero de bobinas por cantidad de imanes

## ¿MONOFASICO O TRIFASICO?

La conexión de las bobinas tiene una interrogante importante en el diseño del alternador de imán permanente: ¿Habrá 3 fases separadas o sólo 1?

Los alternadores monofásicos son fáciles de conectar - todas las bobinas están conectadas en serie entre sí, y todas trabajan juntas para hacer un pulso grande al mismo tiempo. Mientras que esto es simple, el molino de viento experimenta un "golpe" abrupto por cada pulso. Puede obstaculizar el rendimiento del molino de viento y causar vibraciones perjudiciales. Los constructores todavía utilizan una fase cuando es conveniente, y adaptan el diseño para resistir la vibración. También es más complicado superar la ineficiencia al rectificar ese voltaje para poner DC en una batería, pero se puede hacer.

Una solución más elegante es conectar las bobinas para el funcionamiento trifásico. En cualquier punto dado, sólo un tercio del alternador está en la potencia pick, los otros dos están cayendo o subiendo a su siguiente pick. La vibración se reduce no sólo por tener intensidades de pick de 1/3 de intensidad, sino también por tenerlas 3 veces más a menudo. Al rectificar la potencia trifásica para que se pueda cargar una batería de DC, la corriente también es mucho más suave. El coste de los rectificadores adicionales no debe considerarse un obstáculo. Durarán mucho tiempo si se seleccionan correctamente.

A su vez, el utilizar un sistema trifásico, nos permite usar un filamento mas delgado, puesto que los pulsos de corriente de cada bobina son menores, pero en la suma al momento de ser rectificado se incrementa.

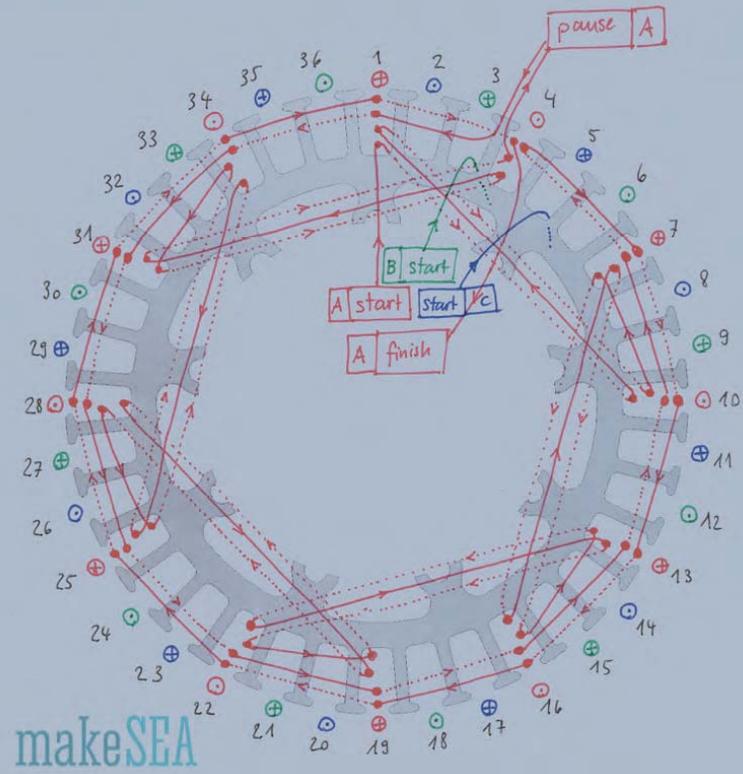


Diagrama bobinado rotor trifasico

Iniciar el cableado con el cable rojo en la ranura # 1. Mantenga 15 cm cable extra, deslice a través de un agujero en el mango de enrollado, y fijarlo con cinta adhesiva. Para todas las 6 bobinas de la capa inferior, hacen 4 vueltas (sólo 2 ilustran en la imagen).

