

RELOJ MATEMÁTICO “FIBONACCI”

Por Pedro Eisman Cabado, octubre 2024

- GUIA DE OPERACIÓN -



Versión actualizada el 16/09/2025

1. INTRODUCCIÓN

La idea original de este reloj surgió en 2015 cuando el canadiense Philippe Chrétien llevó cabo un crowdfunding para su diseño y construcción. El proyecto tuvo éxito y varios de aquellos relojes originales fueron comercializados durante los años posteriores, aunque hoy en día el reloj ya no se encuentra a la venta. No obstante, el autor dejó muchos detalles constructivos del mismo, así como el código de programación para su funcionamiento con un Arduino. Desde entonces son muchos los autores que han realizado réplicas o variaciones del diseño original de este reloj.

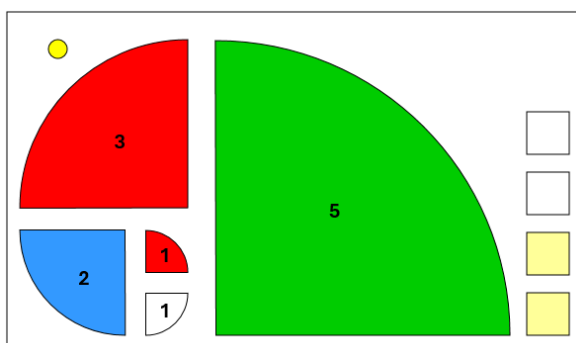
El modelo que he elaborado se basa en una versión de Pierre Boutet en la que se utilizan tiras de leds RGB direccionables, en lugar de los leds utilizados por Philippe cuyo diseño y funcionamiento son algo más anticuados. A esta versión le he incorporado dos “mejoras”. La primera ha sido incluir un led indicador AM/PM y la segunda y más compleja la de añadir un sistema de marcación de minutos dado que el modelo original solo marca múltiplos de 5 minutos. Más adelante se entenderán mejor estas “mejoras”, cuando explique el funcionamiento del reloj. En cualquier caso, lo más complejo ha sido modificar el código del programa C para poder incorporar los cambios. Refiero “complejo” porque mis conocimientos de programación en C son bastante escasos y posiblemente mis líneas de programación sean más que mejorables... El resto del diseño y el proceso constructivo no han presentado mayores complicaciones.

La sucesión de Fibonacci comienza con un 0 y un 1. El siguiente número se corresponde con la suma de los dos anteriores, que en este caso da otro 1 ($0+1=1$). La sucesión continúa sumando el último número con su anterior y de esta forma se obtiene la siguiente serie:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144,

Esta sucesión tiene multitud de aplicaciones en la práctica (análisis técnico-financiero, arquitectura, etc.) aunque debió ser un “genio” el que tuvo la ocurrencia de usarla para dar la hora en un reloj. Pues bien, veamos cómo se aplica la serie Fibonacci para dar la hora en nuestro modelo.

