	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

PLUVIÓMETRO DIGITAL – SISTEMA DE MONITOREO

Daniel Sánchez Sánchez

Cristian Camilo González Ramos


Facultad de Ingenierías

Ingeniería Mecatrónica

Juan Sebastián Botero

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El siguiente trabajo se hizo como módulo de proyecto de grado en el que se elabora un pluviómetro digital y se indagan dos formas diferentes de hacerlo. Se muestra, pues, lo siguiente: el fin con que fue realizado el pluviómetro digital, su utilidad, su importancia en el sector agrícola, etc. Adicionalmente, se verán los planos realizados para la construcción de este, se hablará un poco de su ingeniería básica e ingeniería de detalle y se sabrá cómo fue el proceso de fabricación.

El proceso se sintetiza en: investigación, diseño, elaboración y pruebas, para ambos métodos. En la investigación buscamos la información necesaria para comenzar el proceso de diseño mecánico, las ecuaciones y mediciones necesarias para luego realizar la programación y las partes principales del pluviómetro; para diseño se realizan planos, programación, simulaciones o lo que sea pertinente con ayuda de software; luego, en la etapa de elaboración ya se realiza todo el proceso de ensamble mecánico y soldadura, preparando todo para la etapa de prueba; en la etapa final, se hacen pruebas y se corrige lo necesario. De esta manera, si en las pruebas algo sale mal, con la investigación se asegura que sea fácil encontrar el error, con el diseño que sea fácil corregirlo e incluso si se puede corregir directamente.

Palabras clave: Pluviómetro digital, sector agrícola, ingeniería, precipitación.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

La realización de esta investigación fue posible, en primer lugar, a la información brindada por el profesor de robótica Juan Sebastián Botero y, además, encargado de presentarnos la idea del pluviómetro digital; ha estado al tanto de todas las dudas e inquietudes que surgieron durante el proceso para la construcción del pluviómetro digital.

Cabe también agradecer al personal encargado de la manipulación de equipos de impresión 3D de nuestra institución universitaria, ya que, sin ellos, no hubiese sido posible la impresión de los componentes necesarios para nuestro proyecto.

En última instancia, agradecemos a nuestros familiares, que siempre nos están apoyando en nuestros procesos educativos donde es de gran importancia que haya un acompañamiento continuo para el buen desempeño.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

- PD* Pluviómetro Digital
- ITM* Instituto Tecnológico Metropolitano
- PCB* Circuito Impreso
- PIC* Microcontrolador
- SSID* Nombre de una red Wi-Fi


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Generalidades	6
1.2 Objetivos	6
1.2.1 General	6
1.2.2 Específicos	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Precipitación.....	7
2.2 Definición de Pluviómetro.....	7
2.3 Sensor Magnético.....	9
2.4 Microcontrolador	9
2.5 Herramientas de Medición.....	10
2.5.1 Pipeta de Pasteur.....	10
2.5.2 Pie de rey o Calibrador	10
2.5.3 Probeta	10
2.6 Circuito PCB.....	12
2.7 Software	12
2.8 Módulo Wi-Fi.....	13
2.8.1 ESP8266 (<i>método A</i>)	13
2.8.2 NodeMCU ESP8266 (<i>método B</i>).....	14
2.9 Ubidots (<i>método B</i>)	14
3. METODOLOGÍA	15
3.1 Planos y Diseño 3D	15
3.2 Circuito (<i>método A</i>)	18
3.3 Medición y Calibración.....	19
3.4 Alimentación	20
3.4.1 Método A.....	20
3.4.2 Método B.....	21
3.5 Conexión Wi-Fi	22
3.5.1 Método A.....	22
3.5.2 Método B.....	23
3.6 Programación PIC (<i>método A</i>).....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Método A	26
4.2 Método B.....	28
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	30
5.1 Método B.....	30
5.2 Método B.....	31

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades:

En la agricultura y, principalmente, en meteorología, el pluviómetro es una herramienta vital que tiene su origen gracias al desarrollo agrícola. Esta herramienta mide la precipitación pluvial o de lluvia, y su unidad de medida es milímetros de agua (mm). Se cree pertinente la elaboración de este pluviómetro en su forma digital, para que la medición sea automática, precisa y, los datos obtenidos, sean de gran utilidad para el instituto tecnológico metropolitano (ITM). Así mismo, que su elaboración sea en pos de mejorar el desarrollo tecnológico y social, alrededor de estos temas agrícolas y meteorológicos.

1.2 Objetivos:

1.2.1 General: Diseñar y construir un pluviómetro digital que garantice la correcta medición de la precipitación y el envío de los datos a un servidor web de manera automática.