Cuando todos los grandes 6 bobinas de capa inferior se completan con cuatro vueltas en la ranura # 4, hacer una "pausa": es decir, cortar el cable con 1.5 m exceso de cable, doblarlo, y empujarlo en el mango.

Hacer lo mismo con el cable verde a partir de la ranura # 3. El patrón es exactamente el mismo que para el cable rojo a sólo 3 ranuras desplazadas. También pausa después de las bobinas de la capa inferior en la ranura # 6.

Hacer lo mismo con el cable azul a partir de la ranura # 5, y la pausa st ranura # 8

Continuar con el hilo rojo (quitarlo de la manivela), hacer 2 capas superiores: continuar a la ranura # 1 volver dejar 2 ranuras de vacío, vaya delante, deje 2 ranuras de vacío, volver atrás, etc.

Haga lo mismo para cables verde y azul.

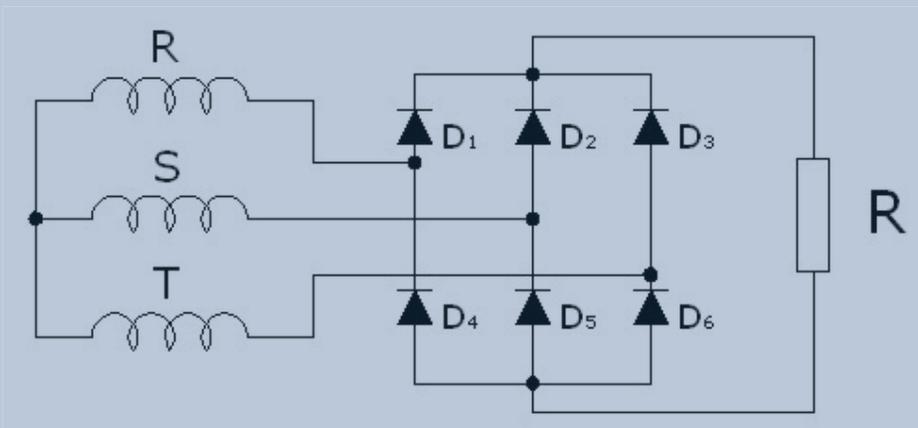
## EMBOBINADO TRIFÁSICO

Daremos un ejemplo de embobinado para un estator de 36 ranuras y 12 imanes.

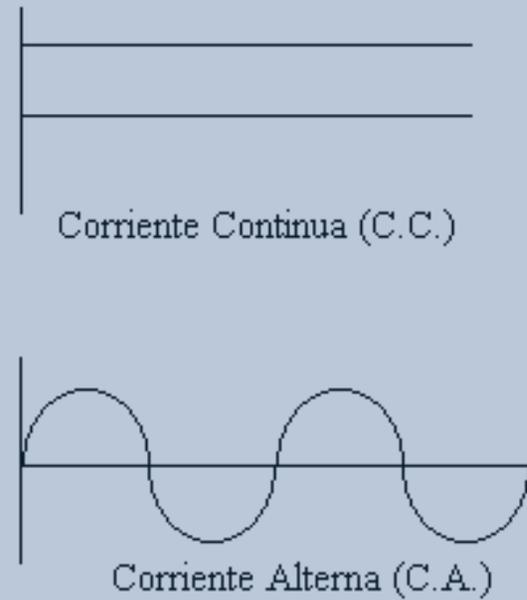
En cada ranura hay finalmente tienen que ser de 6 hilos (la ilustración muestra sólo 4 hilos y solamente la fase A por razones de simplicidad).

El esquema básico es muy simple. Hay tres bobinas resp. Fases (A rojo, verde B, C Azules). En cada ranura de la corriente de todos los 6 hilos necesita fluir en la misma dirección (corriente en direcciones opuestas neutraliza su efecto y no se desea). Las líneas continuas de la ilustración son cables en el primer plano, las líneas de puntos son alambres en el fondo. Los grandes puntos indican los cables en las ranuras, de adelante hacia atrás (o hacia atrás). El "mas" en el círculo indica la dirección de adelante hacia atrás, el "punto" en el círculo indica la dirección opuesta.

