UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAITIE)

“CONVOCATORIA 2017”

II PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Título del Trabajo: Tech tat

AUTOR/ES:
Juan Gómez Lagándara
Yeray García del Castillo
Álvaro Yangüez Bachiller
Huan Ho Lee
Pablo Lima Hernández

BLOQUE TEMÁTICO:
Urbanismo inteligente

NIVEL EDUCATIVO:
Bachillerato

COORDINADOR:
Jesús Almaraz

Resumen

Se trata de un tatuaje inteligente para ayudar al usuario con su salud y condición sanitaria. Aparte de eso, el tatuaje tiene una gran cantidad de funciones y es modular. Estos tatuajes son altamente personalizabas y, al estar basados en tecnología open source, podemos liberar esta información para que otros usuarios contribuyan a un desarrollo más fiable y estable de los tatuajes. Este tatuaje es una investigación que pretende plantear una alternativa a la tecnología separable planteada hasta la fecha. Esta nueva tecnología deja paso a un camino en el que los wearables no serán una tecnología comercial sino de hacerlo tú mismo (DIY). El tatuaje recoge no sólo los datos médicos del usuario aunque es para lo que ha sido diseñado en principio sino que al ser de tecnología libre y abierta, se pueden añadir todo tipo de funcionalidades como sistemas de pagos por NFC, botones táctiles, sensores de presión, temperatura, fuerza etc… Estos tatuajes usan como CPU un microcontrolador (MCU) de la empresa norteamericana Adafruit y como tinta se utiliza la única tinta orgánica eléctrica, la Electric Saint de Bare Conductive. La resistencia eléctrica de esta tinta varía según es disuelta en agua ademas de como se coloque lo que nos permite hacer botones en nuestra piel, sensores y hacer de las propias pistas de tinta resistencias eléctricas para ahorrarnos material físico sobre la piel del usuario. El MCU es recargado con una batería externa de polímero de Litio y es adaptable a un módulo Bluetooth de baja frecuencia para poder ser conectado con beacons y otros sistemas de recibimiento de datos que funcionen por conexiones Bluetooth de baja frecuencia.

Palabras Clave

Pech tat, impresión 3D, tinta electrónica, usuario, salud, open source.

UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA

Índice

Resumen **2**
Palabras Clave **2**
Índice **3**
Tech tat **4**
1. Desarrollo *4*
1. Introducción *4*
2. Objetivos *6*
3. Metodología *7*
4. Resultados *16*
5. Conclusiones *17*

Tech tat

Este proyecto busca solventar el problema de acceso y gestión de los datos de salud del usuario así como buscar acceso a la tecnología del urbanismo inteligente. Con esta finalidad se ha desarrollado un tatuaje inteligente y personalizable por parte del usuario para la obtención de datos médicos y vitales así como sistemas de bluetooth de baja frecuencia y chips NFC para pagos móviles. De momento, el prototipo diseñado por el equipo permite la obtención de dichos datos médicos por parte de un especialista médico y un ordenador. En un futuro cercano se espera poder transferir para el uso personal estos datos médicos en un dispositivo móvil como un teléfono móvil o una táblet.

1. Desarrollo

La realización de este proyecto ha requerido una elaborada y cuidadosa investigación. La finalidad primordial ha sido optimizar el resultado total al máximo. La investigación se ha realizado en campos concretos como: la programación (el código), el estudio de las características y el comportamiento de materiales como el PLA en filamento para impresora 3D, junto la tinta necesaria para hacer el tatuaje (que debe ser biocompatible y orgánica) y microcontroladores compatibles con los sensores y por último, los requisitos del sistema para poder desempeñar todas las tareas con velocidad y fluidez necesarias para proporcionar la garantía de una experiencia de usuario perfecta.

1. Introducción

La idea surgió con el objetivo de dar respuesta a la necesidad de unificar la obtención de datos médicos. Durante una asistencia medica o sanitaria común es necesaria la obtención de muchos datos del paciente durante un periodo de tiempo. Con estos tatuajes, tanto el paciente como el médico y el usuario podrán conseguir información de sus constantes vitales así como otros parámetros médicos en tiempo real. A estos tatuajes se les pueden añadir funciones distintas y variadas que no tengan que ver con el campo biomédico, de hecho hemos desarrollado una función para pagos por NFC con este tipo de dispositivos así como el contacto con beacons (dispositivos bluetooth de baja frecuencia).

Cuando proyectamos un proyecto con compromiso social y que encajase con urbanismo inteligente, pensamos en la manera en la que nos movemos diariamente. Vamos con prisa a todos los lugares, siempre intentando acortar nuestro tiempo de transporte entre los diferentes destinos. Barajamos distintas opciones como el desarrollo de nuevas aplicaciones móviles para agilizar los pagos y los sistemas de transporte pero estas opciones siempre requerían el suministro de un tercero, una API o un entorno de desarrollo sobre el que trabajar. Con el fin de solventar este problema hemos desarrollado los tech tats, tecnología open source, ampliable, DIY y de bajo presupuesto.