2. LECTURA DE LA HORA

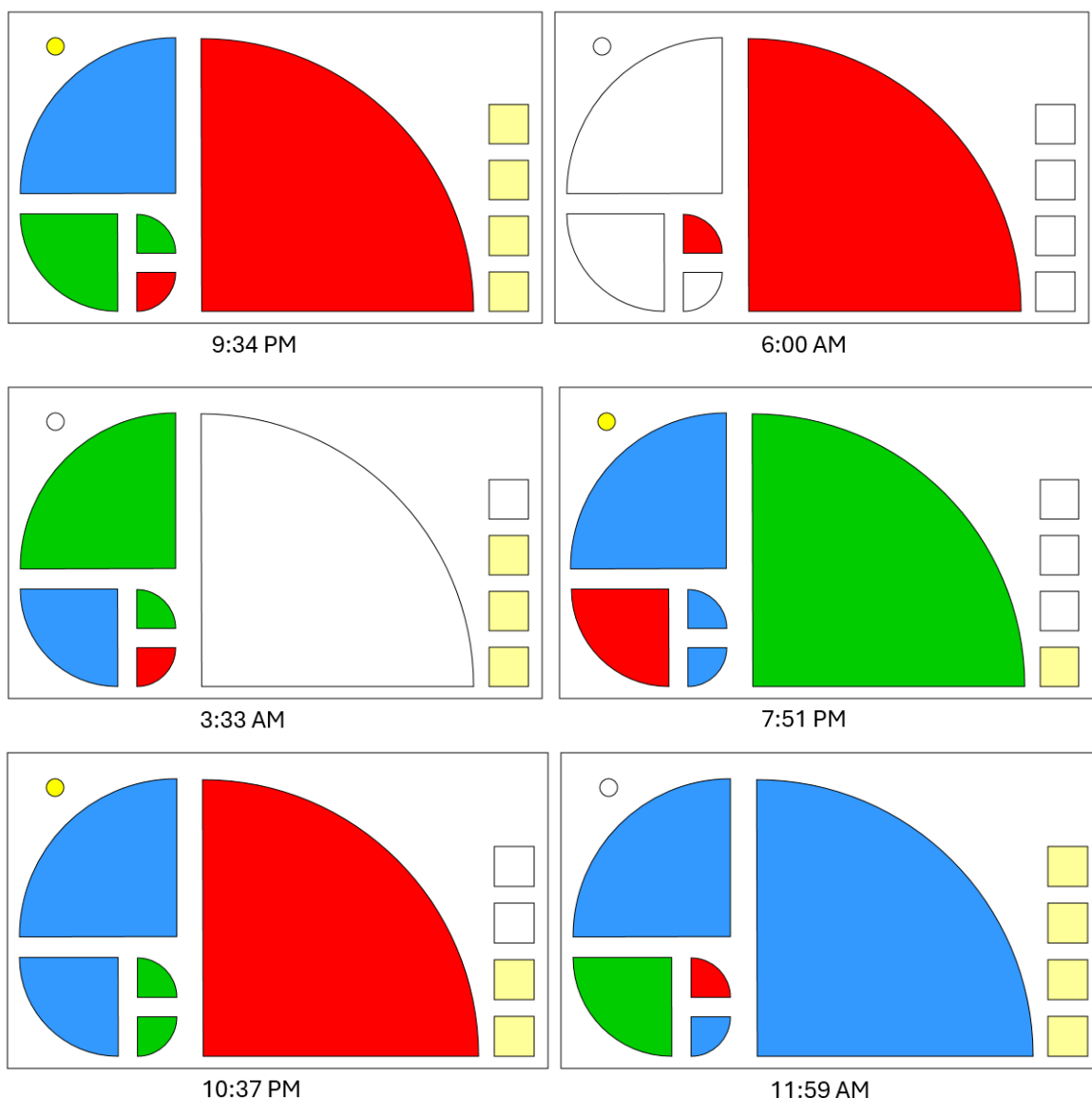


La parte frontal del reloj dispone de varias áreas que pueden iluminarse con diferentes tonos de luz. Por un lado, tenemos los cinco cuartos de círculo que representan una espiral de Fibonacci y que tienen valores de 1,1,2,3 y 5. Los dos cuartos más pequeños (se muestran en la figura en blanco y en rojo) tienen un valor de 1. El que aparece con color azul tiene un valor de 2. El superior a estos (en rojo) vale 3 y finalmente el más grande (en verde) vale 5.

El color rojo sirve para calcular las horas, el verde los minutos y el azul se aplica a ambos (horas y minutos), mientras que el color blanco es neutro. Para conocer la hora basta con sumar los valores de los cuartos de círculo iluminados en rojo y en azul. En el ejemplo anterior están iluminados los de valor 1, 2 y 3, es decir, son las 6 (1+2+3 = 6). Ahora bien ¿son las 6 de la mañana o las 6 de la tarde? Para ello basta mirar el led redondo de la esquina superior izquierda. Si el led está iluminado entonces la hora es PM. Si el led está apagado la hora es AM. Este led es una de las mejoras que he incorporado y que he mencionado anteriormente.

Para obtener los minutos hay que sumar los valores de los cuartos de círculo iluminados en verde y en azul y su resultado multiplicarlo por 5. En el ejemplo anterior hay que sumar el valor del cuarto de círculo azul (2) al valor del verde (5) y al resultado multiplicarlo por 5: $(2+5)*5 = 35$. Es decir, el reloj marca 35 minutos. Como puede observarse estos sectores solo marcan los minutos como múltiplos de 5 (de 5 en 5 pero no individualmente). Así es el diseño original de Philippe Chrétien. Y aquí es donde entra la segunda mejora. Los cuadrados pequeños de la parte derecha indican los minutos que faltan entre los múltiplos de 5 (minutos de 1 a 4). En este caso hay dos cuadrados iluminados por lo que hay que sumar dos minutos más a los 35 calculados. Así, la hora completa que nos da el reloj en el ejemplo es: 06:37 h PM (18:37 h).

Muestro algunos ejemplos más para mejor referencia.