Hay 4 inferiores vueltas de capa (solamente 2 se ilustran), y 2 vueltas capa superior (como se ilustra).



Circuito de rectificación de corriente trifásico



Circuito de rectificación de corriente monofásico

## RECTIFICADORES DE CORRIENTE

En electrónica, un rectificador es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, su disposición dependerá del tipo de bobinado utilizado para la generación eléctrica, es decir que para un generador monofásico(imagen) el circuito será diferente que para un generador trifásico(imagen).

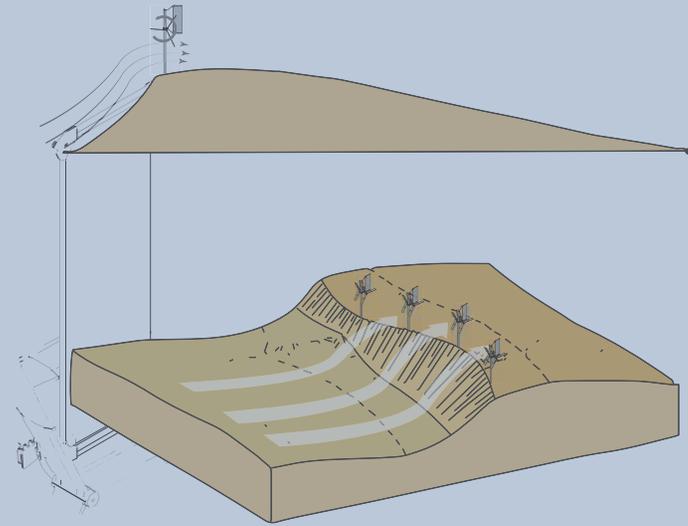
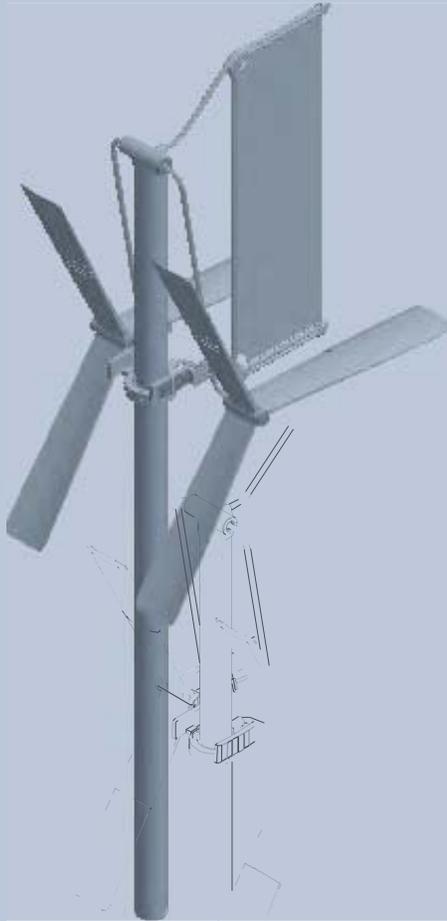
En la imagen (numero imagen) se observa la representación gráfica de estas corrientes.

En la construcción de un cuerpo capaz de con su movimiento crear un ciclo complejo para generar energía, se apuesta por un generador de inducción lineal de imanes permanentes y con un rotor de balance variable como cuerpo motriz.

Principalmente se utiliza el rotor de balance variable pues para la excentricidad de su forma le permite generar una vibración, que al ser canalizada de la forma correcta, nos permite generar el movimiento lineal sin tener que engranar con otras partes.

A su vez, la elección del generador lineal, está dada porque es bien sabido en el mundo de la física que aprovecha de mejor forma los campos magnético, el problema más común, es que no existen elementos que en su funcionamiento sean eficientes para impulsarlo.