Comenzamos con parámetros de trabajo sencillo: constantes vitales y manejo de diodos LED. Luego, decidimos ampliar nuestro proyecto a placas bluetooth de baja frecuencia y chips NFC. El empleo de chips bluetooth de baja frecuencia en nuestro tatuaje nos permite conectarnos con el smartphone para una lectura de los datos que nuestro tatuaje está programado para obtener. El uso de los chips NFC nos permite ahorrarnos cantidad de objetos que llevamos día a día encima de nosotros, como por ejemplo las tarjetas de crédito. Las tarjetas de crédito al igual que las tarjetas de acceso o transporte funcionan por pagos contactless, pagos que se realizan por una conexión de chips NFC. Nosotros guardaremos la información de nuestras tarjetas en el microcontrolador, así como la de otro tipo de dispositivos que utilicen este protocolo de transmisión como por ejemplo pases de empresa, bonos de transporte público, tarjetas regalo, cupones etc…

2. Objetivos

Los objetivos de este proyecto son: desarrollar un sistema de unificación de gestión de datos médicos y personales en tiempo real, y cualquier otro contenido que requiera de una transmisión de bluetooth de baja frecuencia o chips NFC.

Además se pretende estudiar la viabilidad de la pintura eléctrica sobre la piel humana y sus efectos en ella. Esta pintura lleva unos pocos meses en el mercado y no se ha utilizado en ningún proyecto similar a este en ningún ámbito. Los datos que nos aporte la experiencia con este producto serán sin duda muy interesantes.

Por último se busca trabajar con tinta electrónica y comprobar si las impresoras 3D pueden imprimir en material biocompatible de manera que se puedan utilizar sus impresiones como plantilla de la PCB del tatuaje.

3. Metodología

Lo primero que necesitábamos para nuestro tatuaje era un microcontrolador (MCU) pequeño y que pudiera procesar una gran cantidad de datos y transmitirla sin problemas. Como decidimos que nuestro proyecto sería de tecnología open source, optamos por utilizar MCUs desarrollados por la comunidad maker, que son de bajo coste y de pequeño tamaño para poder así llevar el tatuaje de una manera confortable.

Los MCUs más comunes en el mercado son los de la marca Arduino. Arduino ha conseguido permitir un acceso a la tecnología maker barato y sencillo. Estuvimos investigando sobre la posibilidad de usar sus placas en nuestro tatuaje. Comprobamos que su placa más común, Arduino UNO Rev3 no es compatible con nuestro tatuaje. Esta placa es potente y permite obtener y procesar todos los datos sin problemas. Sin embargo es muy dura y robusta y tiene un elevado coste. Dependiendo del fabricante, esta placa puede variar entre los 20-30€ algo que si queremos abaratar lo máximo los costes supone un inconveniente. Arduino tiene placas más potentes, como por ejemplo el Arduino MEGA o el Arduino DUE, pero estas placas son aún más grandes que la anterior y tienen un excesivo número de pines innecesarios para poder desarrollar nuestro prototipo. Como las placas de Arduino son las más versátiles del mercado, probamos a diseñar la nuestra propia. Tras realizar los cálculos necesarios para saber los componentes electrónicos específicos que se precisan diseñamos nuestra propia placa arduino.

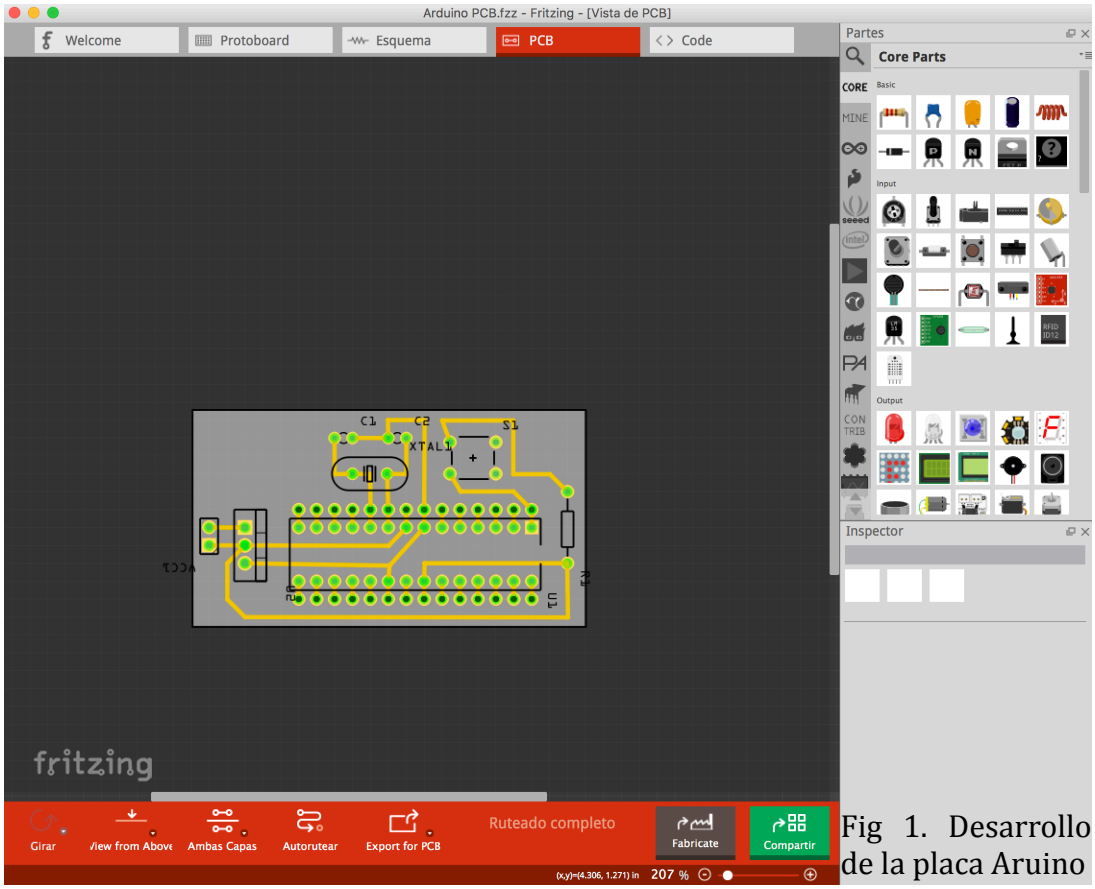


Fig 1. Desarrollo de la placa Aruino

Tras estudiar el prototipo de placa que habíamos diseñado, nos dimos cuenta de que no sería óptimo su uso. Esta placa deja muchos pines del microcontrolador sin usarse además de ser muy rígida (ya que estaría fabricada en plástico y cobre) y alargada. Las dimensiones de esta placa serían de 55,9mm (ancho) por 31mm (alto).