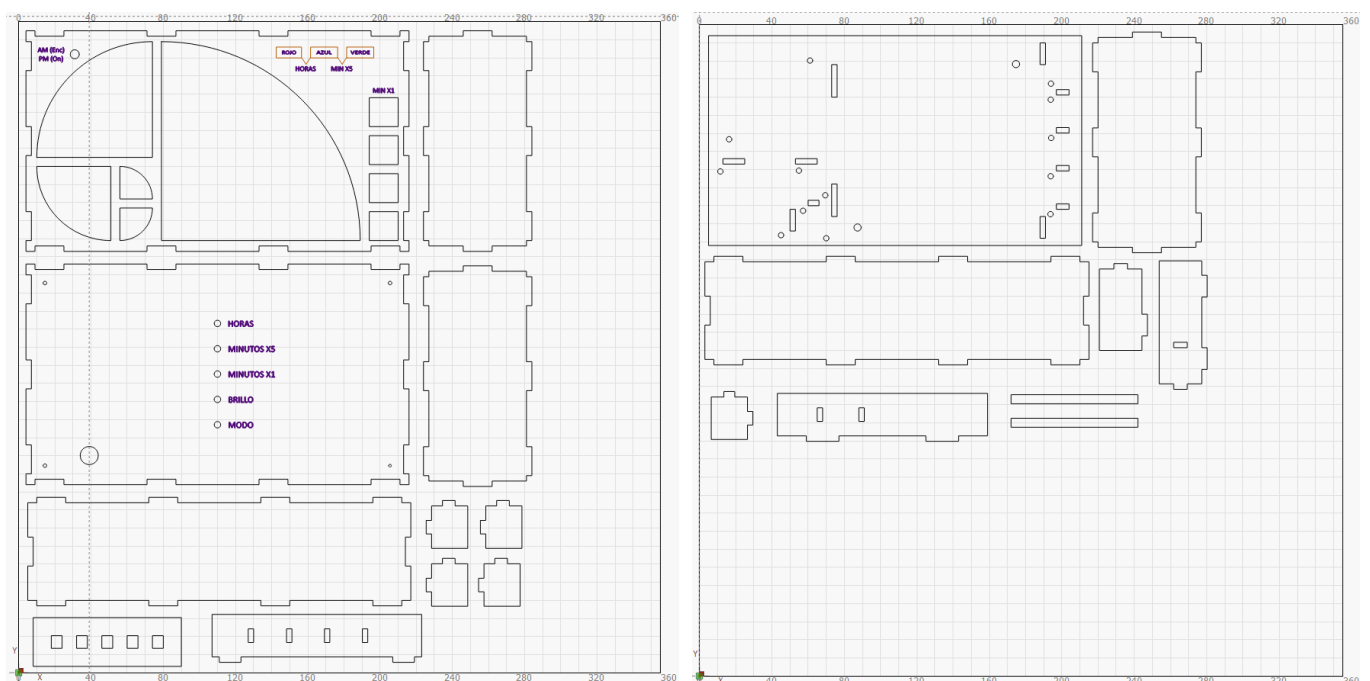


3. MATERIALES Y ESTRUCTURA

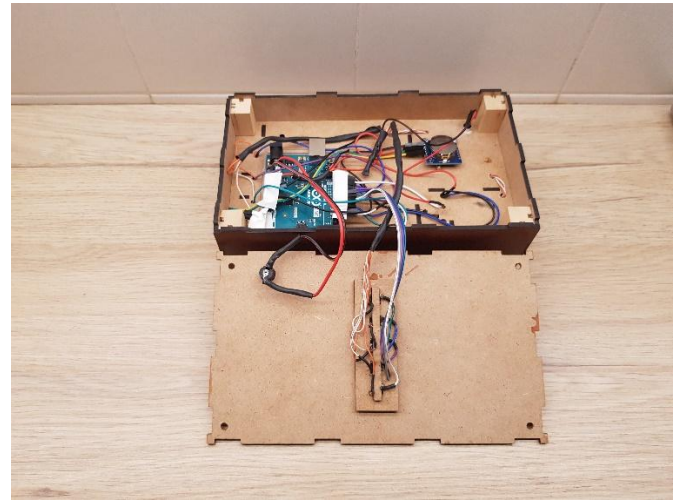
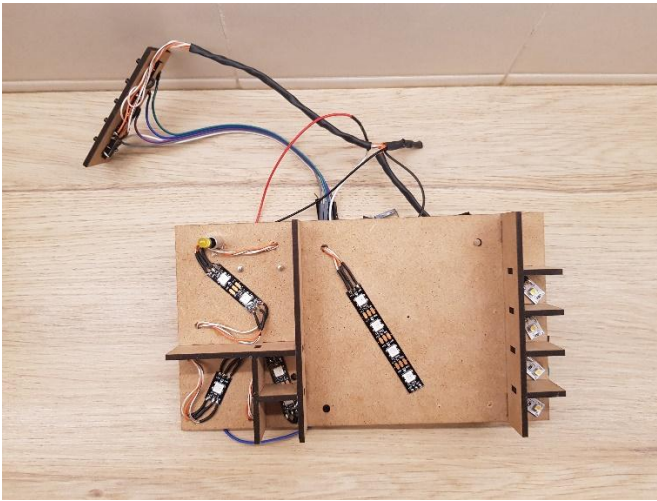
Para la elaboración del reloj se han utilizado los siguientes materiales:

- Plancha de MDF de 3 mm de espesor
- Cuadradillo de samba de 15*15 mm² de sección
- Plancha de plexiglass de 1.2 mm de espesor
- Plancha de evergreen de 0.25-0.5 mm de espesor
- Placa de Arduino Uno R3
- 5 pulsadores de 6mm*6mm
- Placa RTC DS1307 con pila CR 2032 (posteriormente reemplazado por DS3231)
- Tira led blanco cálido de 5v (posteriormente reemplazada por WS2812B)
- Tira WS2812B de leds RGB direccionables a 5v
- Led diodo amarillo 5v con su resistencia (posteriormente reemplazado por WS2812B)
- Fuente de alimentación de 9V
- Conector Jack hembra para fuente de alimentación
- Jumpers y cables varios
- Tubos termo-retráctiles
- Estaño de soldadura
- Cola blanca y cianocrilato
- Tinte sapelli y barniz mate en spray
- Tirafondos
- Fieltreros protectores

La estructura que alberga la electrónica está elaborada con plancha de MDF de 3 mm de espesor, la que he cortado con mi cortadora laser. Su diseño lo he realizado en Fusión 360 dando como resultado unas dimensiones totales de 210*120*60 (mm).

