

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL RELOJ
DE ENGRANAJES DE MADERA
“COLUMBRETES”



por
PEDRO EISMAN CABADO

- 2023 -

INDICE

1. INTRODUCCION.....	2
2. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN RELOJ	
2.1 El Péndulo.....	4
2.2 Las paletas y el escape.....	7
2.3 El tren de engranajes y el grupo motriz.....	9
3. DISEÑO	
3.1 Idea original y principios básicos.....	13
3.2 Coronas, piñones, paletas y escape	14
3.3 El péndulo.....	16
3.4 El dial.....	18
3.5 La estructura vertical.....	18
3.6 El brazo motor.....	19
3.7 Manecillas.....	20
3.8 Ejes, soportes, arandelas y otros elementos accesorios	21
3.9 La base.....	22
3.10 Simulación del ensamblado y consideraciones finales.....	23
4. CONSTRUCCION	
4.1 Preparación.....	23
4.2 Materiales, herramientas y acabados.....	25
4.3. Incidencias durante la construcción y el ensamblaje. Cambios al diseño original.....	30

1. INTRODUCCION

Recuerdo que siendo joven, tendría yo unos 12 años, me quedé hipnotizado cuando entré en casa de un amigo y vi un bonito reloj en su recibidor. Era un reloj de engranajes de madera. Nunca había visto algo parecido.

Aunque mis conocimientos técnicos por aquel entonces eran escasos, tenía alguna experiencia en cortar madera de contrachapado con una serreta, actividad que desarrollábamos en el colegio en la asignatura de “pretecnología”. Sin que remotamente pudiera entender el funcionamiento de aquel mecanismo, el hecho de que aquel reloj fuera todo de madera me dejaba perplejo ¿Cómo habrían sido capaces de cortar esos engranajes y ensamblarlos con lo difícil que a mi me resultaba hacer un muñequito articulado? ¿Cómo era posible que aquel reloj pudiera dar la hora? Aquel recuerdo se me quedó grabado para toda mi vida.

Con los años adquirí los conocimientos técnicos para entender “cómo funcionan las cosas” lo que unido a cierta habilidad innata hacía las manualidades me hizo aficionarme al modelismo naval. Durante más de 30 años he construido más de 20 modelos, los primeros a partir de maquetas y los últimos sobre planos o incluso basándome en fotografías. Pero llegó un momento en el que decidí que era necesario dejarlo. El modelismo naval es una “droga dura”. Hacer un barco puede llevar de 12 a 18 meses y te roba el tiempo sin darte cuenta.

En diciembre del año pasado volví a recordar aquel momento en el que vi el reloj de madera en casa de mi amigo. Me pregunté, “¿por qué no intento hacer uno?, no creo que sea más difícil que construir un barco”. Así que me puse a navegar por internet hasta que tropecé con la página de Clayton Boyer, un americano que diseña relojes de madera y que vende sus planos a través de su web.

Tras analizar los diseños que tenía publicados, me decidí por su modelo “Swingtime”. El reloj tenía que ser de sobremesa ya que no tengo espacio en casa para un reloj de pared. Adquirir los planos solo me costó unos pocos euros y su construcción me llevó poco más de cuatro semanas sin trabajar muy duro. “Vaya, pues no es tan difícil hacer un reloj de madera y tampoco lleva tanto tiempo”, me dije. En cualquier caso, estaba muy satisfecho con el resultado.

Colgué un video en Youtube donde explico los detalles de la construcción y del funcionamiento de este reloj. Se puede visualizar en el enlace adjunto:

<https://www.youtube.com/watch?v=thno5MnAk4w&t=1s>

A pesar de que la experiencia fue satisfactoria no era del todo completa. Aunque había conseguido llevar a cabo un proyecto con el que ni podía soñar en mi juventud, la realidad es que solo había replicado el diseño creado por otra persona. Equiparando esta situación con la del modelismo naval era como haber construido una maqueta comercial que viene con sus instrucciones detalladas de cómo hay que construir el modelo. Solo es una copia más.

Con este paso a paso que comienzo a redactar ahora pretendo documentar el diseño y la construcción de un reloj de engranajes de madera completamente desde cero. Mi intención es diseñar y fabricar por mí mismo todas y cada una de las piezas, al igual que hice con mis últimos modelos de barcos.

Hace unos días hice una inmersión en Fusion 360. Estoy convencido que con la ayuda de este programa de diseño y con todos mis conocimientos y experiencia seré capaz de conseguir este objetivo.

Hoy es 16 de febrero de 2023, ¡en unas semanas se verá el resultado!

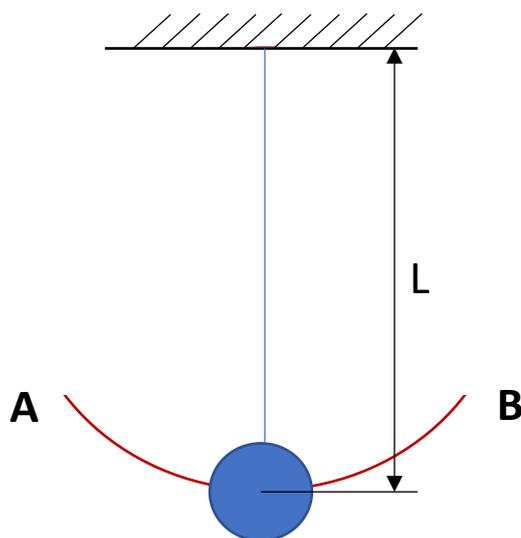
2. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN RELOJ

El mecanismo de funcionamiento de los relojes tradicionales es relativamente sencillo. Básicamente consiste en un conjunto de componentes que interactúan entre sí y que son los siguientes:

- El conjunto formado por el péndulo, las paletas y el escape.
- El tren de engranajes.
- El mecanismo que otorga la energía o el empuje al tren de engranajes.

2.1 El péndulo

La misión del péndulo es la de determinar el “periodo” o “pulso” que establece el tiempo que tardan en moverse los diferentes mecanismos del reloj.



En el dibujo anterior, el periodo es el tiempo que la bola azul invierte en ir y venir al punto “A”.

La fórmula que define dicho periodo (T) es la siguiente:

$$T = 2 \pi \sqrt{L/g}$$

Siendo L la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

Como se aprecia en la ecuación, el periodo del péndulo no depende de la masa de la bola. Ahora bien, la longitud del péndulo L es la distancia entre el punto de giro y el centro de masa de la bola. Aunque la masa o peso de la bola no tiene impacto en el periodo, es importante conocer donde se ubica su centro de masa. En este caso es muy fácil ya que ese punto es justo el centro de la bola azul.

Nos referiremos a pulso P como a la mitad del periodo T, es decir, lo que tarda la bola en ir desde “A” hasta “B”. Si despejamos la longitud del péndulo en la ecuación anterior obtenemos lo siguiente:

$$L = P^2 g / \pi^2$$

De esta forma si queremos, por ejemplo, diseñar un péndulo con un pulso de un segundo, entonces la longitud que necesita el péndulo es:

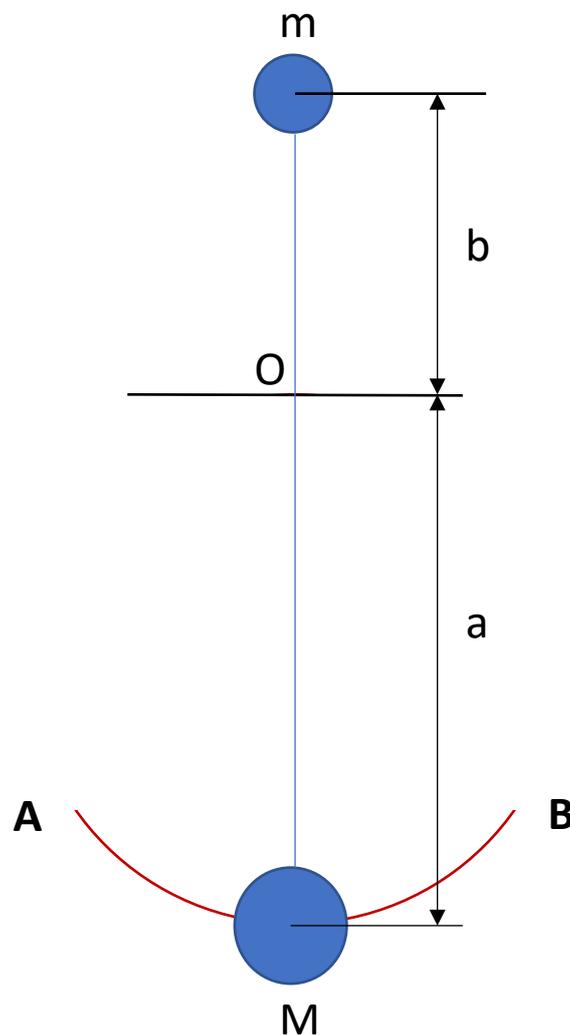
$$L = (1 \text{ s}^2 * 9.8 \text{ m/s}^2) / 3.1416^2 = 0.99294 \text{ m}$$

Para diseñar un péndulo que pulse cada segundo, es decir, que tarde 1 segundo en ir de "A" a "B", entonces se requiere de una longitud del péndulo de un metro, independientemente del peso de la bola.

Muchos relojes están diseñados para que funcionen con pulsos de un segundo. De ahí que veamos esos relojes antiguos de pared o relojes verticales con péndulos tan largos.

Si el péndulo está formado por varias masas, la ecuación sigue siendo válida, pero hay que calcular el centro de masa de dicho conjunto. Y para calcular dicho centro de masas hay que conocer el valor de dichas masas.

Veamos un ejemplo de un péndulo compuesto:



En este caso tenemos dos masas distintas y solidarias que giran en torno al centro O. Como la masa "M" es mayor que la masa "m" el centro de masas del conjunto se sitúa por debajo del eje de giro, al igual que en un péndulo simple. La "longitud equivalente" (L') del péndulo compuesto que nos daría el mismo pulso que uno simple sería:

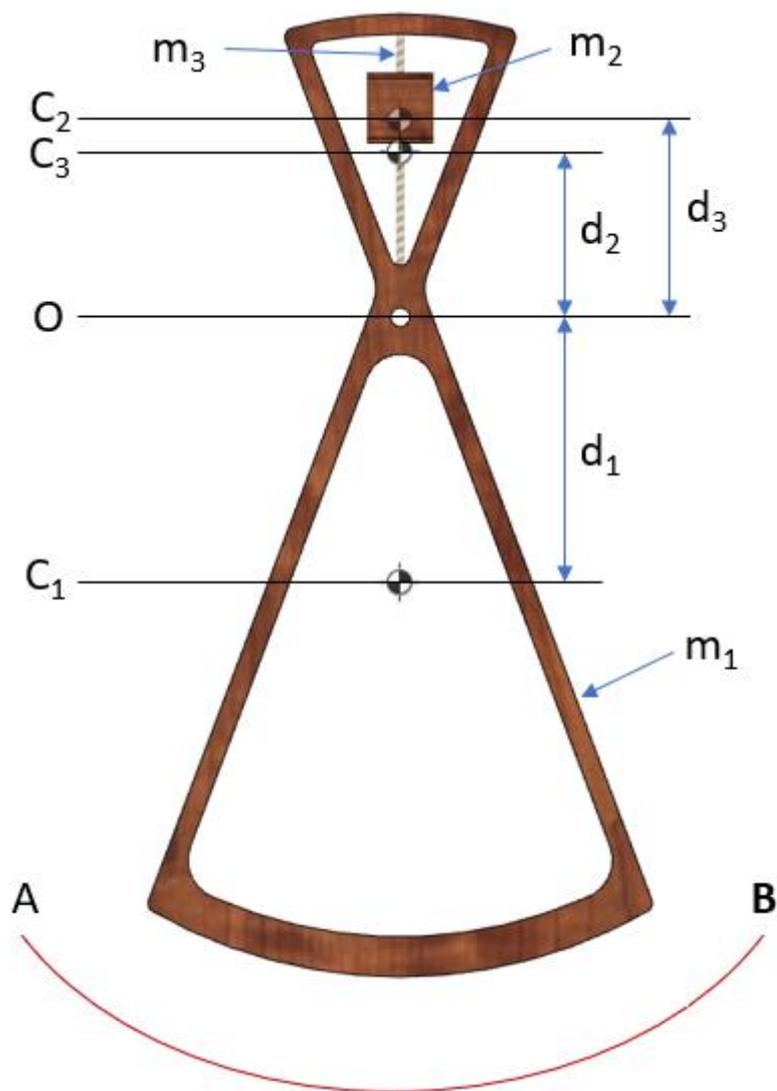
$$L' = (a^2 * M + b^2 * m) / (a * M - b * m)$$

Veamos un caso práctico. El péndulo del reloj "Swingtime" está diseñado para pulsar cada segundo. Con la ayuda del programa Fusion 360 es posible simular los materiales y obtener masas y centro de masas de los distintos componentes del reloj.