Vista isometrica generador de doble brazo oscilante

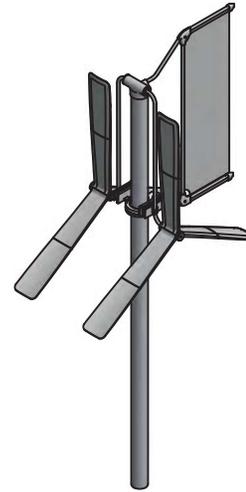
Movimiento ascendente del viento al borde de la duna

## ROTOR EN FUNCION AL VIENTO

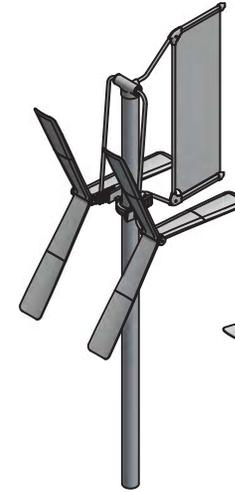
Los rotores se dispusieron para enfrentarse a el viento anabático (ascendentes) que provienen de la parte inferior de las dunas hacia su cresta. este viento se caracteriza porque sopla ascendentemente por una pendiente montañosa. Se la conoce también por "brisa de valle". Vientos que ocurren durante el día, con tiempo soleado en calma. Una elevación ó montaña con calor de transferencia ó radiatividad, calentado por el sol, que hace mover el aire circundante; y como el aire del valle no se calienta como el del alto, entonces se produce un viento húmedo y fresco que se eleva por una ladera y que a su paso se condensa provocando la formación de nubes de tipo lenticular en la cima. Es un fenómeno de convección. Se crea una región de más baja presión, que hace que el aire fluya hacia esa región, causando viento.



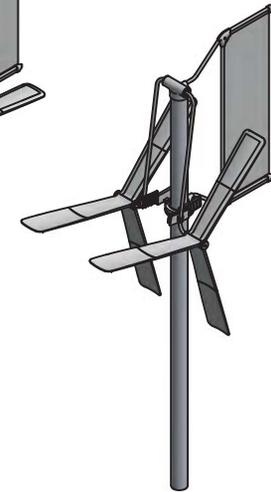
MOMENTO 1



MOMENTO 2



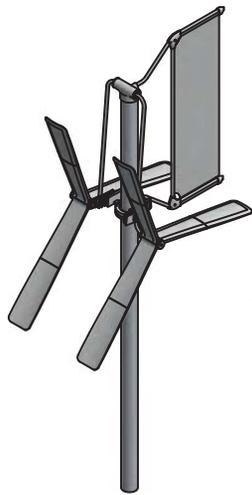
MOMENTO 3



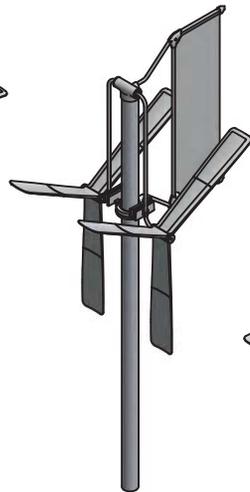
MOMENTO 4

Para el final de las pruebas de este generador, se logró alcanzar un rendimiento de alrededor de 5 watts de potencia, lo que para un generador de esta envergadura, es aceptable. Más aún poniendo en consideración que es materia de desarrollo para alguien entendido en el campo.

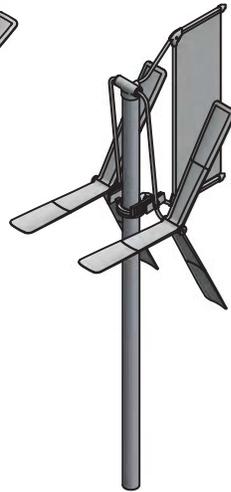
Es por esto, que en la disposición del rotor sobre el generador, el viento golpea desde la parte inferior. Provocando el primer impulso hacia la parte posterior, desde donde luego, por la geometría del rotor, logra volver, posicionándose al otro extremo de las bobinas.