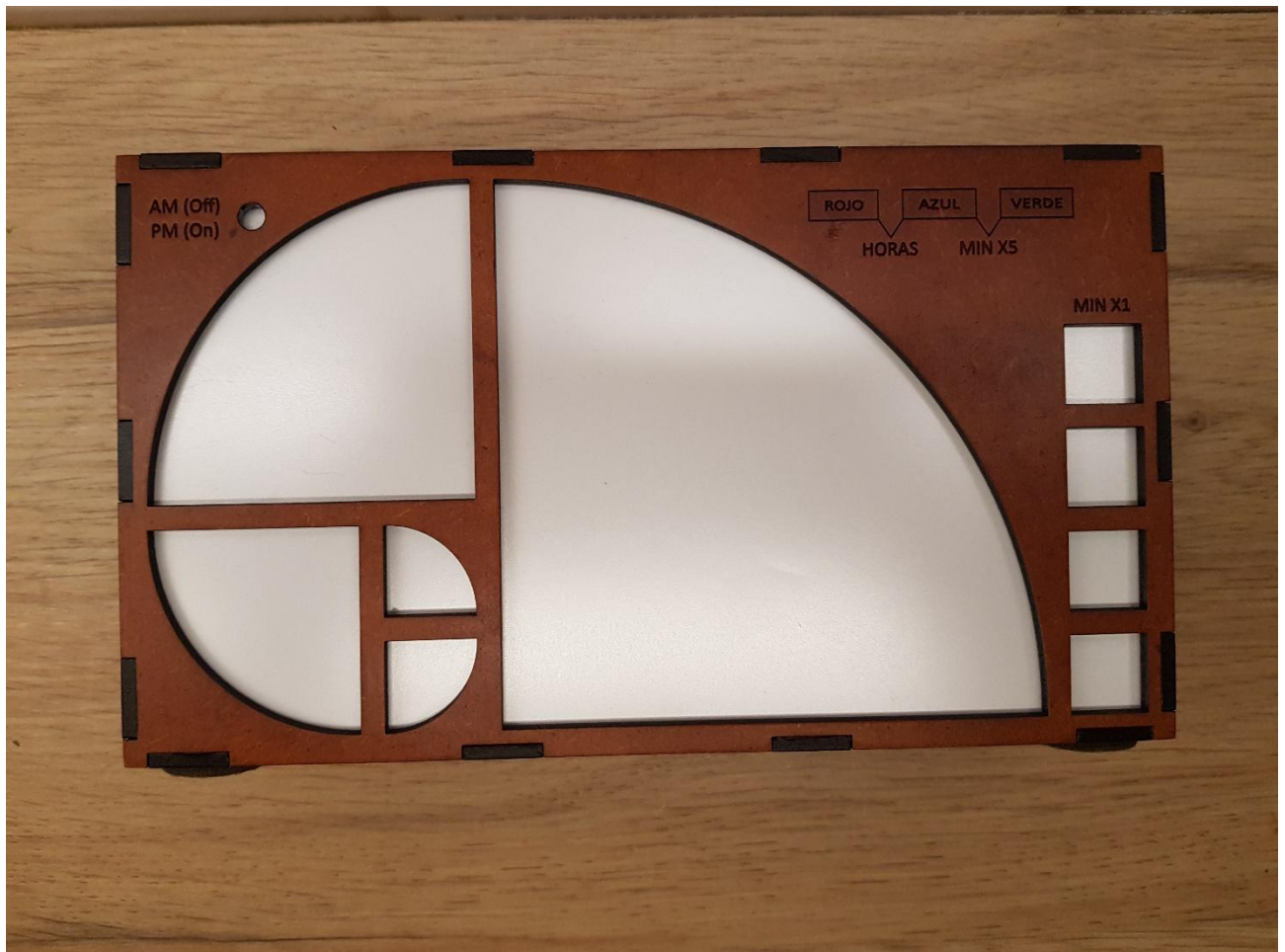


En el interior de la caja se aloja una plancha transversal en la que por una cara se disponen las diferentes tiras de leds y por la otra se ubica el Arduino y el resto de los componentes.



A efectos de difuminar y tamizar la luz, en el interior de la parte frontal de la caja se han colocado dos planchas de plexiglass translucido superpuestas, entre las cuales se ha insertado a su vez una lámina de evergreen fino.

En la parte frontal también se han grabado con la cortadora algunas indicaciones para la lectura del reloj.