1.2.2 Específicos:

- 1.2.2.1** Realizar el modelo 3D del pluviómetro digital y sus respectivos planos.
- 1.2.2.2** Determinar la cantidad de agua necesaria para realizar la inversión del balancín pluviométrico y, con esto, calcular a cuántos milímetros de agua equivale.
- 1.2.2.3** Acondicionar estos datos al código de programación y enviarlos al servidor cada 12 horas.
- 1.2.2.4** Elaborar dos métodos diferentes para su construcción.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Precipitación:

La precipitación es un fenómeno terrestre ampliamente conocido en la agricultura y meteorología, la palabra hace referencia a la precipitación pluvial, grosso modo, la caída de agua de lluvia sobre la superficie de la tierra. García (2004), lo define como:

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua (p. 9).

No es fútil, sin embargo, aclarar que el pluviómetro, acá tratado, sólo medirá la precipitación líquida, y no la caída de escarcha, nieve o granizo. Por otra parte, su medida (de precipitación) es en milímetros de agua (mm), equivalentes a un litro de agua por metro cuadrado (L/m²). Un buen ejemplo, para mejor comprensión de las unidades, nos lo proporciona Adrián (2017): “[...]si precipitan 15mm, queremos decir que, si toda el agua de la lluvia se acumulara en un terreno acotado de 1 metro cuadrado plano sin escurrirse ni evaporarse, la altura de la capa de agua sería de 15mm” (Rey, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 Definición de Pluviómetro:

Hay varios tipos de pluviómetro (ver Fig.1), el modelo que será objeto de este trabajo (de ambos métodos) es el conocido como “pluviómetro de doble cubeta basculante”, el cual, por cada inversión de su doble cubeta, un sensor magnético detecta este cambio y envía los datos a internet. El funcionamiento de este tipo de pluviómetro está basado, principalmente, en:

“[...]la recolección del agua en un receptor de captación que luego la dirige a un colector tipo balancín que consta de dos cavidades. El agua se va acumulando en una de las cavidades y al alcanzar cierto peso realiza un movimiento de descarga que permite exponer la siguiente cavidad a la colección de agua y activar un pulso eléctrico que envía una señal de registro[...]” (Chassaigne, Ávila, & Madriz, 2013).

En nuestro caso, la báscula o balancín posee, en uno de sus lados, justo en el extremo más alto, una pieza magnética que permite detectar el paso de éste por el rango de detección del sensor. El sensor enviará estos datos a un microcontrolador que, progresivamente almacena cada lectura y procesa la información para enviarla en tiempo real.



Fig.1 Varios pluviómetros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3 Sensor Magnético:

La mejor manera de detectar un imán u objeto magnético es, en esencia, otro objeto con campo magnético (DFRobot, n.d.). El sensor 'DFR0033' detecta el paso del objeto magnético con un rango de, aproximadamente, tres centímetros en los que un Led integrado se enciende cuando hay detección. Es totalmente digital, por lo que, su conexión es directa a cualquier entrada digital del microcontrolador. Ambos métodos harán uso de este sensor.

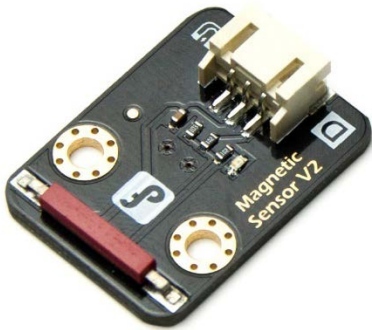


Fig.2 Sensor Magnético DFR0033

2.4 Microcontrolador:

El microcontrolador 'PIC' es un circuito integrado digital que realiza diversas tareas, de acuerdo con su programación y una serie de datos almacenados en su memoria interna; todo, a través de cierta cantidad de pines (conexiones), que envían las señales u órdenes programadas. El datasheet es la hoja de datos del microcontrolador que, según esta, la referencia del 'PIC 16F887' posee 40 pines, de los cuales hay diversas entradas y salidas, análogas y digitales, o de comunicación, etc. (Microchip Technology, 2007). El envío de datos lo realiza el microcontrolador por medio de un módulo Wi-fi, a través de sus pines TX y RX. Este microcontrolador es, exclusivamente, para el primer método.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

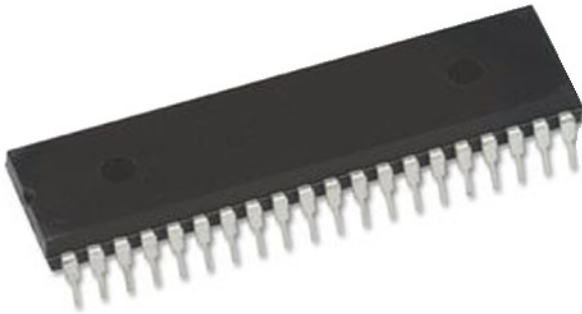


Fig.3 PIC 16F887

2.5 Herramientas de Medición:

Los datos obtenidos, en milímetros de agua, se obtienen luego de hacer un cálculo que toma en cuenta dos mediciones: el volumen de agua necesario para realizar la inversión de la cubeta basculante y, el área de la boca del embudo donde el agua de lluvia cae; así, se escala el valor o, en caso tal, se convierte las unidades de medida para que la relación litros por metro cuadrado se haga efectiva. Las herramientas de medición necesarias son:

- 2.5.1 **Pipeta de Pasteur:** “Se conoce como pipeta de Pasteur a un tipo de gotero que suele estar formado por un tubo de cristal con borde en forma de cono [...] y se utiliza para transferir pequeñas cantidades de líquido” (Porto & Gardey, 2013a). (Ver Fig. 4).
- 2.5.2 **Pie de Rey o Calibrador:** “es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros” (Melillo, 2018). (Ver Fig.5).
- 2.5.3 **Probeta:** “Una probeta es un instrumento de plástico o de vidrio que se utiliza en los laboratorios para contener y medir un líquido o un gas” (Porto & Gardey, 2013b). (Ver Fig.6).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.4 Pipeta de Pasteur

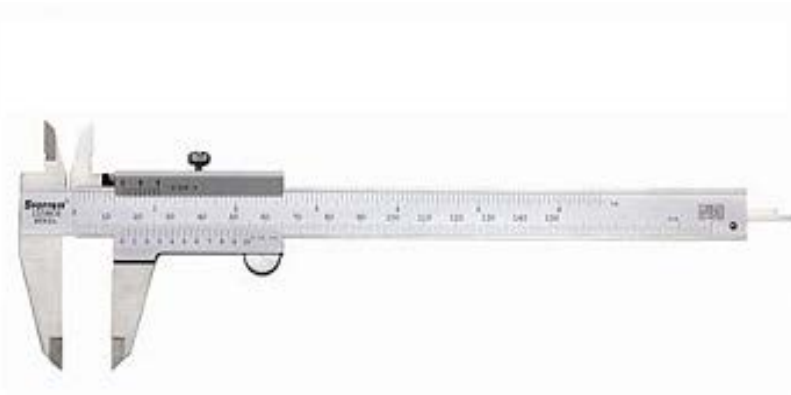


Fig.5 Calibrador Pie de Rey



Fig.6 Probeta

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6 Circuito PCB:

Un circuito o placa PCB (del inglés *printed circuit board*), permite la conexión de diversos dispositivos o módulos electrónicos por medio de líneas conductoras de electricidad. Para la conexión del microcontrolador, el sensor y el módulo Wi-fi, se elabora una placa de circuito impreso (PCB). Héctor nos explica muy bien su definición: “Es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre una base no conductiva o material dieléctrico. La tarjeta se usa para realizar interconexiones entre los componentes” (Torres, 2014). Estas requieren un proceso de fabricación que incluye el uso de ácidos como el Percloruro de Hierro o Percloruro Férrico para la eliminación de las partes de cobre o del material conductor no deseadas. Adicional a esto, el circuito posee una conexión Clema o Bornera, que sirve para realizar un anclaje de ciertos cables; su ventaja es que permite una buena y segura conexión, pero, al mismo tiempo, permite remover los cables fácilmente, a diferencia de la soldadura. El circuito PCB hecho propiamente con ácido, pertenece al método primero.

2.7 Software:

Los software que se utilizaron, fueron *Autodesk Inventor* y *Siemens NX*; ambos, software de modelado CAD (*computer-aided design*=diseño asistido por computador). *CCS C compiler* es un software para desarrollar la programación de microcontroladores; el *Pickit 3* es un dispositivo realizado para la depuración de circuitos que, específicamente, se utilizó para la escritura de la programación en el microcontrolador, con él viene integrado el software (de igual nombre), con el que se carga el archivo de programación creado con el *CCS C compiler*. Por otra parte, *Autodesk Eagle* es un software de diseño PCB con el cual se organizan fácilmente todos los dispositivos y se disponen sus líneas conductoras. Se realizaron también algunas simulaciones en el software ‘Proteus 8’, concretamente, para simular la funcionalidad del circuito antes de realizar el diseño de su PCB. Para la configuración y las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pruebas del módulo wi-fi ‘ESP8266’, se utilizó *Arduino* y su monitor serial, y el *ESP8266_Flasher* para actualizar el Firmware del dispositivo.