Hace unos días repliqué todas las piezas de este reloj en este programa. En Youtube se puede ver un vídeo con el detalle del ensamblaje de las piezas.

<https://www.youtube.com/watch?v=2NticEAx7xU>

Veamos que nos dice Fusion 360 aplicando las fórmulas que hemos visto con anterioridad al péndulo del "Swingtime".



En este caso el conjunto del péndulo está compuesto por tres masas diferentes: el "lazo" grande de madera con forma de ocho, el contrapeso superior relleno de bolas de acero y la varilla roscada de latón. El conjunto gira en torno al centro "O". Nos referiremos a estas masas como " m_1 ", " m_2 " y " m_3 " y a sus centros de masa como " C_1 ", " C_2 " y " C_3 " respectivamente. Igualmente nos referiremos a las distancias de estos centros de masa respecto al centro de giro como " d_1 ", " d_2 " y " d_3 ".

Dado que hay dos masas en la parte superior y otra en la parte inferior al centro de giro, la fórmula a aplicar en este caso es:

$$L' = (d_1^2 * m_1 + d_2^2 * m_2 + d_3^2 * m_3) / (d_1 * m_1 - d_2 * m_2 - d_3 * m_3)$$

Si tomamos las lecturas que arroja Fusion 360 para estas componentes, obtenemos los siguientes valores:

$$d_1 = 168 \text{ mm}$$

$$m_1 = 165 \text{ g}$$

$$d_2 = 146 \text{ mm}$$

$$m_2 = 119 \text{ g}$$

$$d_3 = 105 \text{ mm}$$

$$m_3 = 28 \text{ g}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior obtenemos un valor de $L' = 1,0078 \text{ m}$. Es decir, un metro equivalente en un péndulo simple, lo que confirma que este péndulo y con estos parámetros tiene un pulso de 1 segundo aproximadamente para ir desde "A" hasta "B".

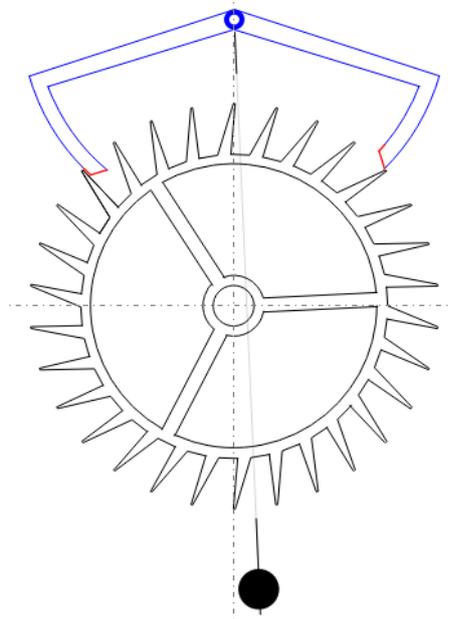
La misión del contrapeso superior es cambiar el pulso del péndulo. Esto se puede lograr de dos maneras: bien subiendo o bajando el contrapeso a lo largo de la varilla roscada (cambiando " d_2 ") o bien añadiéndole más peso (más bolas de acero en su interior). En este último caso estamos cambiando el valor de la masa " m_2 ".

Subiendo el contrapeso aumentamos la longitud equivalente L' , o lo que es lo mismo, aumentamos el pulso lo que significa que retrasamos el reloj. Lo contrario ocurre si bajamos el contrapeso, aceleramos el reloj.

De igual forma podemos acelerar o retrasar el reloj, respectivamente, quitando o poniendo más bolas de acero en el contrapeso.

2.2 Las paletas y el escape

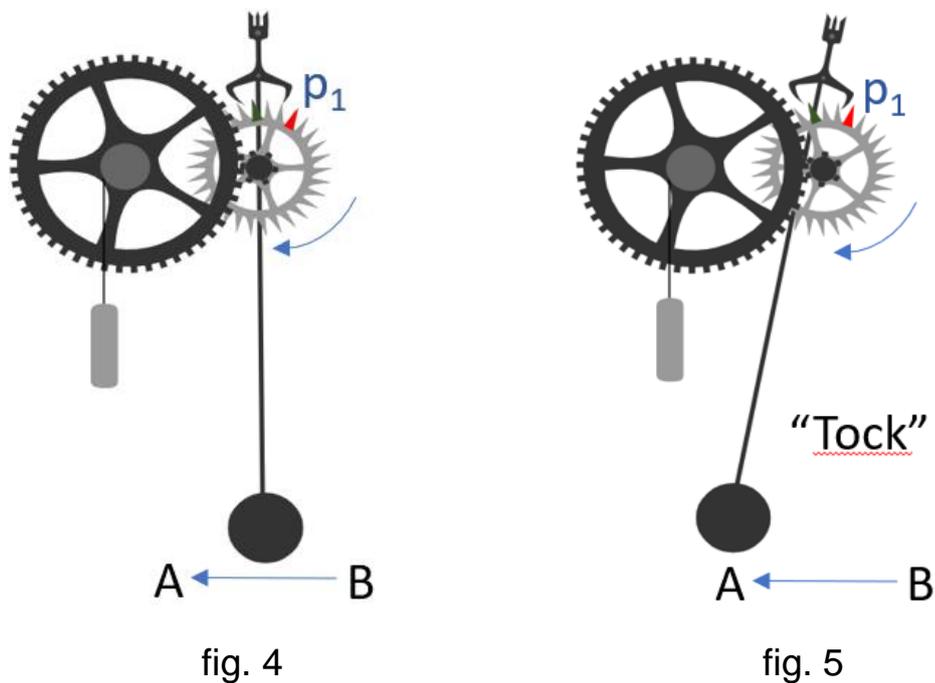
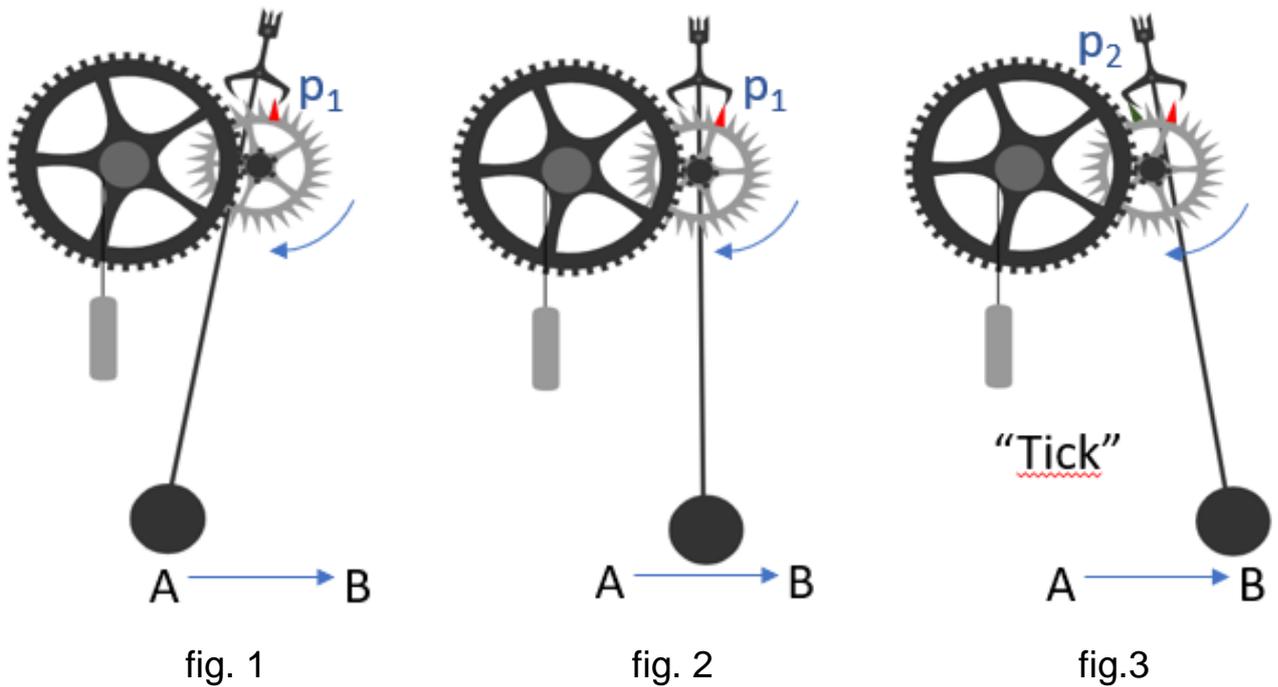
Aunque existen muchos mecanismos de escape, vamos a analizar el más común de todos ellos: el "escape de Graham".



En la figura se ven dos componentes: la rueda dentada que denominamos rueda de escape o simplemente "escape" y la pieza angular en la parte superior que denominamos "paletas". Esta última pieza va unida solidariamente al péndulo.

Como veremos más adelante, a la rueda de escape se le trasmite movimiento gracias a un tren de engranajes que a su vez es accionado por un peso o por un muelle. Las paletas tienen como misión impedir que la rueda de escape gire sin control a la vez que ayudan a que el péndulo no se pare y que mantenga su pulso.

En la siguiente secuencia de imágenes se muestra como interactúan las paletas con la rueda de escape, que está impulsada por un tren de engranajes simple accionado por un peso, y cómo estas ayudan a mantener el movimiento del péndulo.



El tren de engranajes hace que la rueda de escape gire en el sentido de las agujas del reloj. Cuando el péndulo se encuentra en la posición "A", la paleta "p₁" impide que la rueda de escape gire porque retiene el diente marcado en rojo (fig. 1). A medida que el péndulo se desplaza hacia B llega un punto en el que el diente rojo se libera (fig.2) y la rueda de escape intenta avanzar, pero la paleta "p₂" se encuentra con el diente marcado en verde (fig.3) y es en ese momento cuando se escucha el "tick".