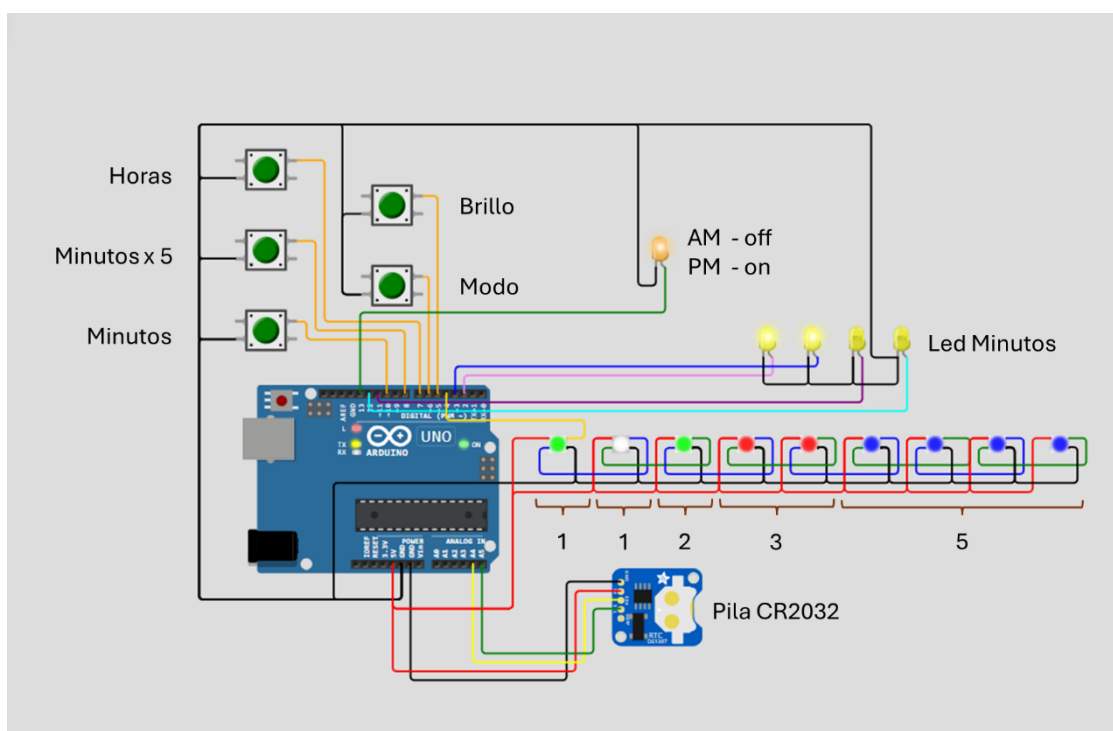


La parte trasera va atornillada a la caja para poder acceder a su interior y poder cambiar la pila CR2032 como se explica más adelante. En esta tapa van ubicados también los diferentes interruptores que lleva el reloj.



4. CIRCUITO Y PROGRAMA

El esquema del circuito eléctrico que lleva montado el reloj se muestra a continuación:



Los diodos RGB direccionables se han dispuesto en los sectores de los cuartos de círculo para que puedan cambiar de color y den la hora conforme se ha descrito anteriormente. Para la zona de los minutos individuales ha bastado colocar leds normales de color blanco cálido y alimentados a 5v, que es la tensión que se obtiene en la placa de Arduino.

El reloj lleva cinco pulsadores. Los tres primeros (Horas, MinutosX5 y MinutosX1) sirven para ajustar la hora del reloj. Cada vez que se pulsa uno de estos pulsadores se incrementa una unidad la medida correspondiente.

La hora se almacena en la placa RTC DS1307 gracias a su cristal y a la pila CR2032. De esta forma si se desconecta la fuente de alimentación el reloj guarda y mantiene la hora actualizada. Esta se vuelve a mostrar en cuanto el reloj se conecta de nuevo a la fuente de alimentación. La pila tiene una duración aproximada de dos años por lo que hay que hacer un mantenimiento periódico del reloj (cambio de pila) si se quiere mantener esta funcionalidad.

Los otros dos pulsadores corresponden a la intensidad del brillo de los leds direccionables y al modo de color (el reloj tiene 10 combinaciones diferentes de colores).

El código de programación modificado se encuentra disponible en mi página web al igual que esta guía.

- Página Web:

<https://modelismo-naval-de-pedro-eisman-cabado6.webnode.es/>

- Código Arduino:

<https://6ba78c150b.cbaul-cdnwnd.com/4a4107817092eaea2550fe1765145cbf/200000402-759cd759d0/codigo%20fibonacci.txt?ph=6ba78c150b>

5. MEJORAS EN LEDS Y RTC INCORPORADAS EN VERSIONES POSTERIORES (diciembre 2024)

Después de haber elaborado varios modelos observé dos anomalías que tenía el reloj y que necesitaban ser corregidas:

- El módulo RTC DS1307 no actualizaba correctamente la hora. El reloj adelantaba un minuto al cabo de unas pocas semanas.
- El interruptor de brillo solo funcionaba con los leds RGB direccionables y no a con los de los minutos ni con el de la señal AM/PM.