Diseñar nuestra placa con otro MCU no iba a ser tarea fácil. El diseño de una PCB con un microcontrolador que no tenga cierto tamaño en las patillas de soldado no es sencillo ni mucho menos. Para diseñar una placa con un MCU como el del Mega o el Due se requiere de un tipo de específico de fresado que sólo se puede conseguir de manera industrial. Consultamos presupuestos para una placa de estas características y también se excedía de lo inicialmente pensado (el coste es de unos 30€ la placa), así que decidimos seguir investigando en MCUs que fueran pequeños y potentes.

Arduino fabrica MCUs que tienen como objetivo tecnología wearable DIY. Su placa más famosa es la Arduino LilyPad. Esta placa parecía interesante en cuanto a potencia y consumo eléctrico, pero no era compatible con ningún módulo bluetooth de baja frecuencia para poder unir este proyecto con los iBeacons. Decidimos pues investigar sobre sus placas más potentes y pequeñas, los Arduino Genuino Micro y Arduino Pro Mini. Estas placas eran óptimas candidatas al prototipo pero presentabas problemas en su uso. El Arduino Genuino Micro incluía pines ya soldados a la base lo que lo hace extremadamente complicado ponerlo sobre la piel sin que se clavase a esta y el Pro Mini carecía de puerto de transmisión de datos (se tenía que fabricar e implementar uno) lo que lo convertía en un MCU casi inútil para nuestro prototipo.

Encontrar una placa Arduino para nuestro prototipo inicial parecía misión imposible y decidimos lanzarnos a otros fabricantes. Nuestro siguiente en la lista era la empresa norteamericana *Adafruit Industries*. Adafruit tiene una gran cantidad de placas DIY que incluyen MCUs. Su MCU más vendido es la gama Trinket. Los MCUs de Adafruit son más ligeros que los de Arduino, presentan otros procesadores que no son de Motorola y el lenguaje de programación de estos MCUs sigue siendo C++ al igual que lo es para las placas Arduino. Las placas compatibles con nuestra idea eran las Adafruit Trinket (5 y 3,3V) y la Adafruit Pro Trinket (5 y 3,3V). Estas placas son más pequeñas que las placas Arduino, su lenguaje de programación es idéntico y presentan una gran variedad de pines de distintos voltajes que permiten que el MCU sea muy versátil.

Para empezar a trabajar con estos MCUs, nos tuvimos que estudiar las librerías de su funcionamiento. Cada MCU trabaja con unas librerías específicas y las placas de Adafruit no iban a ser menos. Nosotros utilizamos como IDE de programación SublimeText3 con la

extensión Stino. Stino es una distribución creada por la comunidad par poder programar C para microcontroladores sobre el IDE SublimeText.