Cuando el péndulo regresa desde el punto “B” al punto “A” la paleta “p₂” libera el diente verde (fig.4). La rueda de escape por fin puede avanzar gracias al impulso que le da el grupo motriz y entonces la paleta “p₁” se encuentra con el diente siguiente al marcado en rojo (fig.5). Es cuando se escucha el “tock”.

Entre cada “tick” y cada “tock” se libera un diente de la rueda de escape.

En estos dibujos la rueda de escape tiene 30 dientes. Como hemos visto, el péndulo libera un diente en cada periodo, esto es, cuando va y viene de “A” pasando por “B”. Si el péndulo que hemos diseñado, por ejemplo, tiene un pulso por segundo (lo que tarda en ir de “A” a “B”), entonces necesitamos de 2 segundos para liberar un diente. Dado que la rueda de escape tiene 30 dientes, entonces necesitamos de $30 \times 2 = 60$ segundos para que de la vuelta completa o lo que es lo mismo tarda un minuto en darla.

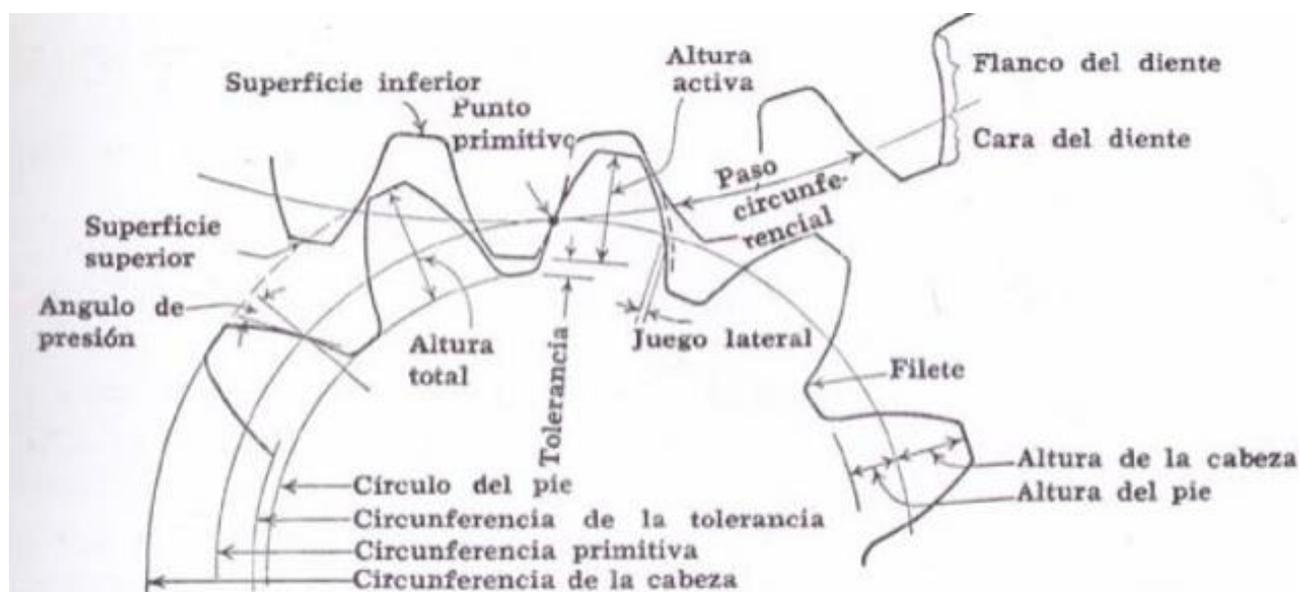
Con estos parámetros y con este diseño bastaría con fijar una aguja al centro de giro del escape para obtener el segundero de un reloj.

2.3 El tren de engranajes y el grupo motriz

Al conjunto de engranajes que se observa en los relojes se le denomina tren de engranajes. Este sistema tiene dos misiones fundamentales:

- Transmitir el impulso o la energía al sistema péndulo-escape-paletas para que mantenga su movimiento.
- Facilitar rotaciones coincidentes con los parámetros que utilizamos para medir el tiempo (minutos, horas, etc.) de forma que podamos asociar manecillas u otros sistemas de visualización a los ejes de dichas rotaciones.

No vamos a entrar en muchos detalles técnicos sobre el funcionamiento mecánico de los engranajes ni de sus posibles diseños. Tan solo hay que mencionar que lo más común es que los engranajes sean rectos y que interactúen en parejas, donde uno transmite la potencia al otro. Se suele denominar “corona” al engranaje más grande y “piñón” al más pequeño.



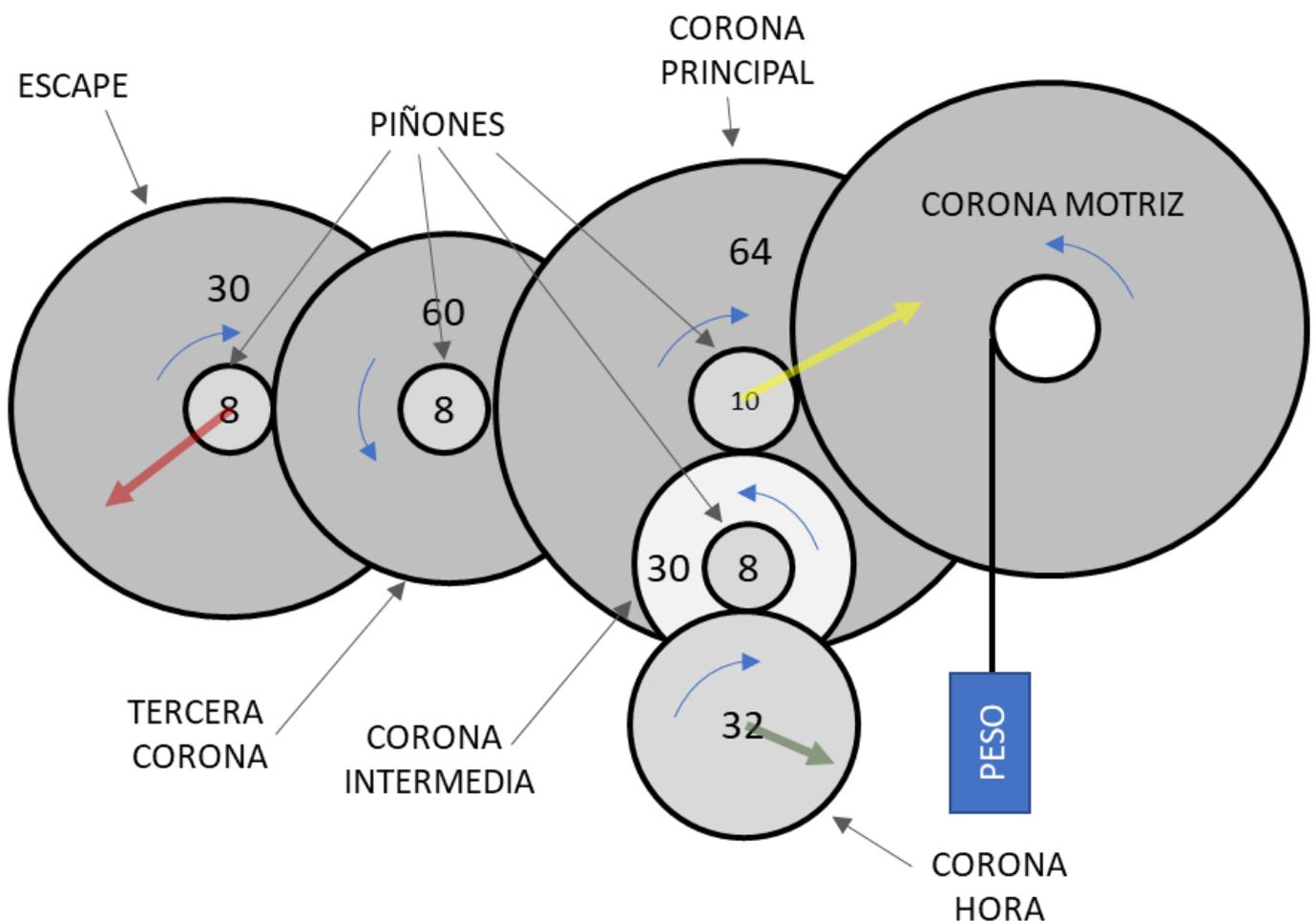
Señalar también, que para que dos engranajes puedan interactuar correctamente ambos deben tener el mismo “módulo”. El módulo se define como el cociente entre el diámetro primitivo y el número de dientes del engranaje, siendo el diámetro primitivo la medida del diámetro de la circunferencia sobre la que contactan los dientes. A esta circunferencia se le denomina circunferencia primitiva.

A efectos de construcción de un reloj de madera hay que considerar las restricciones que se presentan. Si estas ruedas dentadas se van a obtener de una plancha de contrachapado con una sierra de banda o de marquetería, no podemos esperar fabricar piezas muy pequeñas ni tampoco con un número de dientes muy elevado.

Tampoco es lo mismo, por ejemplo, que un piñón trabaje como transmisor a que trabaje como receptor de potencia. Si el piñón trabaja como trasmisor no puede tener un número muy bajo de dientes ya que las tensiones provocadas harían que el mecanismo del reloj no funcionase correctamente.

Es por todo esto importante trabajar con módulos y con números de dientes adecuados a todas estas consideraciones.

Analicemos ahora un tren de engranajes típico en el mecanismo de un reloj.



En este esquema se muestran las diversas coronas y piñones de un tren de engranajes. Las flechas azules indican la dirección de giro de cada rueda conforme establece la corona motriz y el peso que tiene asociado. Cada piñón es solidario (está unido rígidamente) a la corona que está

representada detrás del mismo. El número de dientes de cada rueda está indicado en el interior de esta. Hemos asignado un nombre a cada corona para mejor referencia.

El peso asociado a la corona motriz hace que esta conduzca su potencia al piñón de 10 dientes que va unido a la corona principal, de forma que estos últimos giran en el sentido de las agujas del reloj. A su vez la corona principal transmite su energía a la pareja que forman la tercera corona y su piñón de 8 dientes. Esta tercera corona hace lo mismo con el escape y su piñón de 8 dientes.

Supongamos que el escape tenga asociado un péndulo con un pulso de 1 segundo. Como vimos anteriormente y dado que el escape tiene 30 dientes, esta rueda tarda 60 segundos en dar la vuelta completa. Lo mismo ocurre con el piñón asociado al escape ya que este es solidario con él.

En el esquema hemos dibujado una flecha roja que es solidaria al eje que une el escape y a su piñón. Esta flecha podría considerarse como el segundero, dado que tarda 60 segundos en hacer un giro completo.

Veamos ahora cuanto tiempo tarda en dar una vuelta completa la corona principal. Para ello aplicamos la fórmula del índice de transmisión (i) que equivale al cociente entre el producto del número de dientes conductores y el producto del número de dientes conducidos:

$$i = [8 (\text{piñón tercera corona}) * 8 (\text{piñón escape})] / [60 (\text{corona principal}) * 64 (\text{corona intermedia})] = 1/60$$

Es decir, la corona principal gira 60 veces más lenta que la rueda de escape. Es por ello por lo que esta corona principal nos sirve de minuterero con el péndulo de 1 s de pulso (flecha amarilla).