2.8 Módulos Wi-fi:

2.8.1 ESP8266 (*método A*):

El módulo ‘ESP8266’ es un SOC (del inglés *Sistem On a Chip*), inalámbrico, que permite la conexión Wi-fi a cualquier tipo de red. La empresa nos dice: “El chip Espressif ESP8266EX entrega una alta integrada solución SOC de Wi-Fi, para suplir la continua demanda de los usuarios por el consumo eficiente de energía, el diseño compacto y el desempeño confiable en la industria de las cosas de Internet” (Espressif Overview, 2016). Su programación se hace, comúnmente, por medio de comandos AT (abreviación en inglés de *Attention*).

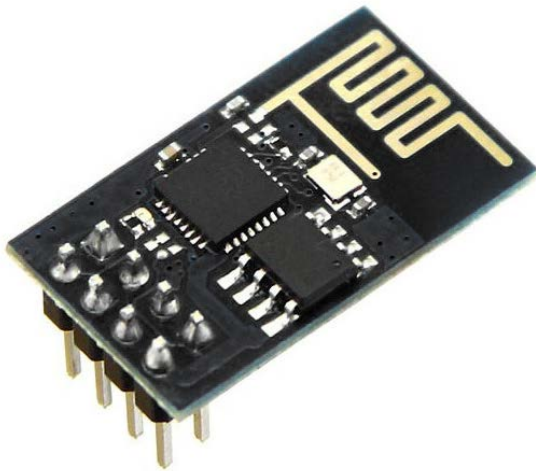


Fig.7 Módulo Wi-Fi ESP8266

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.8.2 NodeMCU ESP8266 (*método B*):

Es una placa de desarrollo basada en el módulo wi-fi ESP8266, es decir, contiene este módulo y lo expande con un microcontrolador SILABS CP2102, con 30 pines para: alimentación, entradas digitales, PWM, comunicación, conversor ADC... No todos los pines se pueden utilizar porque hay unos reservados. En resumen, es el mismo módulo wi-fi pero integrado para facilitar su uso.

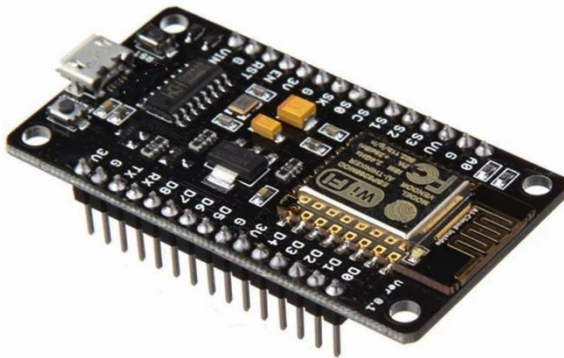


Fig.8 NodeMCU ESP8266 V2

2.9 Ubidots (*método B*):

Es una plataforma IoT (del inglés Internet of Things, en español internet de las cosas), que presta el servicio de conectividad con su plataforma, que muestra en tiempo real datos de diversos tipos de sensores. La plataforma, al igual que muchas otras, provee una librería para diversos dispositivos p. ej. Arduino. Ubidots provee seguridad a cada proyecto por medio de un código o contraseña (Token), única para cada usuario. Además, si es necesario, Ubidots ofrece también ejemplos y tutoriales para el uso adecuado de todos sus servicios. Veremos en la sección *Resultados y Discusión*, algunas imágenes del muestreo de datos en Ubidots.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para la realización del PD se hizo una investigación acerca del objetivo de estos dispositivos y, con la información que se recopiló, se inició el proceso para la construcción de uno de estos; esta información, específicamente, fue: métodos de medición, tipos de pluviómetros y calibración de estos. Luego de elaborar un primer diseño del PD, que fue en esencia, un proceso minucioso y más personalizado: debido a la propia elaboración de algunas partes; el profesor Juan Sebastián agregó la idea de una forma más simple de hacerlo, con componentes que son más accesibles, fáciles de utilizar e intuitivos. Al primer método lo llamamos “Método A” y al segundo “Método B”; no se pretende comparar aquí cuál es mejor en términos de precisión, rapidez de construcción u otros criterios. Mas sí mostrar que hay variedad de vías de elaboración de un pluviómetro digital. Nota: se encerrará entre paréntesis al frente de cada subtítulo a cuál método está dirigido o refiere el proceso, si el subtítulo no especifica es porque es un proceso necesario para ambos métodos.