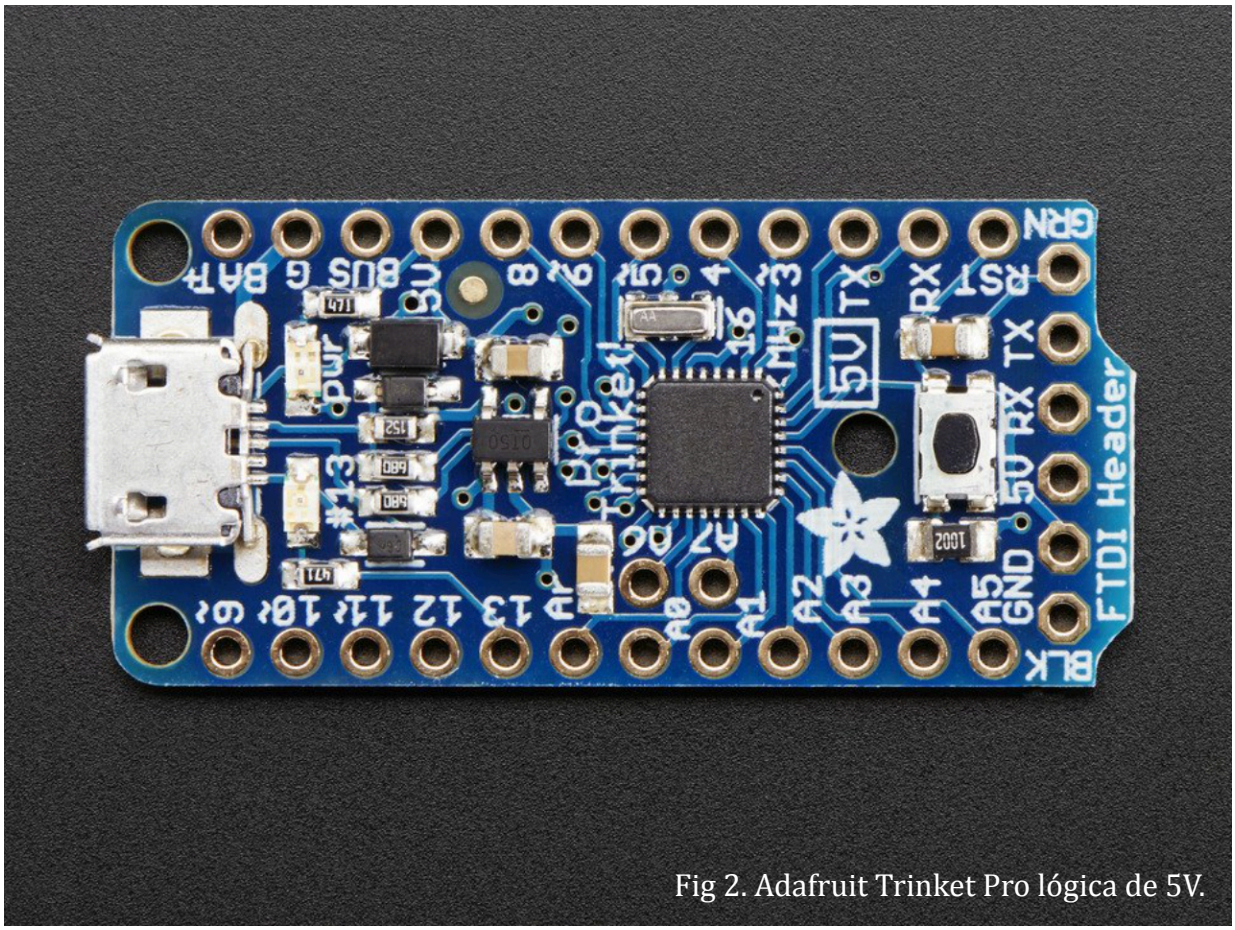
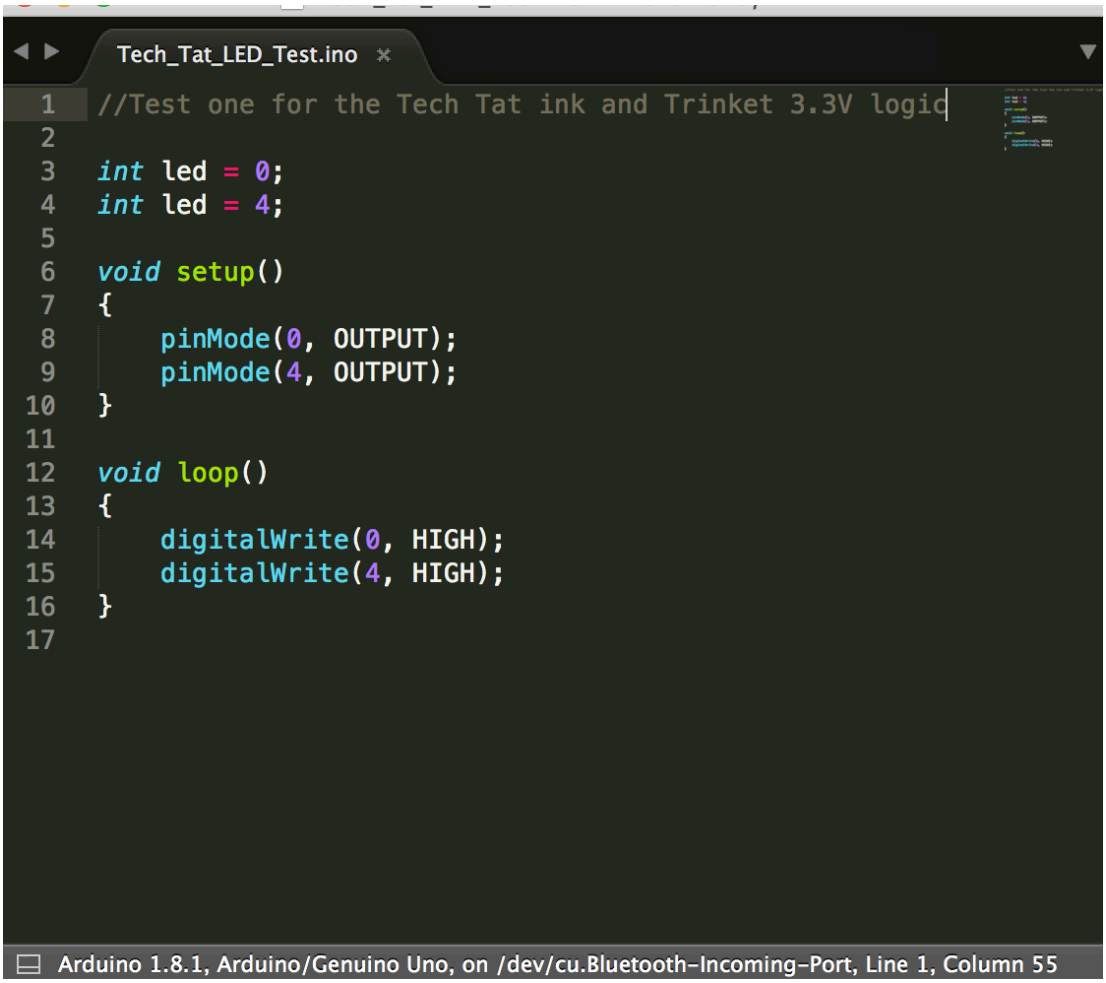


Fig 2. Adafruit Trinket Pro lógica de 5V.