El anterior esquema de transmisión (en relación con el número de dientes) es muy habitual para péndulos de un pulso y escapes de 30 dientes. Podría obtenerse el mismo resultado con otras combinaciones, pero obviamente el índice de transmisión tiene que ajustarse al pulso del péndulo. También se podría reducir el número de ruedas en el tren, por ejemplo, prescindiendo de la corona intermedia y de su piñón, pero en ese caso la manecilla del minuterero giraría “al revés”.

Hagamos el mismo cálculo para el índice de transmisión entre la corona principal y la corona de 32 dientes (corona hora):

$$i = [10 (\text{piñón corona principal}) * 8 (\text{piñón corona intermedia})] / [30 (\text{corona intermedia}) * 32 (\text{corona hora})] = 1/12$$

Por lo tanto, la corona hora gira 12 veces más lenta que la corona principal. Esta relación de transmisión (por número de dientes) es la más usada para marcar las horas y es por ello por lo que la hemos asignado una flecha verde que marca las horas con un péndulo de 1 s de pulso.

A este tren de engranajes podríamos añadirle más ruedas para ser capaces de dar el día, el mes, etc. También podríamos añadir más ruedas por estética o por diseño, pero a mayor número de ruedas mayor fricción interna y mayor posibilidad de que al péndulo no le llegue el impulso necesario.

El mecanismo de impulso es totalmente imprescindible en un reloj. El tren de engranajes es un mero transmisor, pero por sí solo no puede impulsar al péndulo. El péndulo por su parte necesita de impulso dado que la fricción de su eje con el correspondiente apoyo impide su movimiento perpetuo.

Para el mecanismo de impulso, digamos que hay dos sistemas que son los más habituales: el sistema de muelle y el sistema de peso.

El sistema de muelle consiste en aprovechar la energía almacenada en el mismo cuando lo contraemos. Este sistema es el que se utilizan en los relojes a los que hay que “dar cuerda” periódicamente. Suele ser una cinta espiral metálica que enrollamos cada vez que le damos cuerda al reloj y que va liberando energía a la par que se va desenrollando. El inconveniente de este tipo de mecanismo es que hay que “dar cuerda” con bastante frecuencia. Lo normal es que solo otorgue una autonomía de unas pocas horas al reloj.

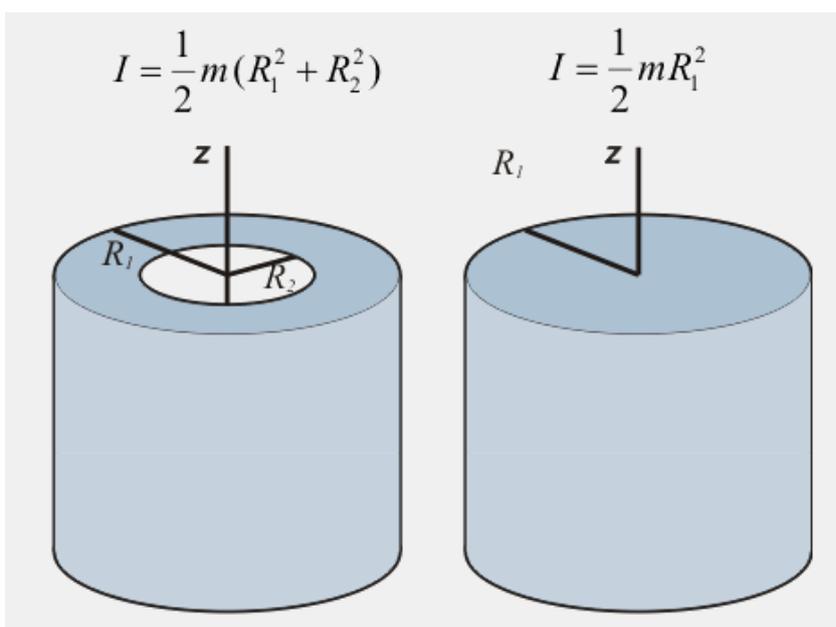
El otro sistema es el de peso, como el representado en el esquema anterior. En este caso lo único que tenemos que hacer es subir el peso periódicamente. A diferencia del muelle, con el peso podemos aumentar mucho la autonomía, aunque para ello necesitemos de bastante distancia para que se desplace el peso. Es por ello por lo que este tipo de sistemas se aplica ampliamente en los relojes de pared.

El reloj “Swingtime” que construí hace unas semanas funciona por peso. Pero para mover ese peso se aprovecha la energía de un pequeño motor, que se alimenta de una pila y que se activa gracias a un interruptor de mercurio. En el diseño del “Columbretes” utilizaré un principio similar.

Para terminar este capítulo me gustaría hacer una breve referencia al momento de inercia y a su importancia en el diseño de las diferentes ruedas del reloj, principalmente en el diseño de las coronas y del escape.

El momento de inercia es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Por poner un ejemplo, imaginemos una peonza. Cuando la hacemos girar, a mayor momento de inercia más tiempo permanecerá la peonza girando ¿Y por qué las peonzas tienen esa forma tan característica? Precisamente para otorgarles un mayor momento de inercia.

Veamos la fórmula del momento de inercia (“I”) de un cilindro macizo y la de un cilindro hueco que giran alrededor de un eje “z”.



En las ecuaciones anteriores “m” representa la masa de cada cilindro. La primera conclusión es que, a igualdad de masa, el momento de inercia del cilindro hueco es mucho mayor que la del cilindro macizo. De la misma forma, cuanto más alejemos la masa del eje de giro, mayor será su momento de inercia.

Volviendo a la peonza observamos que en su diseño se fuerza a que la mayor parte de su masa se encuentre lo más alejada de su eje de giro.



Pero veamos ahora que tiene todo esto que ver con las ruedas del reloj.

Los engranajes pueden ser macizos, pero podemos practicarles huecos tal como vemos en los relojes tradicionales.



Estas formas de ruedas con brazos no son un capricho estético. Si bien al crear huecos eliminamos masa, estamos añadiendo un valor “ R^2 ” que va elevado al cuadrado, por lo que estamos aumentando el momento de inercia respecto al de la rueda maciza.

Aumentar el momento de inercia de las coronas y sobre todo la del escape es esencial para asegurar una mejor transmisión del impulso desde el grupo motriz. Esto se manifiesta en el “tick-tock” ya que evidencia el potente impulso que confiere el escape al péndulo a través de las paletas. Si la rueda de escape fuese maciza, a duras penas haría “ruido” y no podría transmitir tanto impulso al péndulo.

3. DISEÑO

3.1 Idea original y principios básicos

La idea de hacer un reloj llamado “Columbretes” me vino al ver vídeos de relojes con péndulos compuestos cuyo movimiento me recordaba al de las olas y al balanceo de un barco en el mar.

Enseguida visualicé la silueta de la popa del “Picual” o la del “Bermar Primero” fondeado en “La Cal” con una caña a cada lado y con dos brazos largos en sus costados simulando las olas.

Una caña tirada a fondo por babor y la otra al aire, algo más lejos por estribor, cuyos plomos ayudarían a equilibrar el péndulo.

Detrás más olas se entrecortarían con las del péndulo y en el horizonte se visualizarían las siluetas de los islotes principales: “La Mayor”, “La Ferrera”, “La Foradada” y el “Carallot”.

La estructura vertical (bajo el mar) podría constituirla un árbol de coral y para la base podría elaborar una figura que representara a una langosta o a un bogavante.

Y así es como surgió la idea original, recordando tantísimas gratas jornadas de pesca en el entorno de las islas Columbretes. Luego se agolparon muchas variantes más o menos complejas en mi cabeza ¿Pero qué demonios?, ¡solo se trata de un reloj! Así que se hace necesario establecer unos principios básicos para su diseño:

- Simplicidad: mantener en el diseño lo imprescindible para el funcionamiento del reloj y evitar recargarlo con muchos elementos innecesarios.
- Armonía: desarrollar formas naturales, suaves y onduladas, en consonancia con la idea.
- Originalidad: diseño exclusivo, elaborando las piezas desde cero.

Del péndulo ya he descrito como lo visualizo y por lo que respecta a las paletas voy a diseñar unas del tipo Graham.

El escape y el tren de engranajes los diseñaré en Fusion 360 y aplicaré los parámetros que he mostrado en el esquema representado en el apartado 2.3 ya que son bastante estándar. Respecto de sus dimensiones intentaré que se ajusten a un modelo de reloj de mesa que no exceda de 50cm * 50cm aproximadamente.

Por lo que respecta al grupo motriz voy a aplicar el mismo concepto del brazo motor con interruptor de mercurio que lleva el Swingtime, adaptándolo a mi diseño. La verdad es que he pensado en multitud de alternativas para el grupo motriz pero no hay ninguna mejor que esta para un reloj de sobremesa. He llegado a pensar en ubicar el motor fuera del brazo y montar un sistema de balancines con imanes como interruptor, pero he tenido que abandonar esa idea por la dificultad de esconder cables y porque el motor debería poder girar en su conjunto para evitar forzar su mecanismo reductor. Demasiado complicado...

Hasta aquí la explicación de la idea que tengo en mente y de las soluciones que pretendo aplicar.

Tener una idea es cuestión de inspiración. Siempre llega alguna, sea mejor o peor. Lo difícil es llevar esa idea a la práctica.

Hoy es 19/02/2023 y durante los próximos días intentaré plasmar todo esto en un diseño en Fusion 360 que sea visible y medible. Si todo sale bien, entonces habré completado la parte más difícil, pero a su vez la más reconfortante. Y estaré en situación de abordar la siguiente, más larga, pero también la más sencilla y divertida de todo el proceso: su construcción.

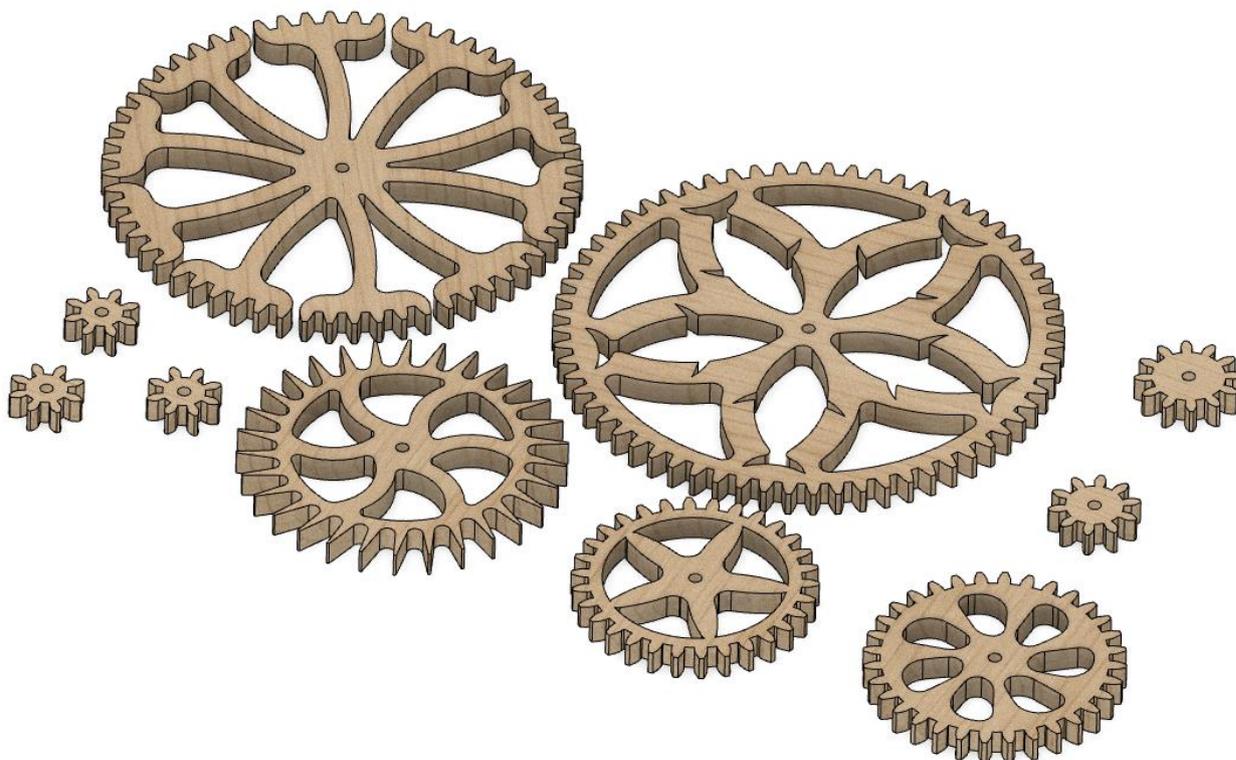
3.2 Coronas, piñones, paletas y escape

En Fusion 360 he elaborado las ruedas principales del reloj. Para diseñar las coronas y los piñones he utilizado el complemento que tiene este programa ("SpurGear") que genera engranajes rectos. Para todas ellas he escogido un módulo de 3.5, un ángulo de presión de 18 grados y un juego entre dientes de 1 mm.