3.1 Planos y diseño 3D:

Se inició el diseño 3D, desde cero, de cada parte necesaria, para realizar simulaciones y observar el funcionamiento de forma dinámica. Para esto, se utilizaron las herramientas Autodesk Inventor y Siemens NX. El primer parámetro que se tuvo en cuenta fue su dimensión; el segundo, el diseño de sus partes: embudo, cubeta basculante, agujeros para la extracción de agua, eje de rotación para la cubeta y espacios para la parte electrónica. Una vez que el análisis dinámico cumplía con las condiciones necesarias, se implementó una impresora 3D para la realización del diseño físico de sus partes funcionales. Una vez impreso, se pintó con pintura negra impermeable para disminuir la fricción entre las gotas y el embudo. Ver los planos en las figuras 9, 10, 11 y 12.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

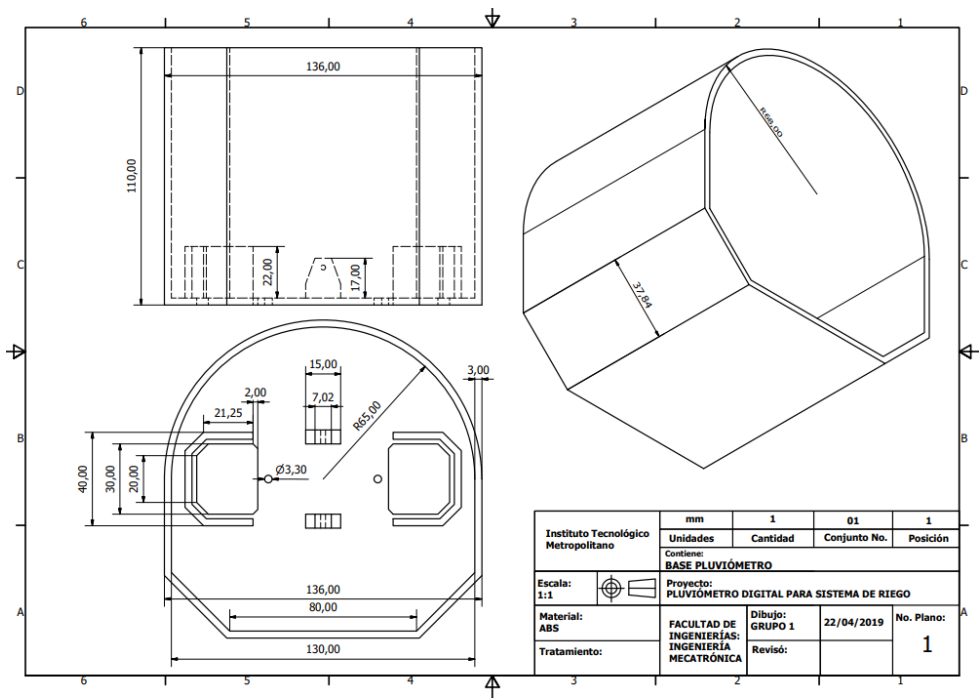


Fig.9 Base Pluviómetro.