Las placas Trinket que son utilizadas para llevar a cabo esta investigación sobre tecnología separable en tatuajes, no disponen de bootloader. El bootloader viene instalado en las placas Arduino de fábrica, de manera que al conectar el MCU de Arduino al ordenador automáticamente podremos cargar nuestro código. Los Trinket no tienen bootloader y la carga del código debe ser instantánea, en otras palabras, el código debe compilar a la vez que se carga en la placa. Esto nos supone una limitación en el desarrollo del proyecto ya que, si se carece de una batería externa de alimentación del MCU, cada vez que se quieran iniciar las mediciones hay que cargar la programación. Para tener acceso a una batería de manera continua, hemos optado por usar el adaptador de baterías de Adafruit para su propias placas Trinket así como las baterías de litio que fabrican.

Para comprobar que estos microcontroladores fueran compatibles con los desarrollos que queríamos llevar a cabo, hicimos unas pruebas sencillas de ejecución de programación muy básica y así verificar que todo funcionaba correctamente.

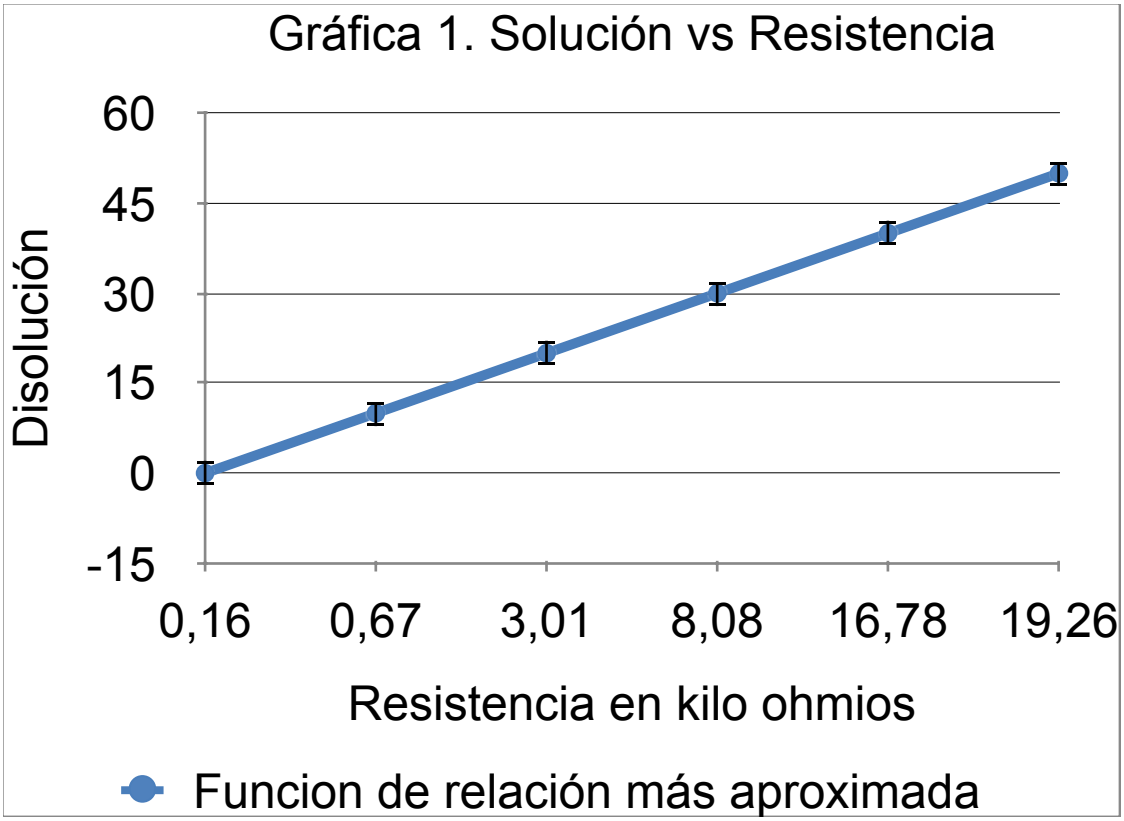


Sabíamos como programar las placas y habíamos solventado el problema de la alimentación de los MCUs, pero teníamos un nuevo reto, la utilización de la tinta electrónica. La tinta electrónica es una tecnología relativamente reciente y que no ha sido introducida en casi ningún sistema similar al que estábamos proponiendo . El problema de la tinta electrónica es que muchas de ellas son fabricadas con materiales pesados y por lo tanto no son biocompatibles, excepto una. La biocompatibilidad en este producto es clave ya que es lo que va a unir el MCU con la piel y todos los demás componentes electrónicos al mismo. La tinta electrónica biocompatible que hemos encontrado es la de la empresa británica Bare Conductive. Esta empresa británica tiene una propia placa que es microcontroladora que se llama Touch Board. Esta placa está optimizada para la tinta electrónica de la marca; sin embargo, esta placa es bastante más grande que un Arduino UNO (placa descartada previamente por su tamaño pese a haber sido rediseñada por el equipo) y por motivos de presupuesto se salía de lo que nos podíamos permitir para el proyecto.