Con estos parámetros se obtiene, por ejemplo, un diámetro primitivo de 224 mm en la corona principal de 64 dientes y de 28 mm en los piñones de 8 dientes.

El escape lo he elaborado con una circunferencia externa de 150 mm, algo menor a la tercera corona para que no interfiera con en el eje de esta última.

En la siguiente imagen se muestran todas las ruedas ya terminadas y extruidas:



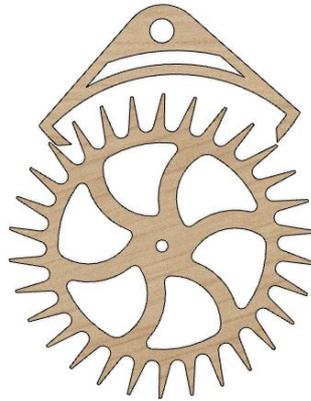
El extruido de las piezas se ha efectuado a 12 mm, en consonancia con el grosor de la madera de contrachapado de abedul que pienso utilizar para su construcción física.

Como se ve en la imagen tenemos las mismas ruedas y con el mismo número de dientes que las que se muestran en el esquema del capítulo 2.3, aunque he elaborado un piñón adicional de 12 dientes que formará parte del grupo motriz.

Cada corona tiene un diseño distinto y con motivos en línea con la idea original. Así, por ejemplo, en la corona principal se muestran las siluetas de 5 atunes rojos, pez muy común del entorno de las Columbretes. En la corona intermedia he dejado huecos entre algunos dientes para simular unas "ramas" de coral. De igual forma la corona de 30 dientes muestra en su interior una estrella de mar y en la corona de la de la hora se recortan las siluetas de 6 bivalvos.

A estas piezas les he practicado un orificio central de 6 o 7 mm para acoplarles su eje. Más adelante se verá si hay que ajustar el tamaño de alguno de estos orificios.

En relación con las paletas, las he creado de forma que abarquen 7.5 dientes de la rueda del escape y he utilizado la técnica indicada en el libro de Clayton Boyer para su diseño. En este caso les he practicado un orificio de 12 mm en el centro de giro para poder insertar un tubo de cobre que alojará unos rodamientos en su interior.



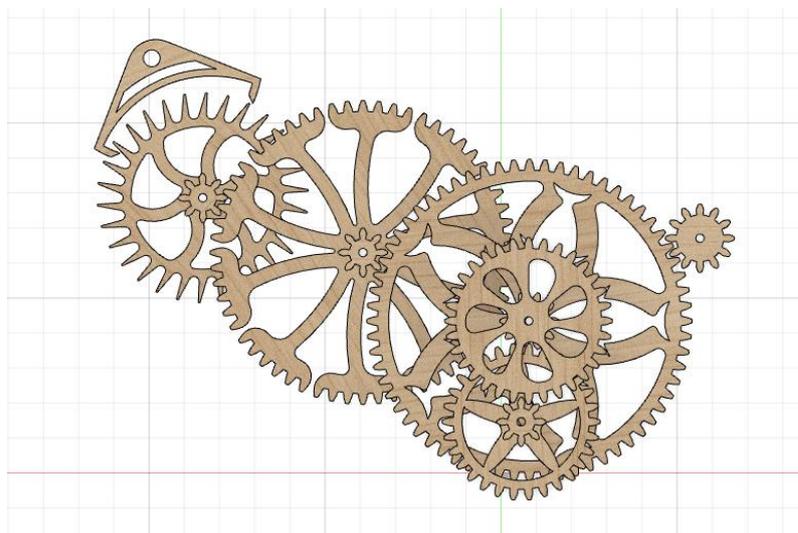
En el diseño de las paletas hay que anotar la distancia entre el eje de giro de estas respecto del eje de giro del escape. Conforme a la geometría de construcción esta distancia corresponde con 106.066 mm.

En el caso de los engranajes, la distancia entre centros de giro se calcula sumando los diámetros de paso y dividiendo dicha suma por dos.

3.3 El Péndulo

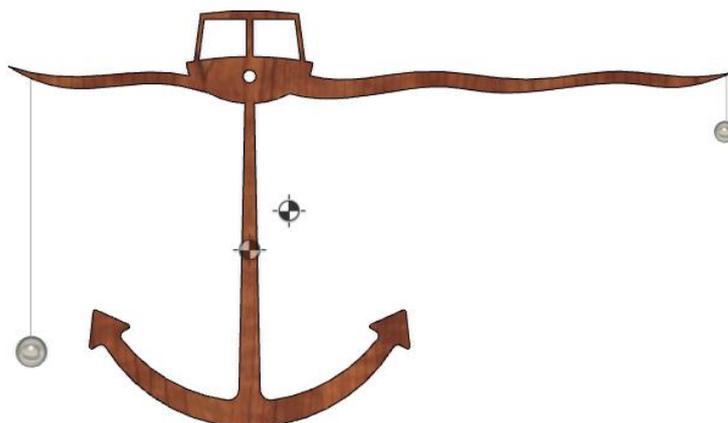
Para realizar un diseño del péndulo y poder calcular la longitud de las olas laterales necesito simular la colocación relativa de todas estas piezas, al menos de forma aproximada.

En la siguiente captura de Fusion 360 he dispuesto todas estas piezas con una distribución que me parece adecuada. Todas las coronas más o menos alineadas formando un ángulo de unos 30° y las paletas ligeramente inclinadas hacia la izquierda. El ancho del conjunto ronda los 45 cm aproximadamente.



Para elaborar el péndulo lo primero que he hecho es dibujar la silueta de un barco por popa y unas olas que se alargan por los costados. Las de estribor algo más extensas en longitud que las de babor. El centro de giro lo he establecido en el centro del casco del barco.

Para bajar su centro de masa he dibujado un ancla grande que parte del centro de giro y para que las olas queden horizontales he dispuesto de dos plomos en los extremos de forma que el centro de masa del conjunto quede en la vertical del eje de giro. Los plomos intervienen ligeramente en el movimiento del péndulo por lo que habrá que calcular bien su altura. El de babor es unas cuatro veces más pesado aproximadamente que el de estribor.



Para conseguir que el péndulo tenga un pulso de un segundo he añadido los siguientes elementos:

- Un cilindro con bolas similar al que fabriqué para el Swingtime que permitirá ajustar el pulso.
- Una varilla roscada de latón de 5 mm de diámetro para mover el cilindro.
- Un trozo de madera en la parte superior en forma de nube.
- Una bola de latón de unos 2 cm de diámetro.

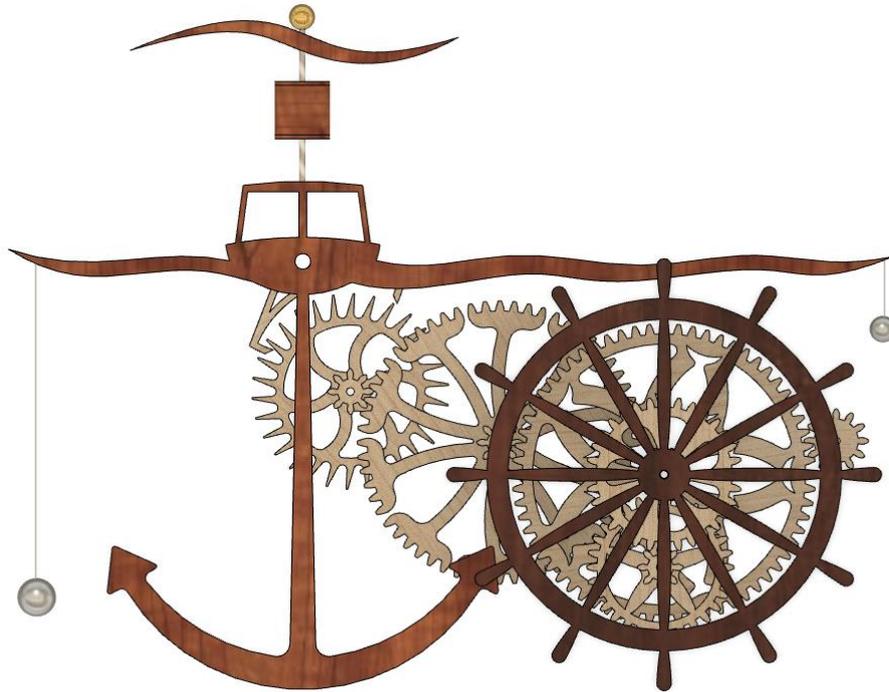
En Fusion 360 he calculado los centros de masas de todos estos elementos teniendo en cuenta los materiales. He comprobado que efectivamente se puede obtener un pulso de 1 segundo para este conjunto con unos plomos de 60 gr y 15 gr y con un peso del cilindro de unos pocos gramos, colocado en el centro de la varilla roscada.

Ya veremos si cuando elaboremos todas estas piezas la teoría se ajusta a la realidad...Esta es la parte más delicada del diseño.