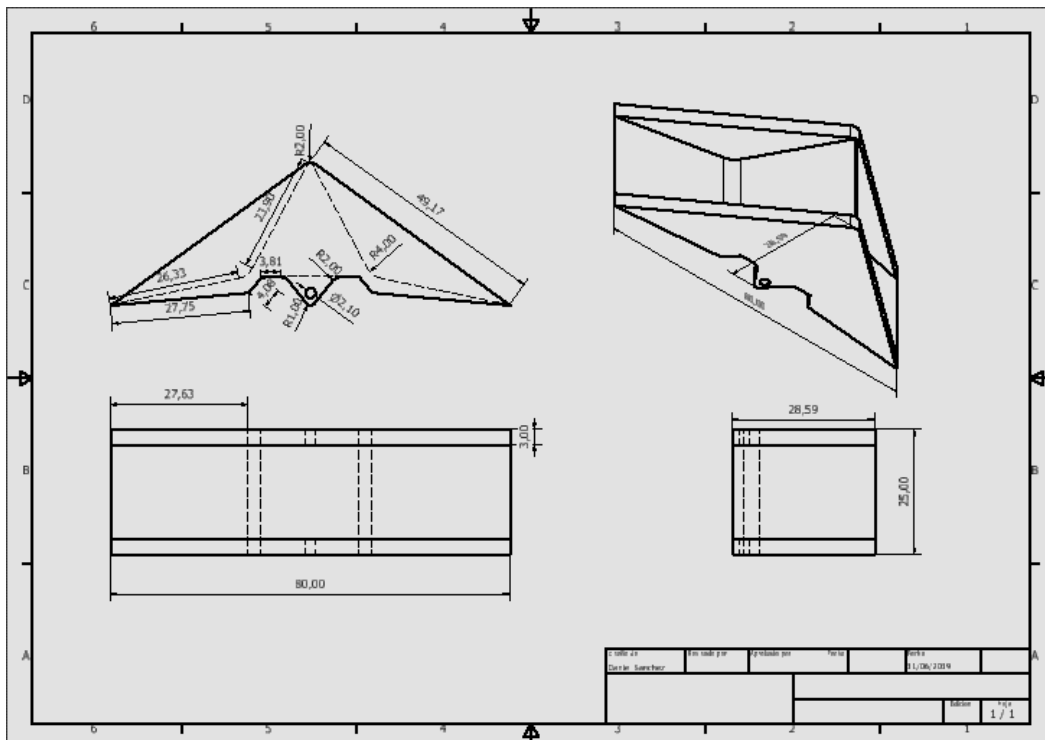


Fig.10 Cubeta basculante

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

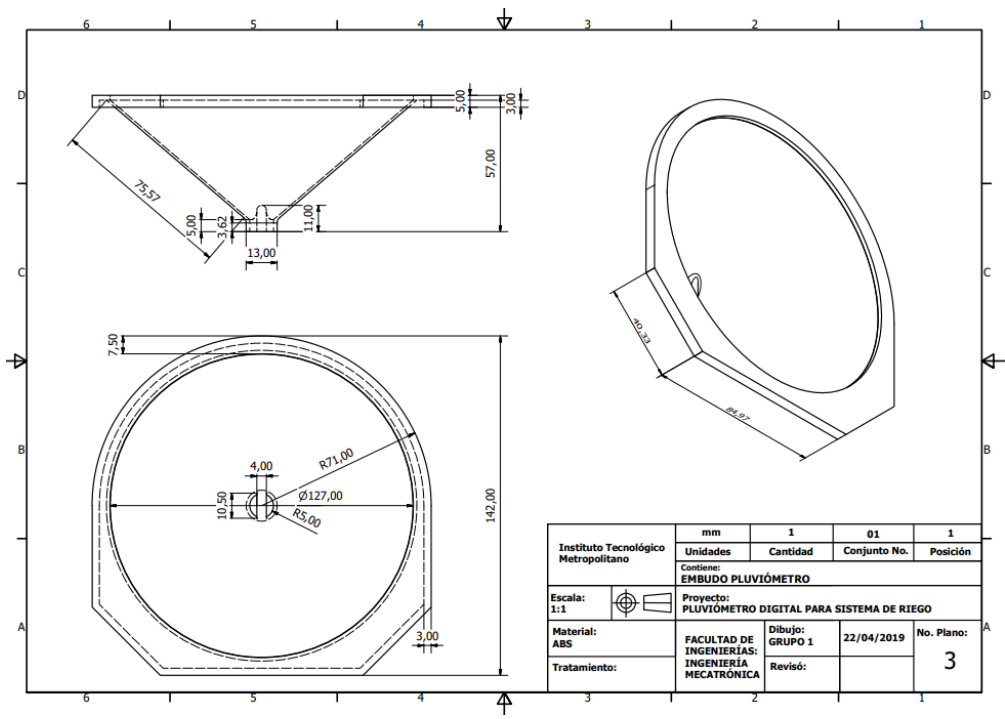


Fig.11 Embudo

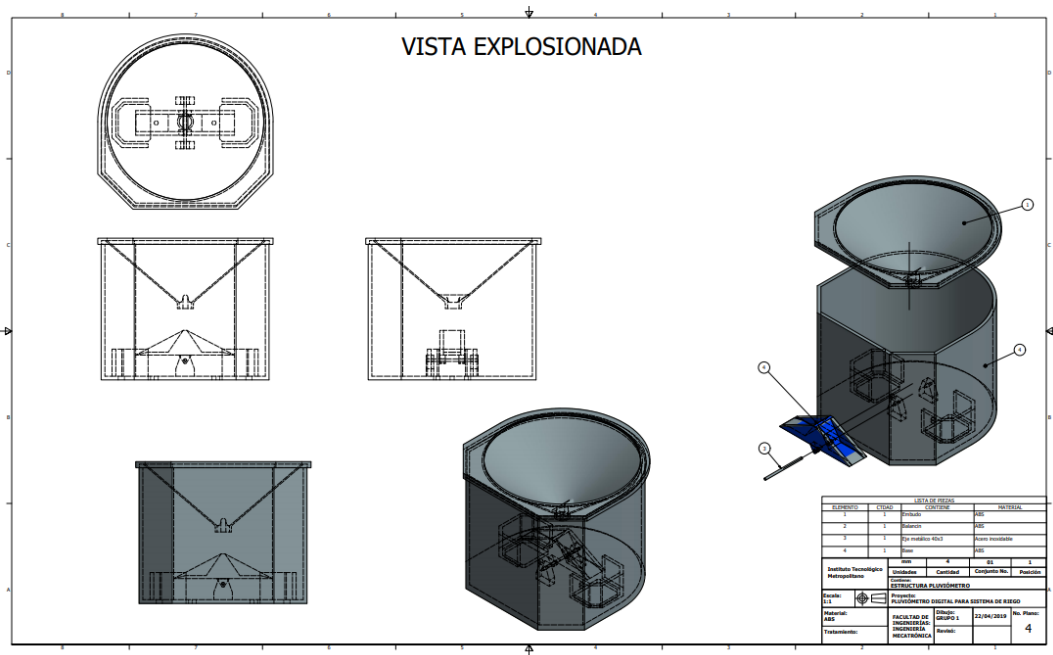



Fig.12 Vista explosionada

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2 Circuito (método A):