En una nueva versión se han sustituido los leds de los minutos y el de AM/PM por leds RGB direccionables. Se han cambiado a color a amarillo y a color morado respectivamente. Los leds de minutos se mantienen encendidos en blanco cuando no contabilizan, de forma similar a como actúan los de la espiral Fibonacci. Estos nuevos leds se pueden ajustar con el interruptor de brillo.

También se ha cambiado la placa RTC por la DS3231 que tiene el oscilador de cristal compensado de temperatura y por tanto tiene una mayor precisión al actualizar la hora.

He realizado algún pequeño cambio estructural en la parte frontal del reloj para incorporar los cambios anteriores y he actualizado el código Arduino en mi página web.

6. CAMBIO DEL DISEÑO PARA INCORPORAR LEDS INTERCAMBIABLES SIN SOLDADURA (abril 2025)

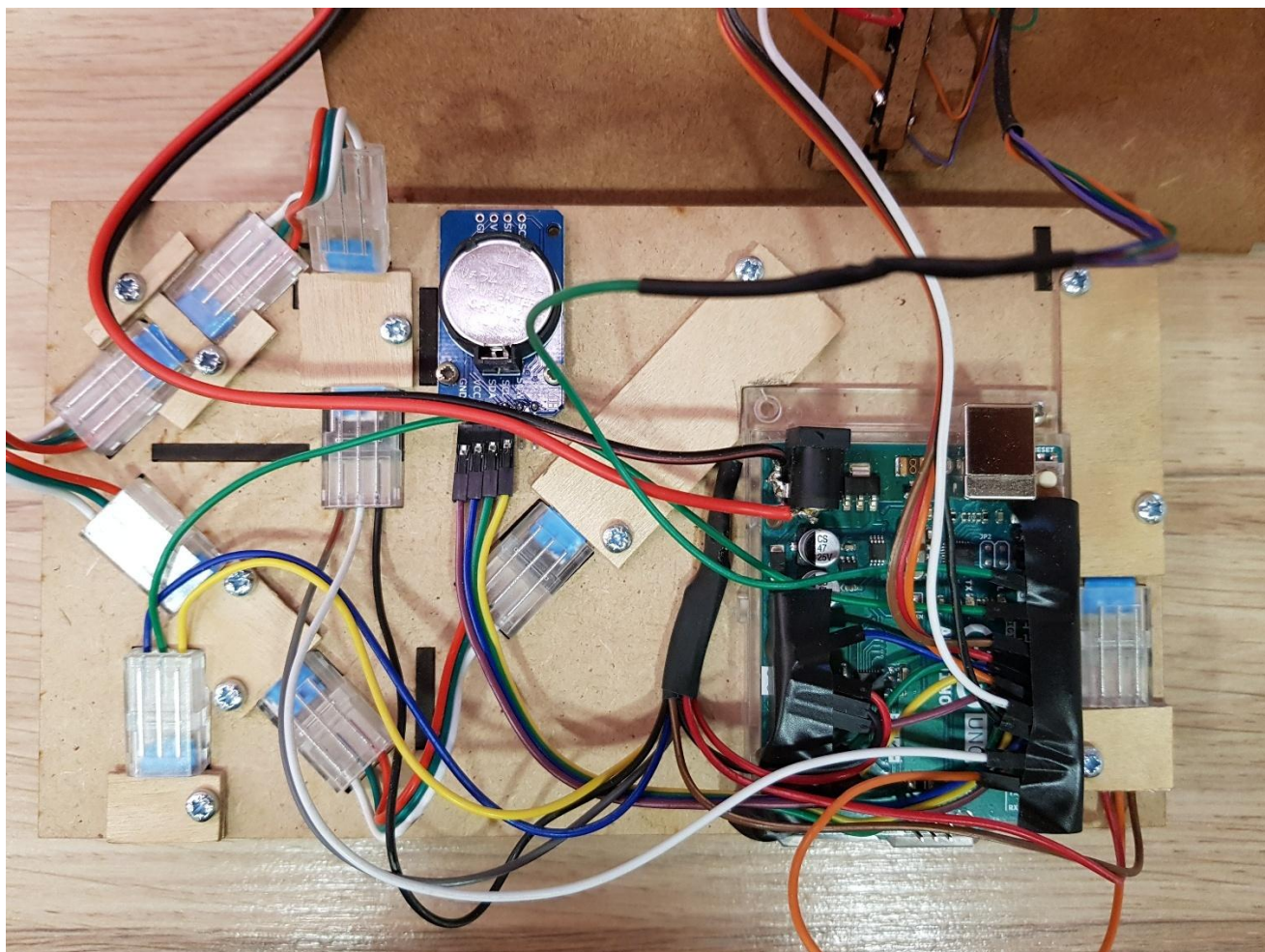
Otro problema que se ha planteado tras unos meses de funcionamiento es el de la obsolescencia programada, esto es, que tras unas determinadas horas de funcionamiento los leds terminarán por fundirse.