La pintura electrónica elegida (Electric Paint en su nombre comercial) es espesa, orgánica, biocompatible y bastante densa. Según la ficha técnica del fabricante la pintura

cambia su resistencia a la electricidad dependiendo de en qué proporción de agua esté diluida. El fabricante no suministra una ficha técnica acerca de la relación entre la cantidad de agua en la que la pintura es disuelta y su resistencia eléctrica. La pintura podría ser utilizada como sensor de proximidad y/o presión debido a la variación de la resistencia eléctrica de la pintura en función de su disolución en agua. Esto nos proporciona muchas posibilidades ya que nos abre las puertas a la sensorización táctil y por proximidad, lo que nos permite sustituir botones por simples patrones de pintura así como algunos sensores de presión en el brazo o en la parte del cuerpo en la que se coloque este wearable. Para poder establecer una relación entre la solución de la pintura y su resistencia eléctrica, realizamos una serie de disoluciones y sacamos una gráfica. Los experimentos que realizamos fueron los siguientes:

- Relación 1 : 1 = 10 ml de pintura : 10 ml de agua
- Relación 1 : 2 = 10 ml de pintura : 20 ml de agua
- Relación 1 : 3 = 10 ml de pintura : 30 ml de agua
- Relación 1 : 4 = 10 ml de pintura : 40 ml de agua
- Relación 1 : 5 = 10 ml de pintura : 50 ml de agua



Una vez obtenida la gráfica que relaciona la solución de la pintura en agua, ya sabemos su comportamiento con el disolvente. Esto, como hemos explicado previamente, nos

permite conocer la resistencia al ser diluida y así poder diseñar sensores o botones. Además saber esta relación, nos ayuda a sustituir las resistencias eléctricas comunes por un tipo de disolución de pintura.

Una vez estudiada la resistencia eléctrica de la pintura, había que comprobar si era compatible con el MCU y si además ambos sistemas funcionarán conjuntamente con la piel. Para ello, instalamos dos diodos LED Sequin al MCU Adafruit Trinket de 3,3V de salida. Probamos en uno de los miembros del grupo tanto la tinta como los dos LEDs y el MCU conectados a un ordenador para comprobar que el sistema funcionaba. Los diodos no se encendieron debido a un fallo al conectar la tinta; sin embargo, el MCU mostraba lecturas normales lo que nos indicaba que la tinta era completamente compatible con sujetos humanos.

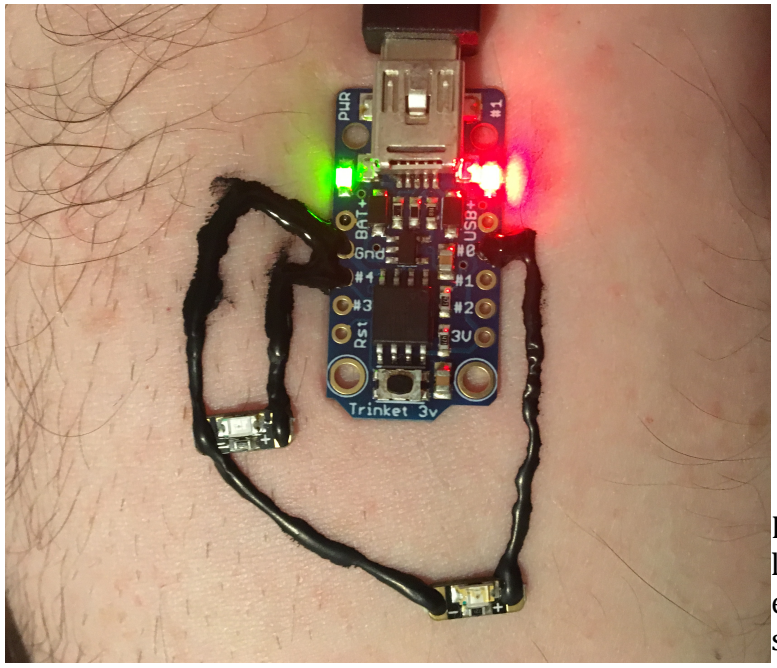


Fig 4. Adafruit Trinket lógica 3,3V con tinta electrónica y dos sensores funcionando

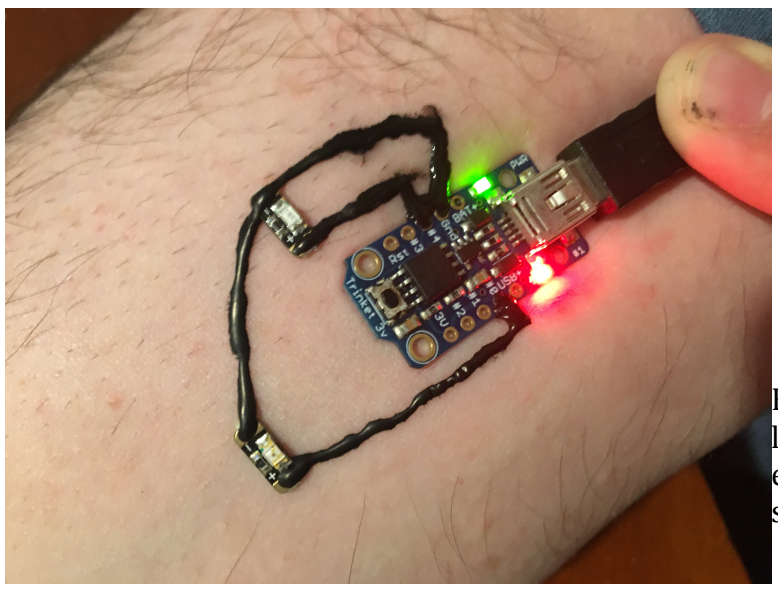


Fig 5. Adafruit Trinket lógica 3,3V con tinta electrónica y dos sensores funcionando

Una vez comprobado que el MCU funciona con la tinta y los diodos, introdujimos un código de diagnostico del procesador para ver si había habido daños de algún tipo durante su conexión al ordenador, su conexión con la tinta o durante la conectividad con los LEDs. El hecho de que los diodos no se encendieran por un fallo al conectar la tinta podría haber dañado el procesador pero no lo hizo en absoluto. Se realizó una segunda prueba con este mismo microcontrolador y conectado a un ordenador. Esta vez los resultados fueron realizados con éxito. El conseguir conectar unos LEDs y que funcionara todo el sistema demostraba la viabilidad del sistema y su funcionalidad al completo.