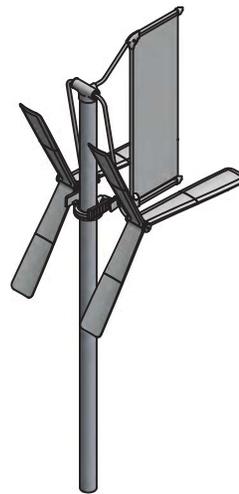
MOMENTO 5



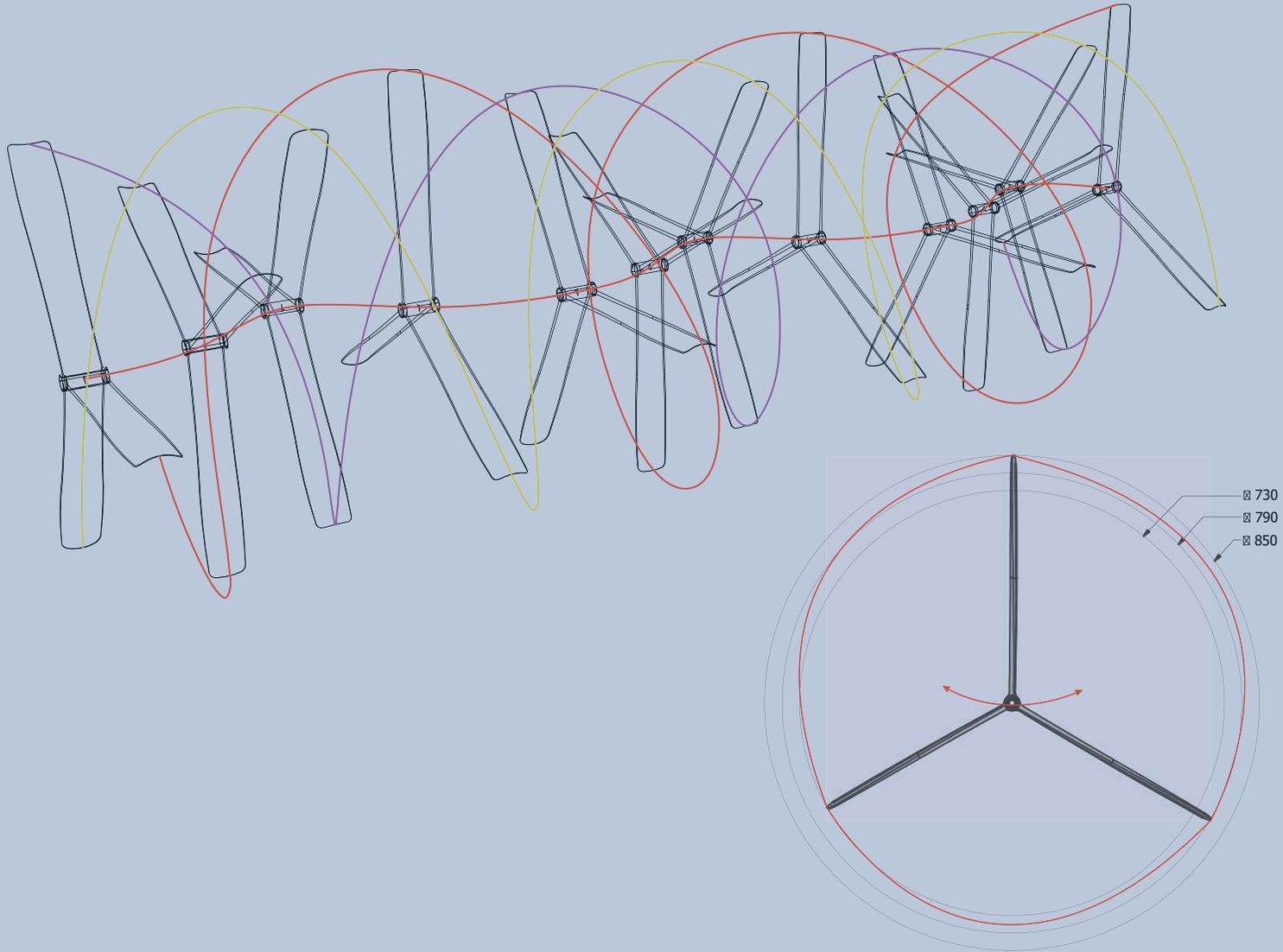
MOMENTO 6