Según el fabricante, los leds WS2812B RGB direccionables pueden alcanzar una vida útil de 50.000 horas. Esto equivale a unos 5.8 años en funcionamiento continuo e ininterrumpido. Claro está que la vida puede alargarse si se baja el brillo o se apaga el reloj durante algunos periodos de tiempo (p.e. por la noche). Pero lo que es evidente es que debería ser relativamente sencillo reemplazar los leds cuando se fundan, algo que lamentablemente no es el caso con el diseño original.

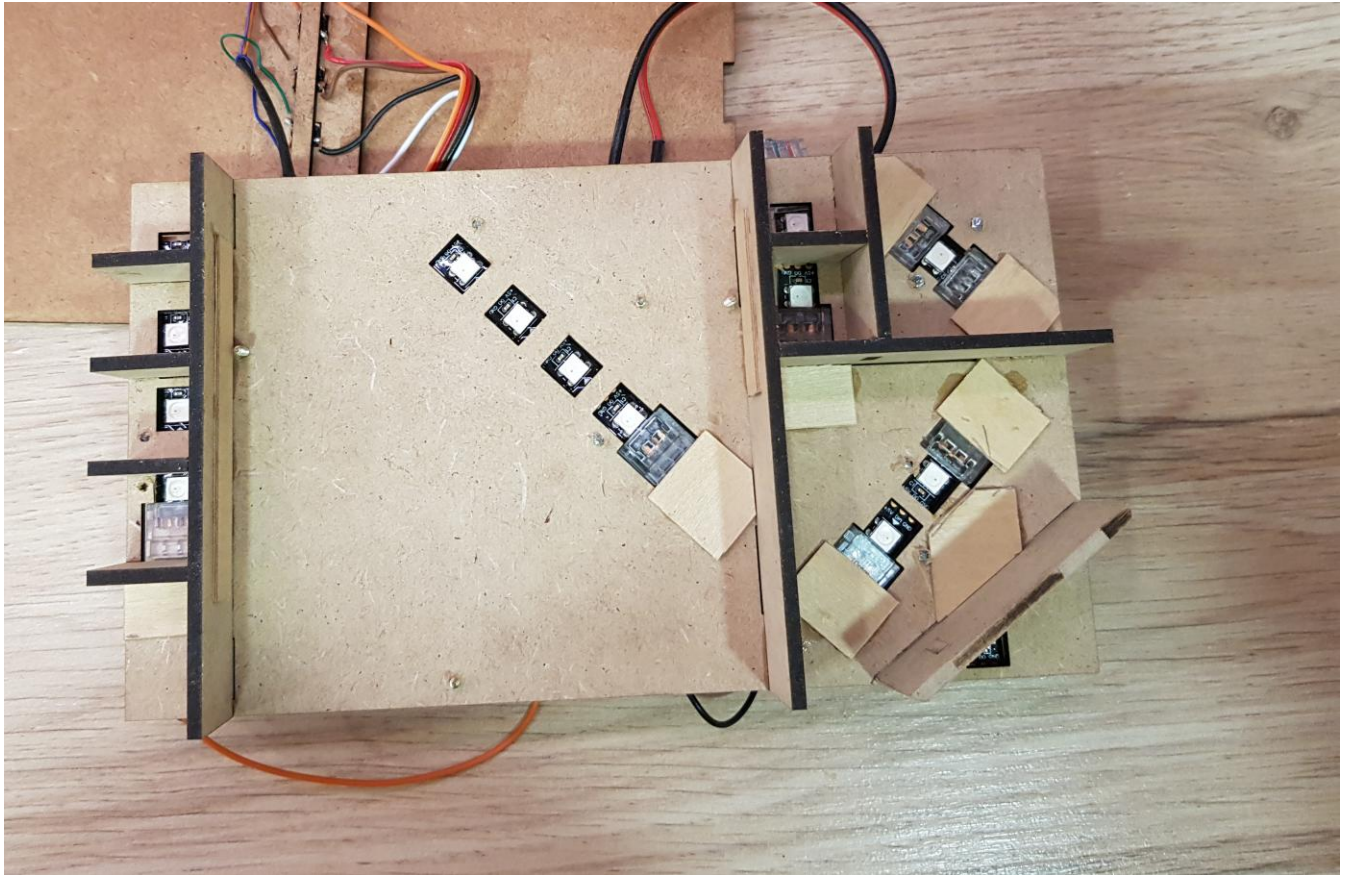
En el modelo original las tiras de leds van soldadas con cables muy finos y van acopladas en el reverso de la plancha interior. Para acceder a ellas hay que despegar los cuadradillos laterales que sirven para sujetar los tornillos del cierre de la tapa posterior del reloj (ver fotos del apartado 3). El cambio de los leds exige por tanto desarmar el reloj y realizar nuevas soldaduras, tarea que resulta muy tediosa y que requiere de conocimientos, así como de materiales específicos para la soldadura.