La siguiente prueba que se realizó fue con el microcontrolador de 5V (Adafruit Trinket Pro 5V). El sistema de 5V Pro tiene más pines que nos permiten conectar más sensores y otros muchos distintos sistemas que nos ayudan a medir los parámetros médicos del usuario. Además, este microcontrolador utiliza un microprocesador 3 veces más rápido y con el doble de memoria. Esto nos faculta para almacenar mayor cantidad de datos tanto médicos como de otro tipo de sensores o chips que queramos añadir a nuestro MCU.

Habíamos conseguido instalar la tinta y montar todo el sistema para que el tatuaje funcionase. Ahora, necesitábamos arreglar el problema del posible contacto del sistema con el agua. Este sistema está pensado para ser un tatuaje perfecto con las características de impermeabilidad que se le suponen a cualquier tatuaje, y esto implica poder bañarte con él. El tatuaje debe recargarse por una batería. La tinta puede disolverse en agua y, si el microcontrolador entra en contacto con la misma podría llegar a quemarse y causar daños severos en la piel humana. La tinta deberá ser entonces “sellada” para que el contacto con el agua no suponga un problema. El fabricante de la tinta recomienda para solventar esta cuestión el uso de un tipo de alcoholes que no son nocivos para el cuerpo humano y que podrían por lo tanto sernos de utilidad. Sin embargo, estos alcoholes no impermeabilizan el MCU (la electrónica del tatuaje), de manera que no son compatibles para nuestro proyecto. Es por este último motivo por el cual decidimos usar apósitos médicos de silicona, impermeables y resistentes al sol. Estos apósitos son fáciles de encontrar en tiendas de suministro de material médico. El puerto de la batería es cubierto con una pieza flexible impresa en 3D para garantizar que no entre agua ni polvo en el puerto de conexión con la batería.

Para garantizar una conexión segura entre los puertos del MCU y los sensores, la tinta debe seguir unas pistas similares a las de una PCB. Este proceso es extremadamente complicado porque si se aplica demasiada tinta el sistema falla y si se aplica de menos, corremos el riesgo de qu el sistema no funcione. Se requiere que la línea que siga sea lo más exacta posible y sin pie a márgenes de error. Para ello diseñamos una plantilla muy

fina que imprimiríamos en 3D en PLA. El PLA, impreso a muy baja altura de capa y más un modelo fino como este, nos da cierta flexibilidad en las piezas. Imprimimos una plantilla con líneas, cuadrados (posibles botones ampliables) y con círculos (para la misma función que los cuadrados más posible sensorización).

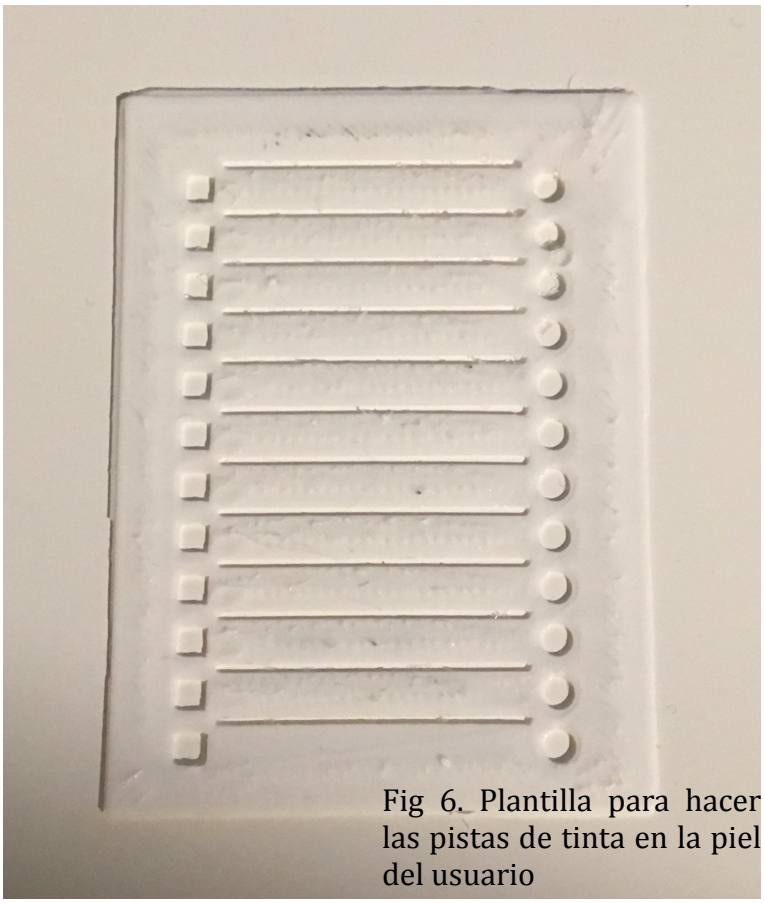


Fig 6. Plantilla para hacer las pistas de tinta en la piel del usuario

Para comprobar la futura viabilidad de este sistema con más sensores y chips, ejecutamos líneas de programación con distintos tipos de sensores con el MCU. Resultó ser que todos los modelos de chips para la medición de constantes vitales así como los de sistemas de pago, NFC y bluetooth de baja proximidad son 100% compatibles con el MCU ya que compilaba perfectamente y todas las librerías son universales.