MOMENTO 7



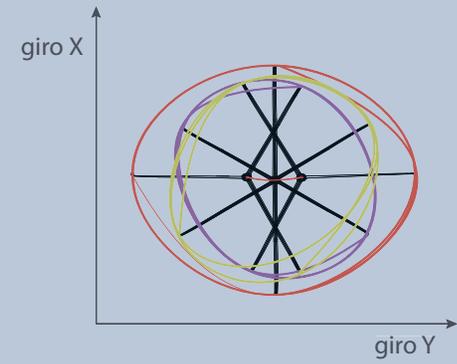
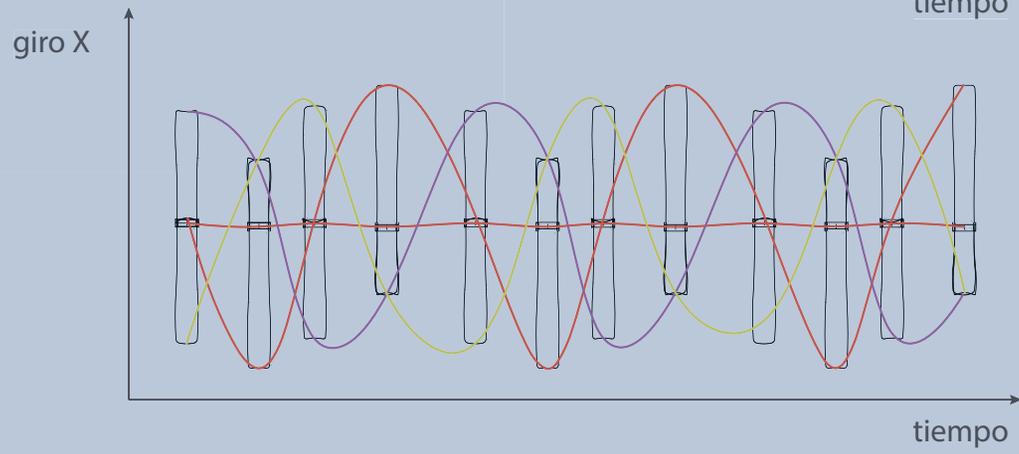
MOMENTO 8