La mejora que he llevado a cabo ha consistido en rediseñar el interior del reloj incorporando unos conectores de tiras de leds que no requieren de soldadura y que se montan a presión. De esta manera cualquier persona, sin necesidad de ninguna herramienta especial, es perfectamente capaz de cambiar las tiras de leds fundidas.

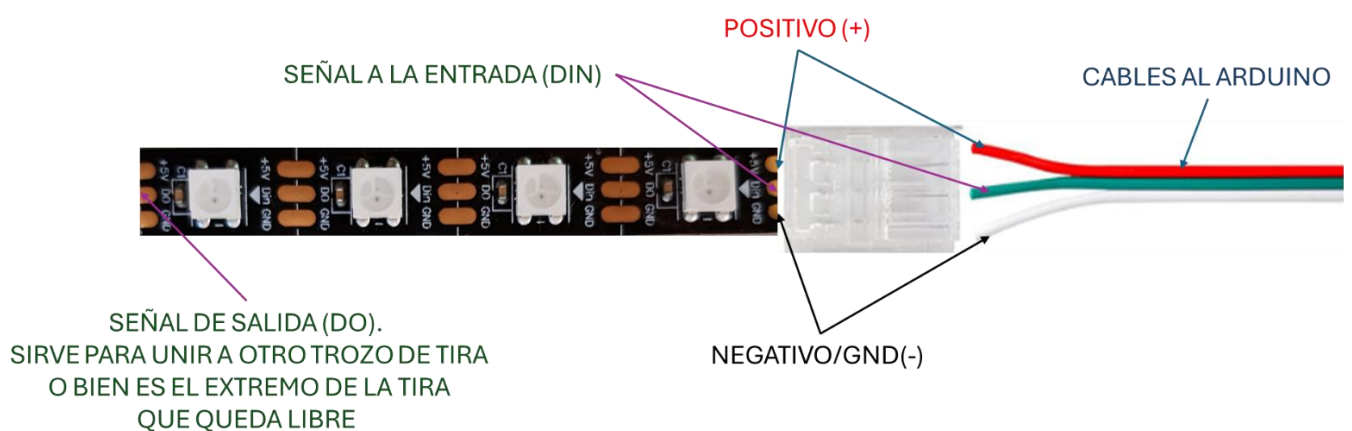
Se ha ajustado todo al milímetro para permitir salvar el resto de la estructura interna y sobre todo la carcasa externa del reloj.



Se han abierto orificios en una nueva plancha intermedia para incorporar las tiras de leds y los conectores desde el otro lado. Estos orificios están ajustados a fin evitar sombras y fugas de luz.



Las tiras van sujetas al conector por presión. Para cambiarlas basta con levantar la pestaña del conector con un pequeño destornillador para hacer palanca. Al cambiar las tiras de leds hay que tener atención a dos cuestiones: la polaridad y la dirección de la señal (entrada o salida).



En cada modelo del reloj se ha incluido una bolsa con dos sets completos de tiras de leds para reemplazarlas cuando se fundan.

He aprovechado este cambio en el diseño para pedirle a mi amigo Pepe que me ayudase a incorporar algunas mejoras en el software, solicitud que muy amablemente ha atendido. Por un lado, ha efectuado una limpieza del código a fin de optimizar los tiempos de procesamiento del Arduino. Por otro lado, ha ajustado el botón del brillo de forma que pueda memorizarse y que el brillo se mantenga en caso de desconexión de la alimentación. Basta con pulsar el botón de brillo hasta el nivel deseado y el Arduino guarda los cambios a partir de los 30 segundos desde que se pulsa dicho botón.

Pepe ha aportado de su cosecha unas “campanadas” luminosas. El reloj parpadea en cada hora tantas veces como marca la hora.

También se ha simplificado la paleta de colores de la función “modo”. Se ha dejado solo la paleta clásica rojo/azul/verde/amarillo.

Por último, se ha incorporado una función “lámpara” que se activa presionando el botón “modo”. En modo “lámpara” todos los leds se iluminan de igual forma y el reloj va cambiando de color gradualmente pasando por los diferentes colores del arcoíris. Presionando nuevamente el botón “modo” se regresa al modo “reloj”.

Los cambios anteriormente referidos se han actualizado en los documentos que se muestran en mi página web.

7. ANÁLISIS DE COSTES (abril 2025)

ITEM	COSTE €
ARDUINO UNO R3	28.97
FUENTE ALIMENTACION	8.25
PLEXIGLASS	6.00
LEDS	6.00
CONECTORES TIRA LED	4.95
BARNIZ	3.15
RTC	3.10
EVERGREEN	3.00
MDF	2.50
FIELTRO	1.00
JUMPERS	1.00
PULSADORES	1.00
CLAVIJA JACK	0.60
OTROS (CABLE, ESTAÑO, CONTRACHAPADO, PEGAMENTO, TINTE, TERMO-RETRACTILES, CUADRADILLOS, TAPAPOROS, TORNILLOS, ETC.)	6.00
TOTAL	75.52

DISEÑO, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA NO INCLUIDOS