Lo subsecuente al proceso de impresión 3D fue realizar un circuito y su simulación en *Proteus 8*, para asegurar su funcionamiento (Ver Fig. 13). Se simularon los dispositivos con sus análogos en el software. Tanto el microcontrolador como su programación funcionaron a la perfección.

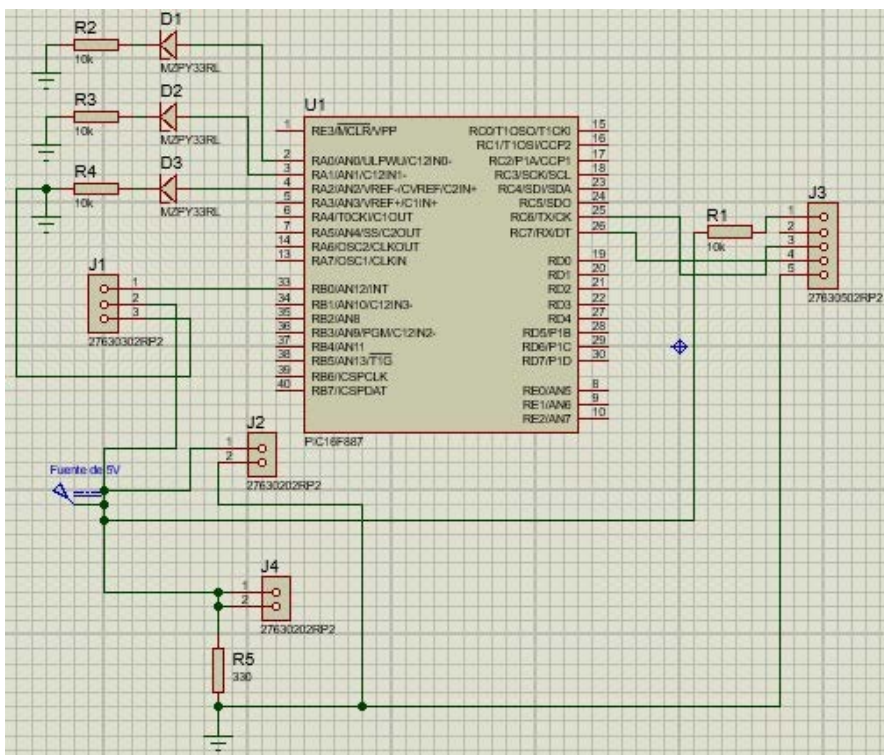


Fig.13 Circuito en Proteus 8

Con este circuito de simulación se procedió a realizar el diseño del PCB en *Autodesk Eagle*. Se diseñó teniendo en cuenta una gran parte como tierra, y las líneas de cobre de un ancho decente para su correcto funcionamiento (Fig. 13). También es importante que en el diseño del PCB no se crucen las líneas, evitando tener que hacer puentes que, posteriormente, puedan ser motivo de mal funcionamiento. Una vez los elementos diseñados y ensamblados, se realizaron pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de la parte

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mecánica del PD, y esto, teniendo en cuenta la rugosidad de las piezas y otros factores que podrían afectar la medición e incluso el correcto funcionamiento mecánico del dispositivo.