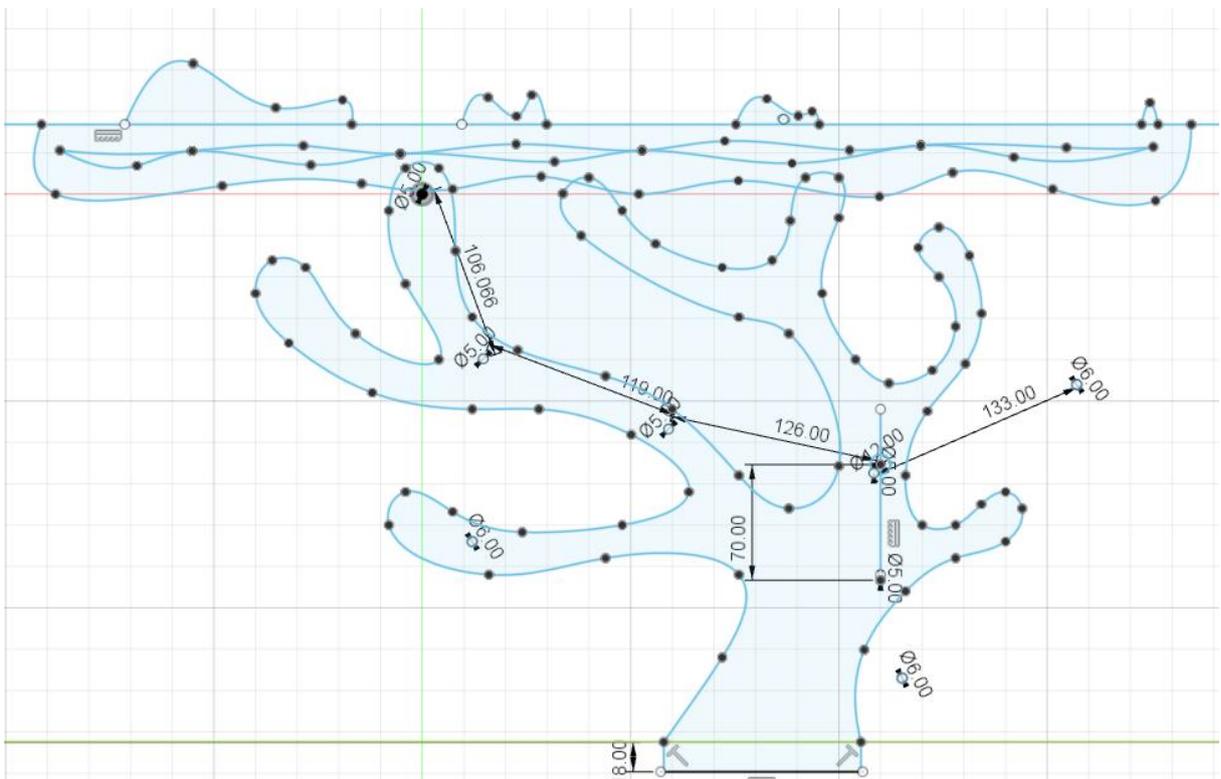
3.4 El dial

Antes de elaborar la estructura vertical he diseñado un dial con la forma de un timón de 12 brazos. El tamaño es algo mayor al de la corona principal.



3.5 La estructura vertical

La estructura vertical la he diseñado con forma de coral. Por su puesto he tenido que medir muy bien las distancias entre engranajes para cuadrar los orificios con la forma del coral. La he dibujado con varios “splines” de un solo trazo.



3.7 Las manecillas

Lo más importante en las manecillas es que estén equilibradas, esto es, que independientemente de su forma, el centro de masa esté justo en el centro de giro.



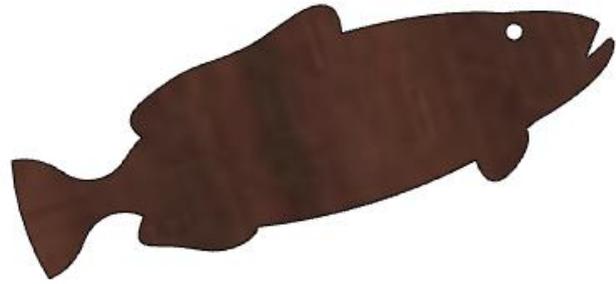
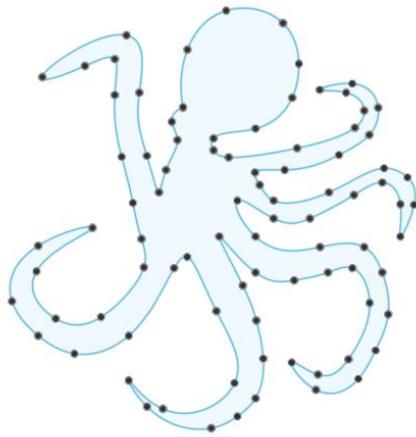
Creo que las fabricaré en tilo o ramín de 5 mm de espesor.

3.8 Ejes, soportes, arandelas y otros elementos accesorios.

Una vez elaboradas todas las piezas hay que ir ensamblándolas en Fusion 360 para comprobar distancias, posibles interferencias, etc.

A medida que iba efectuando el ensamblado he diseñado soportes, ejes tubos, arandelas, conectores, tapones. etc. Una de las partes más delicadas ha sido la de analizar el movimiento del péndulo con el escape, para valorar si este último pudiera tropezar con alguna de las ruedas o ejes. Finalmente he decidido fijar el péndulo para que oscile libre entre la corona intermedia y la corona principal. No hay que ubicarlo muy separado de la estructura vertical ya que este es el elemento que más pesa y obligaría a diseñar una base muy grande si el centro de masa de todo el conjunto se desplaza mucho hacia afuera. Según mis cálculos el ángulo de oscilación no será superior a 10 grados y el péndulo no tropezará ni con el eje de la corona principal ni con el brazo motor cuando esté elevado. Confío en que así sea, de lo contrario sería una catástrofe.

Otra parte complicada es la que tiene que ver con las ruedas del sistema de la hora. Estas coronas y piñones no pueden llevar ejes fijados a la estructura vertical ya que lo impide la corona principal. Es por ello necesario diseñar una pieza que sustente los ejes correspondientes por la parte delantera, que a su vez puede ir apoyada en el timón. Después de darle muchas vueltas me he decido por diseñar un pulpo que también he trazado con un “spline”.

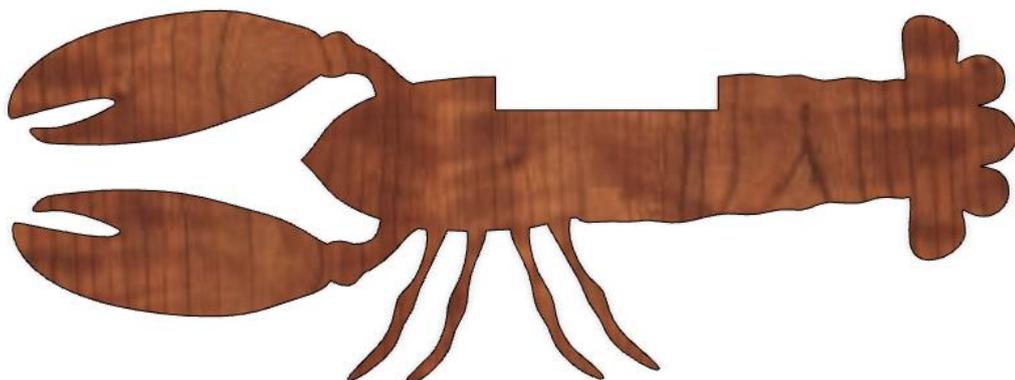
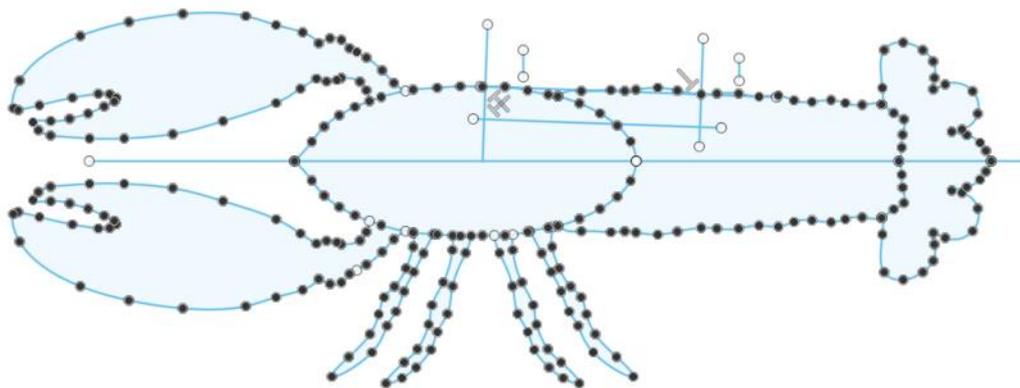


Inicialmente diseñé un gran mero para este propósito, aunque tuve que descartar la idea ya que no se ajustaba bien a las medidas. En cualquier caso, he pensado en colocarlo entre las ramas del coral como “adorno”.

3.9 La base

Una vez diseñadas y ensambladas todas las piezas del reloj es posible calcular el centro de masa del conjunto. Obviamente la base tiene que extenderse más allá de la vertical para evitar que el reloj vuelque.

Una vez más, he realizado unos “splines” para diseñar una base con forma de bogavante. Las tenazas y sobre todo las patas asegurarán la estabilidad del reloj, sobre todo en la zona del péndulo



3.10 Simulación del ensamblado y consideraciones finales

Una vez completado el diseño y el ensamblado de todas las piezas he creado una animación del reloj. El video puede encontrarse en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=Zo5InUg11Qw>

En honor a la “terreta” donde se ubican las islas Columbretes el video lo he editado con música de Francisco Tárrega, gran compositor de guitarra.

A medida que ensamblaba las piezas he tenido que ir haciendo pequeños ajustes. Ya con la visión completa, quizás decida cambiar alguna cosa durante la construcción. Por ejemplo, el grosor del dial, creo que con 6 mm bastará. Igualmente considero que este dial deberá ir anclado a la base ya que no tiene contrapeso y esto pondría en peligro al tren de la hora.

Es muy difícil diseñar todo perfectamente a la primera. Durante la construcción seguro que habrá que seguir haciendo algún pequeño cambio. Siempre surgen complicaciones inesperadas que hay que solventar.

Hoy es 26/02/2023. Me ha llevado algunos días completar el diseño del “Columbretes” pero ya se puede visualizar. La idea original ya tiene forma.

4. CONSTRUCCION

4.1 Preparación

Antes de empezar la construcción del reloj, he exportado todos los bocetos de las piezas que hay que cortar con la sierra de banda o con la de marquetería a formato PDF. La técnica para cortar estas piezas no difiere en nada de la que he utilizado durante años para cortar las cuadernas de mis barcos. El boceto en papel se pega con pegamento de barra al tablero que posteriormente se despega fácilmente con agua una vez recortada la pieza.