He aquí la programación para recibir información de un sensor de latidos del corazón:

Heartbeat_sensor.ino — HelloWorld, Blink

Tech_Tat_LED_Test.ino | Heartbeat_sensor.ino

```
#define PROCESSING_VISUALIZER 1
#define SERIAL_PLOTTER  2

//variables and pins
int pulsePin = 8;
int blinkPin = 13;
int fadePin = 5;
int fadeRate = 9;
int ledPin = 11;

//Volatile Variables, used in the interrupt service routine!
volatile int BPM;
volatile int Signal;
volatile int IBI = 600;
volatile boolean Pulse = false;
volatile boolean QS = false;

static int outputType = SERIAL_PLOTTER;

void setup()
{
  pinMode(blinkPin,OUTPUT);
  pinMode(fadePin,OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  interruptSetup();
  pinMode(ledPin, OUTPUT);     //this LED is set up to make sure the sistem is on and working
}

//  Where the Magic Happens
void loop()
{

    serialOutput() ;

  if (QS == true)
  {
        fadeRate = 255;

        serialOutputWhenBeatHappens();
        QS = false;
  }

  ledFadeToBeat();
  delay(120);
}



void ledFadeToBeat()
{
    fadeRate -= 15;
    fadeRate = constrain(fadeRate,0,255);
    analogWrite(fadePin,fadeRate);
}

// The NFC tag is added and programmed externaly thourgh a phone app
```

Arduino 1.8.1, Arduino/Genuino Uno, on /dev/cu.Bluetooth-Incoming-Port, Line 35, Column 1

Fig 7. Programación de un sensor de latidos de corazón para el tatuaje

4. Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación de tecnologías wearable alternativas, abren muchas puertas a nuevas tecnologías biocompatibles. El rendimiento del sistema al completo roza el 80% sumando tiempos de carga y procesado de programación y mediciones por parte del microcontrolador. En comparación con la eficiencia de otros wearables, los tech tats aun tienen un largo camino por andar, muchos estudios por delante y posibilidades de expansión de sus MCUs a unos más estándar y compactos.

También gracias a esta investigación, hemos podido comprobar la biocompatibilidad de la tinta electrónica y de los MCUs de Adafruit para un uso exhaustivo y continuado en la piel de las personas. La biocompatibilidad de los materiales en una tecnología de este tipo es un aspecto clave para poder fomentar el desarrollo de futuras y mejoradas versiones y demostrar que es altamente compatible con un gran número de usuarios. Siguiendo con el mismo asunto de la la biocompatibilidad, hemos tenido que estudiar el procedimiento del diseño de las pistas del tatuaje. Nuestros resultados con la impresión 3D y el PLA, se muestran como grandes candidatos en el campo tecnológico destinado a la fabricación de las plantillas de las pistas sobre las cuales se aplica la tinta para poder conectar los sensores y los distintos componentes según se necesite.

Esta investigación demuestra también la viabilidad de la tecnología modular y la posibilidad amplia de personalizar los wearables, de manera que cada usuario puede si lo desea hacerse sus propias pistas de tatuaje, comprarse sus sensores y placas y diseñarse el tatuaje por su cuenta, algo que no ha sido pensado nunca antes.

El estudio también ha ayudado a determinar una relación de solución y resistencia más estable para la pintura eléctrica. Conociendo esta relación, se pueden definir si se desea de manera relativamente precisa los valores de la resistencia eléctrica de la pintura al ser disuelta en distintas cantidades de agua.

En cuanto al importe económico, los tech tats son una tecnología de cierto bajo coste que se presentan como alternativa a la tecnología wearable convencional. No cabe duda de que el precio influye también bastante en el importe final, en función del tipo de sensor utilizado y los datos que deseen medirse.

Además, estos tatuajes, no son definitivos y pueden retirarse por medio de agua o alcohol. Esta característica les permite que puedan ser usados como tatuajes temporales para pacientes en hospitales, o bien utilizados por personas que requieran de unas mediciones de algunos parámetros específicos de su cuerpo durante un corto periodo de tiempo y/o actividad (deportistas, astronautas, pilotos, militares, ensayos clínicos…). El

Tech Tat sería ideal así mismo dirigido a personas de la tercera edad para controlar su estado de salud, su ubicación, sus hábitos higiénicos diarios….

Aun así pueden servir como unos tatuajes puramente estéticos.

5. Conclusión

En conclusion, podemos afirmar que esta investigación ha sido un éxito. Hemos comprobado que existe una tecnología wearable biocompatible modular de bajo coste que permite a los usuarios adaptar los dispositivos a sus propias necesidades.

También podemos manifestar que existe la posibilidad de crear un dispositivo que permite medir infinitos parámetros médicos gracias a la modificación de su diseño o arquitectura por el uso de tinta eléctrica, y se puede confirmar que la impresión 3D es una tecnología capaz de obtener materiales biocompatibles para ser utilizados como plantillas para diseños sobre piel.

Por último podemos aseverar que la tecnología y la comunidad open source, ayudarán a mejorar este proyecto y a perfeccionar la investigación para conseguir realizar tecnología más fiable, rápida y eficiente. Nos sentimos satisfechos de saber que somos pioneros en esta materia y de buscar aplicación en el campo medico y en el urbanismo inteligente.