Trayectorias alabes en vista axonometrica

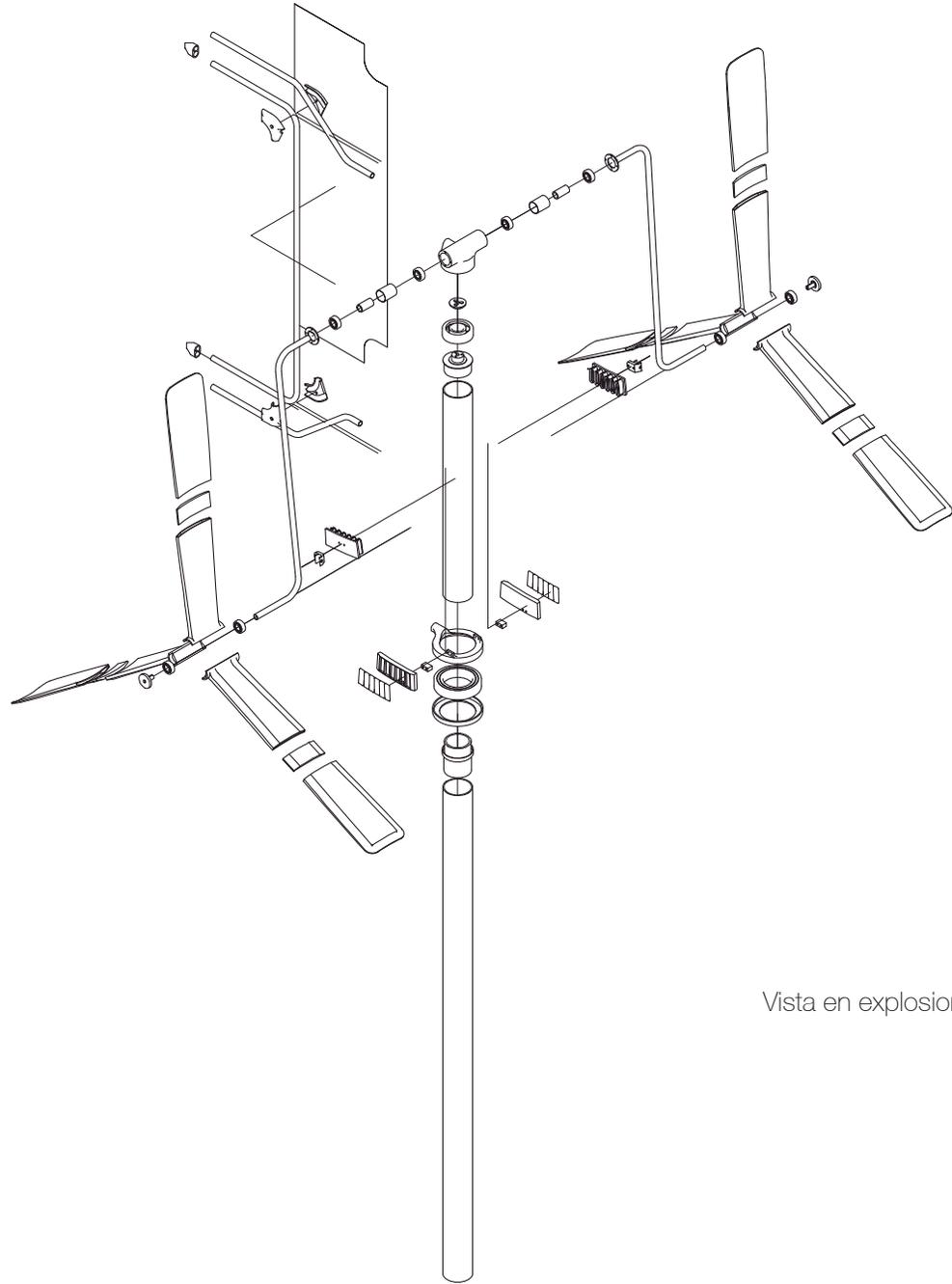
Para hacer evidente el ciclo del rotor en función del tiempo, ideamos una representación gráfica que vincula los momentos del rotor considerando a su vez, el tiempo en que tarda en llegar a esa posición y la oscilación que esto provoca sobre el brazo que lo sostiene. Para esto se hace necesario hacer un gráfico tridimensional, que vincule el desplazamiento con la coordenada tiempo.

Las líneas auxiliares de color rojo, amarillo y morado, muestran el recorrido que realiza cada álabe del rotor, haciendo evidente un ciclo que es bastante más complejo que el de un rotor convencional.