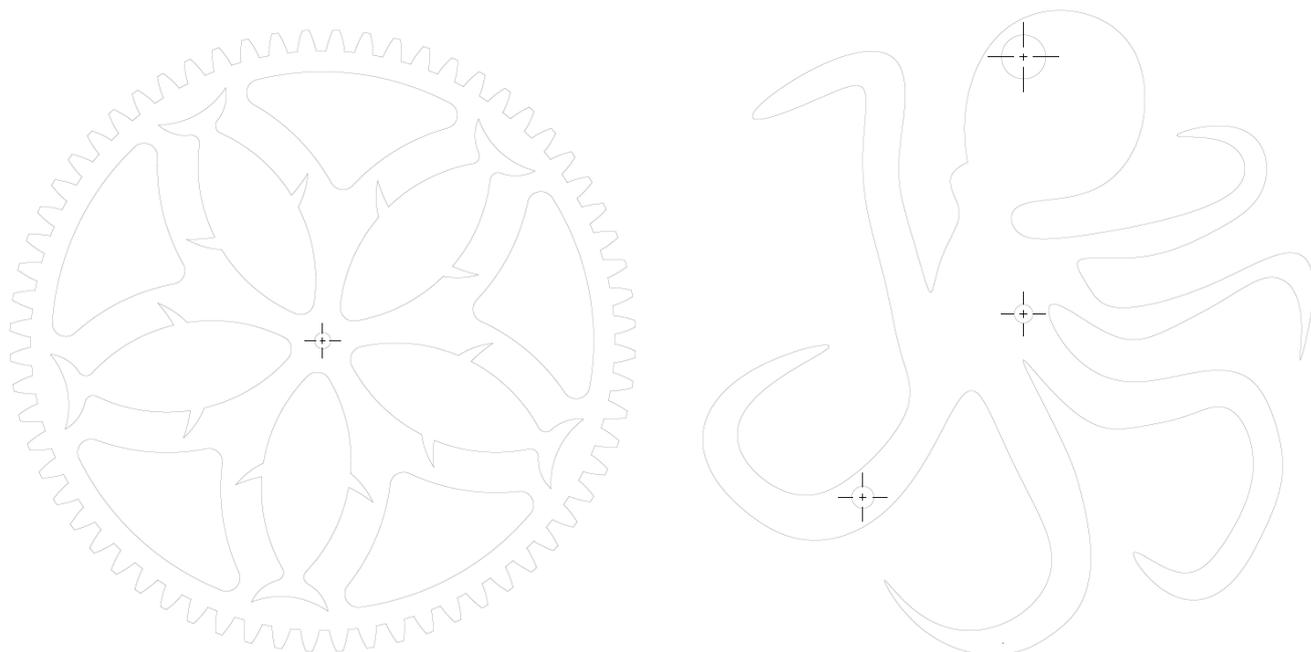
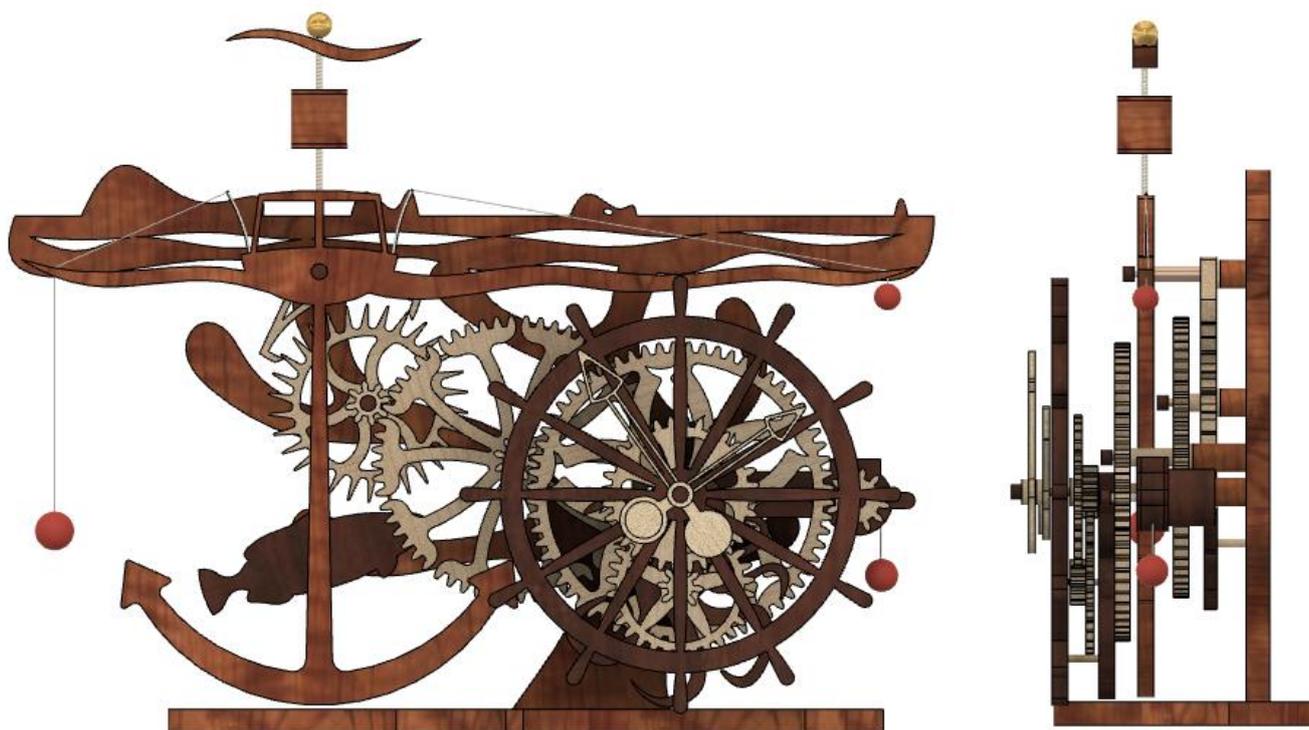
Aunque elegí un módulo adecuado para los engranajes de forma que los dientes fueran fáciles de cortar, la verdad es que las dimensiones finales del reloj son un tanto excesivas. Es por ello por lo que he decido reducir todas estas piezas un 20%. La reducción solo afecta al plano proyectado y voy a mantener los mismos grosores para los materiales. Es decir, el reloj no cambia sus dimensiones en profundidad, pero sí en ancho y en alto.

No he cambiado el diseño en Fusión 360. Basta con imprimir las piezas anteriores con un factor de reducción del 80%. Eso sí, el brazo motor lo he tenido que rediseñar entero dado que ni motor ni batería pueden reducirse en la práctica, pero es imprescindible cambiar la distancia del centro de giro de la corona de 12 dientes.

Las dimensiones del resto de piezas (ejes, separadores, arandelas, tapones, tubos, etc.) no cambian.

Antes de imprimir las piezas en PDF es importante indicar bien los centros de los orificios, de forma que posteriormente podamos marcarlos con un punzón para evitar que la broca se desplace.

En las siguientes imágenes se muestra la vista frontal y lateral derecha del reloj, así como unos ejemplos de boceto en PDF, en este caso del “pulpo” y de la corona principal.



Obviamente al haber reducido el tamaño de los bocetos, los orificios ya no están a escala. Para evitar errores he elaborado un Excel con el inventario de todas las piezas y sus características más importantes: material, diámetro de los orificios, grosor/profundidad, color del teñido, etc.

Creo que este documento será de gran ayuda, por ejemplo, para cortar directamente arandelas, separadores, tubos y ejes sin necesidad de ir haciéndolos a medida que ensambló las piezas. Se pueden cortar y preparar todos los materiales de una sola vez.

El reloj lo compone un total de 80 piezas.

Muestro un pantallazo de una parte del Excel (dimensiones en milímetros):

Núme	Pieza	Grosor/Largo	Diametro ext./Forma	Diametro taladro	Color	Material	Comentarios
1	Coral y horizonte	18	Según plano	5 para ejes y 6 para conectores	Cerezo	Pino	Imprimir al 80%
2	Bogavante	18	Según plano	n.a.	Cerezo	Pino	Ver nuevo centro de masa y ajustar tamaño
3	Soporte eje central	60	22	5	Cerezo	Pino o haya	
4	Soporte péndulo	20	22	5	Cerezo	Pino o haya	
5	Soporte escape	20	22	5	Cerezo	Pino o haya	
6	Soporte tercera corona	41	22	5	Cerezo	Pino o haya	
7	Arandela escape	3	22	6	n.a.	Haya	
8	Escape	12	Según plano	6	n.a.	Contrachapado	Imprimir al 80%
9	Conector escape	9	14	6	n.a.	Haya	
10	Tubo latón escape	39	6	n.a.	n.a.	Tubo latón	
11	Piñón escape	12	Según plano	6	n.a.	Contrachapado	Imprimir al 80%
12	Eje escape	81	5	n.a.	n.a.	Acero	
13	Tapon escape	8	12	5	Caoba	Haya	
14	Arandela tercera corona	3	22	6	n.a.	Haya	
15	Tercera corona	12	Según plano	6	n.a.	Contrachapado	Imprimir al 80%
16	Arandela péndulo	3	22	6	n.a.	Haya	
17	Eje péndulo	108	5	n.a.	n.a.	Acero	
18	Rodamiento 1	5	10	n.a.	n.a.	Acero	
19	Tubo separador péndulo	50	10	5	n.a.	Haya	
20	Rodamiento 2	5	10	n.a.	n.a.	Acero	
21	Tubo cobre péndulo	60	12	n.a.	n.a.	Cobre	
22	Paletas	12	Según plano	12	n.a.	Contrachapado	Imprimir al 80%
23	Péndulo	12	Según plano	6	Cerezo	Contrachapado	Imprimir al 80%
24	Tapon péndulo	8	12	5	Caoba	Haya	
25	Varilla roscada	120	5	n.a.	n.a.	Latón roscado	
26	Contrapeso	44 ya con tapas de 3 mm (38+3+3)	42 (ext)	5 roscado	Cerezo	Contrachapado y Tilo	
27	Nube	12	Según plano	5 roscado	Cerezo	Contrachapado	Imprimir al 80%

4.2 Materiales, herramientas y acabados

En un reloj de engranajes de madera el material más crítico es precisamente la madera. Pero no todas las maderas dan las mismas prestaciones.

Para los piñones, coronas, escape y paletas es necesario utilizar una madera dura que no se deforme y que no se afecte por la humedad. Es por ello por lo que el material más utilizado para estas piezas sea el contrachapado fenólico de abedul, el contrachapado “marino” de toda la vida. Este material es muy duro de cortar, sobre todo a partir de espesores de 12 mm.

Siempre acabo por comprar alguna nueva herramienta cuando hago nuevos proyectos. Aunque mi Proxxon DS 230E me ha ayudado durante años a cortar las cuadernas de mis barcos, se queda corta con el contrachapado fenólico o con el tablero de pino de 18 mm de espesor. Es por ello por lo que he adquirido una Proxxon DSH. Con ambas herramientas he recortado todas las piezas del reloj.



Si bien estas máquinas son muy útiles para recortar formas muy diversas, la forma plana del fondo de los dientes de los engranajes es un área crítica que hay que gestionar bien. Se pueden hacer con estas herramientas, pero resulta mucho más sencillo hacerlo con una sierra de cinta como la que adquirí al hacer el Swingtime.



Una vez recortados los engranajes hay que asegurarse que estos son perfectamente redondos y que el orificio central sea completamente vertical. Para ello es necesario usar algunas herramientas adicionales.

Para hacer un orificio perfectamente perpendicular hay que utilizar un taladro vertical o un adaptador al efecto. Aquí utilizo mi adaptador proxxon para el mini taladro u otro adaptador cuando las brocas son más grandes de lo que puede gestionar el mini taladro. Es muy importante marcar bien el centro con un punzón para que la broca no se desvíe al comenzar a perforar.