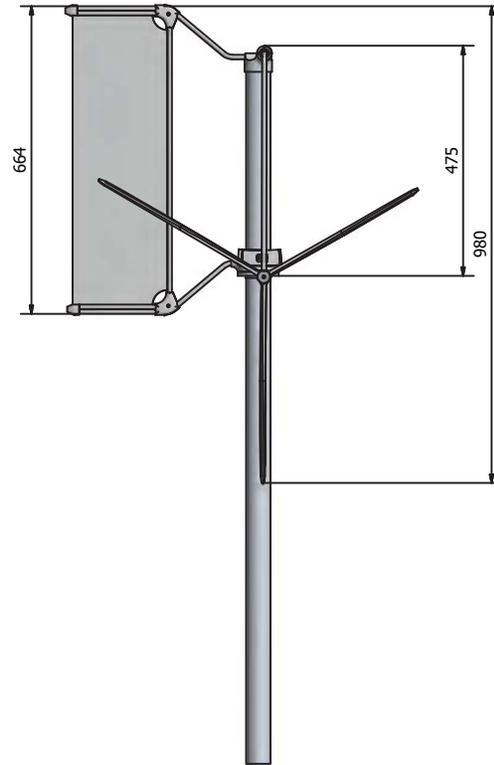
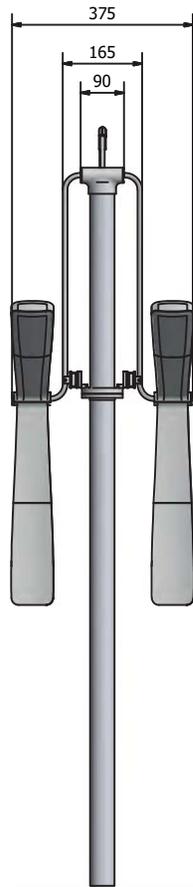


Vistas momentos trayectoria movimiento rotor

Del mismo modo en que se puede representar el movimiento en tres dimensiones, al mismo estilo de los planos, se puede representar esto en dos dimensiones, haciendo visible la carrera de cada elemento desde variadas perspectivas ofreciéndonos información más rica e analizable. por ejemplo, la coordenada tiempo, hace referencia a la velocidad que tarda en llegar al siguiente momento, es por esto que se puede decir que la velocidad que tiene el rotor no es constante. Paralelamente la coordenada "giro X" e "giro Y" muestra el desplazamiento cartesiano en X e Y respectivamente.



Vista en explosion generador



Medidas generales generador eolico de brazos oscilantes







75\_[Desarrollo del proyecto]











## CONCLUSIÓN

Al concluir este primer acercamiento a un generador con un cuerpo motriz de geometría variable, se advierte que probablemente no sea la forma más eficiente aún para este tipo de generador y que seguramente se puede depurar más la geometría en términos formales y de balance. Pero sin duda abre la interrogante sobre si para construir un sistema mecánico de un ciclo relativamente complejo, se puede disminuir el trabajo necesario a través de la incorporación de cuerpo con un desbalance controlado.

Por otra parte, la posibilidad de explorar en materias como el fluido del viento o la inducción electromagnética, entrega más coordenadas y consideraciones que a primera vista no parecen estar presentes en aspectos formales y funcionales, pero que sin duda abren el espectro del diseño hasta ahora presentado a lo largo del ciclo de pregrado.

Para este proyecto queda la invitación hecha para quienes quieran explorar de los ciclos motrices y mecánicos, la generación de energía y la eficiencia energética.

## BIBLIOGRAFIA

- Mandelbrot, Benoit. "La geometría fractal de la naturaleza"; Francia, Tusquets Ediciones, 1982.
- Gill, Fank B. "Ornithology"; New York, 3ra Edición, W. H. Freeman and company, 2007.
- Escarti, Francisco. "El secreto de los pájaros"; Granada, Dauro Ediciones , 2012.
- Davey, Laura(productor) y Lachmann, Michael (director). 2013. "The Code" [Documental], Inglaterra, BBC Londres.
- Bou, Xavi. "Ornitographies"; <http://www.xavibou.com/index.php/project/about-ornitographies/>
- Steven Fahey. "Basic Principles Of The Homemade Axial Flux Alternator"; <http://www.heliciel.com/Library/generateur%20eoilenne%20flux%20axial.pdf>
- make sea. "3d print brushless-motor"; <https://www.makesea.com/web/claimer/brushless-motor>

## COLOFÓN

Esta carpeta fue impresa  
en papel hilado N°6  
con impresión Láser  
en Junio del 2017

La tipografía utilizada es Helvetica Neue  
en toda su familia.