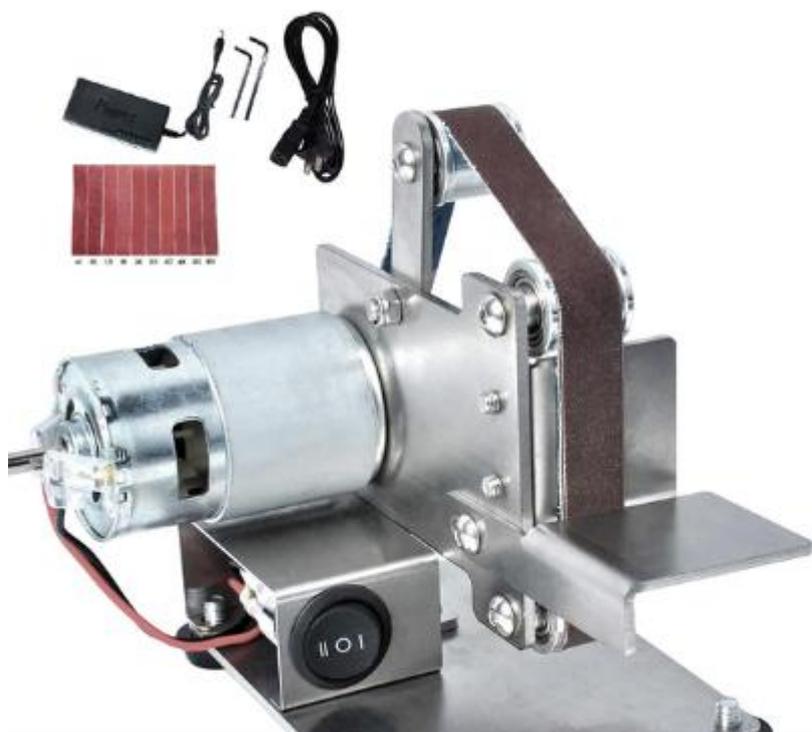


Para asegurar una circunferencia perfecta en los engranajes una vez ya recortados utilizo la siguiente técnica: una vez efectuado el agujero central, dispongo la pieza con su eje sobre una tabla perforada para que la pieza gire libremente. Presento el conjunto frente a una lijadora circular y voy girando la rueda y lijando las puntas de los dientes para asegurarme que quede perfectamente redonda, fijando la tabla a la mesa de la sierra con un sargento para que no se mueva.

Ni que decir tiene que todas estas operaciones de corte y lijado generan mucho polvo por lo que es necesario conectar un aspirador a las máquinas para eliminarlo y ayudar a que no se calienten mucho.



El acabado final de dientes u otras partes de las piezas recortadas se consigue a base de más lija. Bien utilizando papel de lija pegado con cinta de doble cara a un cuadradillo de madera, bien con limas de diamante o bien con una mini sierra de banda que es la que suelo utilizar para pulir la cara interior de los dientes.



Cuando se trata de hacer conectores, tapones o arandelas se podrían utilizar estas mismas máquinas, aunque no son del todo prácticas ya que estas piezas suelen ser muy pequeñas.

Generalmente suelo fabricarlas a partir de redondos ya disponibles en haya y pino de diferentes grosores. En este caso los agujeros los practico en un torno al igual que su biselado y las corto con mi sierra circular. Estas dos máquinas me llevan acompañado muchos años.



Por lo que se refiere al tratamiento de las piezas una vez cortadas yo suelo utilizar barniz en spray con acabado mate. No me gustan los acabados brillantes ni satinados en un reloj de engranajes de madera. Además, los dientes de los engranajes no deben barnizarse nunca ya que afectaría a su funcionamiento. Todo lo más que hago es barnizar las caras de las ruedas y protegerlas con cinta de carroceros antes de cortarlas. Una vez terminada la pieza se retira la cinta de carroceros.

Algo que no he mencionado es que el corte (sobre todo el de los dientes) lo hago “hasta la línea”. Como he mencionado anteriormente se pega el plano de la pieza a la madera con pegamento de barra o similar. La exportación a PDF la hago con una línea muy fina, para que el corte sea lo más preciso posible. Al cortar la pieza llego hasta dicha línea, hasta que prácticamente desaparece, aunque no del todo. Luego se despegas el papel y listo.



Si se barnizaran los dientes de los engranajes se echaría a perder todo este esfuerzo y además el barniz generaría una fricción totalmente innecesaria.

En el barnizado suelo aplicar tres o cuatro capas. Dejo secar bien y vuelvo a lijar con lija fina o lana de acero. Posteriormente le aplico la capa final.

Por lo que se refiere al tintado de las maderas, una vez más esto no lo aplico a los engranajes. Al tintar la madera esta siempre vuelve a repelar y por ello tras barnizarla es necesario pulirla un poco. Las zonas estructurales u ornamentales efectivamente pueden teñirse. Yo suelo aplicar tinte al agua con colores al gusto: cerezo, caoba, nogal, etc.

Al margen del ya mencionado contrachapado fenólico, en el “Columbretes” he utilizado otras maderas. Para la estructura he utilizado tablero de pino de 18 mm. Para las agujas he usado madera de ramín que es muy ligera y no genera mucha tensión en el reloj. También he utilizado planchas de caoba o de manzonía. Aún tengo varias de estas planchas de las que utilizaba para fabricar barcos.

Hablemos ahora un poco de los metales que también son parte esencial en los ejes del reloj.

Para sujetar los trenes de engranajes a la estructura utilizo varilla de acero o cuerda de piano de 5 mm de diámetro. Tiene que ser muy dura, para que no se doble lo más mínimo ya que de lo contrario se alteraría la distancia entre las piezas.

Los tubos de latón los utilizo para dar mayor robustez a los orificios de las piezas que giran en los ejes. Aunque la madera no presenta mayor fricción con el acero puede ir desgastándose con el tiempo. Esto es un poco manía mía. Otros constructores no usan esta técnica.

Para transmitir diferentes velocidades de rotación entonces los tubos sí que son imprescindibles. Así, por ejemplo, en el eje principal la corona principal transmite su movimiento a la aguja de los minutos con un tubo de latón de 6 mm de diámetro. En ese mismo eje, la corona de 32 dientes transmite su movimiento a la aguja de la hora por medio de un tubo de latón de 7 mm que gira sobre el anterior.

Tanto los tubos de latón como las varillas de acero las pulo con una lija de grano 2000 o 3000. Para ello inserto la pieza en el taladro eléctrico y voy pasando la lija de adelante hacia atrás a la par que la pieza va girando. Es importante un buen pulido para reducir fricciones y facilitar la colocación de estas piezas en los orificios correspondientes.

Para el corte de estos materiales utilizo bien el mini taladro con un disco amolador o bien el corta tubos de toda la vida. Una vez cortados, lima de diamante para eliminar las virutas.



4.3. Incidencias durante la construcción y el ensamblaje. Cambios al diseño original

Una vez cortadas las piezas hay que proceder a su ensamblado.

Cuando se trata de pegar madera lo más práctico es la cola blanca o el cianocrilato. Si la madera presenta algún desperfecto se puede reparar con pasta de madera que una vez seca se puede lijar e incluso teñir. Es frecuente, aunque muy frustrante, encontrarse con zonas huecas en el contrachapado, zonas que solo se manifiestan cuando se ha cortado la pieza.

Para comprobar si una pareja de engranajes está perfectamente ensamblada basta con montar dichas piezas sobre sus respectivos ejes y soplar para que se muevan. Si soplando no somos capaces de moverlas es que no están bien alineadas. En estos casos hay que ir moviendo lentamente el engranaje transmisor sobre el receptor y averiguar donde se origina el problema. Muchas veces puede tratarse de que un diente incida sobre el fondo del otro engranaje o que la cara superior de un diente interfiera con la cara inferior de otro diente en el otro engranaje.

Es importante marcar el lugar donde hacemos el ensamble y revisar las incidencias a partir de dicho punto. De nada vale resolver problemas de alineamiento si cada vez que ensamblamos los engranajes lo hacemos por lugares diferentes.

Y a pesar de todas estas revisiones es muy posible que el reloj se pare. Una vez montado hay que ir observando donde se para, marcar esas zonas con un lápiz y resolver los problemas que originan la parada del reloj.

Hoy es 30/03/2023 y tras algo más de un mes de trabajo finalmente he podido completar la construcción del "Columbretes". Si con el "Swingtime" tuve la sensación de que su construcción y ensamblaje fue relativamente fácil, no puedo decir lo mismo del "Columbretes". He tenido varios momentos en los que he estado a punto de arrojar la toalla, básicamente porque el reloj se paraba y no era capaz de averiguar el origen del problema. Mi mujer es fiel testigo de ello y fue ella quien me animó a no rendirme. Me llevó varios días ajustar algunas cosas para que el reloj finalmente funcionase correctamente. Hay que tener mucha paciencia con este tipo de proyectos.

No he tenido que hacer demasiadas modificaciones al diseño original. El principal cambio ha sido el de las proporciones, que tuve que hacer en cuanto imprimí el péndulo y me di cuenta de lo excesivo de las dimensiones. Pero eso por fortuna, lo corregí antes de empezar a cortar las piezas.

Un gran acierto de diseño son las paletas de 7.5 dientes. Podría haber escogido unas de 5.5 dientes, por ejemplo, pero eso habría aumentado el ángulo de oscilación del péndulo. El péndulo oscila muy poco, lo que confiere un suave vaivén al barco y a las olas. Un ángulo de oscilación mayor me hubiera ocasionado muchos problemas de interferencia con coronas y habría desvirtuado un poco mi idea de un balanceo "suave".

Respecto de la estructura, aunque la diseñé para que fuese estéticamente bonita a la vez que robusta, he tenido que reforzarla. La distancia entre ejes es crítica y si la madera cede o padea lo más mínimo, esto afecta al correcto funcionamiento de los engranajes. A pesar de que está fabricada con madera de pino de 18 mm de espesor, debido al peso de los mecanismos, los brazos de coral tienden a combar ligeramente. Además, el peso del péndulo hace que la estructura vertical

tienda a vencerse. De momento el reloj funciona correctamente pero quizás con el tiempo y debido al peso, haya que hacer más ajustes.

Aquí muestro una fotografía de la estructura ya reforzada con un mini coral adicional:



Otra cuestión que he modificado durante la construcción respecto del diseño original ha sido la “profundidad” del reloj. En el diseño dispuse de arandelas y soportes de grosores relativamente “generosos”. Durante la construcción he tenido que limitar estos grosores al mínimo imprescindible, a fin de reducir los pares de fuerza a los que está sometida la estructura, tal como he referido anteriormente.

También he cambiado las agujas del minuterero y de la hora ya que las que mostré en la sección del diseño eran exactamente iguales a las del Swingtime. En este proyecto no se trata de copiar los diseños de otros ya que debe ser lo más “exclusivo” posible.

Aunque en el diseño original dispuse de unas cañas e hilos para sujetar los plomos, he simplificado esta parte. Me daba bastante miedo que con el rozamiento producido con el vaivén los hilos terminaran cortándose. Así que en su lugar he dispuesto de unas varillas de alambre de 1 mm de diámetro que no van a sufrir ningún tipo de desgaste con el tiempo.

Por último, he querido incorporar un rodamiento al “pulpo” ya que me preocupaba que el peso de este, junto al de los engranajes que soporta, pudiera generar rozamiento que pudiera frenar el movimiento de los tubos de la hora y del minuterero y que por extensión pudiese parar el reloj.

En cualquier caso, son relativamente pocos cambios al diseño original lo que habla de una buena planificación y de haber anticipado y resuelto bastante bien los potenciales problemas durante el ensamblaje y posterior interacción de los mecanismos.

Es una enorme satisfacción ver como una idea que surgió de forma espontánea se ha podido llevar a la práctica, eso sí con bastante esfuerzo y paciencia. Ahora entiendo realmente que tan difícil era el diseño y la construcción de aquel bonito reloj que vi en mi juventud en casa de mi

amigo. Y puedo decir orgulloso que he sido capaz de diseñar y elaborar mi propio reloj de engranajes de madera. El “Columbretes” es ya una realidad.



He editado un vídeo donde explico este reloj en detalle. En el mismo vídeo he incorporado una nueva versión del ensamblaje de las piezas elaboradas en Fusion 360 que recoge los cambios incorporados durante la fase de construcción.

<https://www.youtube.com/watch?v=EySEuS5GYuU>

¡Hasta la próxima!

-----o-----