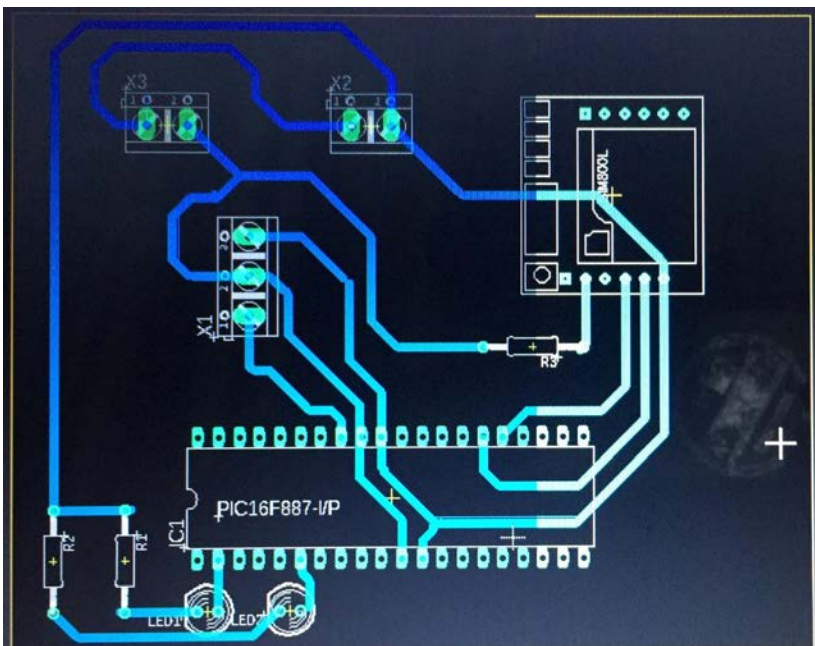


Fig.14 Diseño PCB en Autodesk Eagle

3.3 Medición y Calibración:

Una vez satisfechos con el ensamble y las pruebas de funcionamiento, comenzamos la medición de los parámetros de precipitación pluvial: derramar, con la pipeta de Pasteur, la cantidad de gotas de agua necesarias para hacer la inversión de la báscula o balancín y, luego de varios intentos, calcular la media estadística de la cantidad de gotas que efectúan la acción; una vez se tiene esta cantidad media de gotas, se vierte la misma en una probeta para saber, en mililitros, su equivalente; luego, es menester, para hallar la constante de precipitación pluvial, medir el diámetro interno de la parte superior del embudo con el calibrador para completar los datos requeridos, a saber, el área transversal (del embudo),

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

área por la cual se divide el volumen de agua. Con esto, nos evitamos la dificultad de hacer la medición con las dimensiones de la cubeta misma.

Fue también necesario calibrar el sensor magnético, para asegurar que cada inversión de la cubeta será sensada por este y, posteriormente, enviada como un pulso al PIC o al NodeMCU. En el *método A*, se hicieron pruebas con el sensor, el microcontrolador y dos leds (que posteriormente se utilizaron para otros motivos): el primero, que se encienda cada que detecta una inversión, el segundo, que se encienda cada tres; así, se verifica que el sensor haga una detección efectiva y que cada pulso se guarde en una variable en la memoria del PIC. Para el *método B*, lo más importante fue la revisión de los pines digitales a los cuales la señal del sensor será mandada, y luego ver, a través del monitor serial, algún signo establecido para asegurar la recepción del dato. También hay que decir la importancia de tener el sensor magnético en una posición específica, para que, al momento de la inversión, la detección sea correcta y sin perturbaciones.

3.4 Alimentación:

3.4.1 Método A:

La alimentación es muy simple: un adaptador para cuatro pilas 'AA', que es conectado a una bornera en la PCB. Algunos dispositivos no soportan más de 4 voltios, por lo que, el uso de resistencias es bien necesario. Además, se instaló: un Switch para facilitar el encendido y apagado del circuito; dos leds, el primero para afirmar, desde el PIC, el encendido del circuito desde uno de sus pines, y el segundo, para mostrar cada inversión de la cubeta, también desde uno de los pines del PIC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.15 PortaPilas

3.4.2 Método B:

En este caso, utilizamos una fuente para protoboard Z-118, que convierte voltajes de entrada entre 6,5-12 V (DC) a un voltaje de salida de 3,3V/5V con una corriente máxima de salida menor a 700 mA (Fig.15). Y una batería de 7,4V de 500 mA que suple las necesidades de nuestro pluviómetro (Fig.16). De la batería a la fuente, hubo que soldar un plug macho para conectarlo. Y de la fuente al Node se utilizó un cable USB, que no sólo alimentará, sino que facilitará en cualquier momento la conexión al PC, sea para programar o ver el funcionamiento en puerto serial, etc. El circuito se enciende por medio de un botón (Fig.16), al encenderse, y al igual que en el método A, un Led rojo se encenderá para indicar que el pluviómetro está encendido.



Fig.16 Z-118

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.17 Batería 7,4 V

3.5 Conexión Wi-Fi:

3.5.1 Método A:

La conexión y configuración del módulo 'ESP8266' fue todo un reto. Luego de conectarlo con el monitor serial de *Arduino*, se comprueba su conexión al enviar el comando 'AT', que, como respuesta normal, el módulo debe responder con un 'OK'. Ya con buena conexión se verifican las actualizaciones del Firmware del módulo con el comando 'AT+GMR'; dado el caso, habría que instalar la más reciente: se descarga la última versión de la página *Espressif*, y se instala con el software *ESP8266_Flasher* que reescribe el archivo, de formato '.bin', en el dispositivo; para que este software reescriba bien el archivo, el pin 'GPIO0' debe conectarse a tierra seguido de un reinicio del módulo (desconexión y conexión). Posteriormente, hay que sincronizar los Baudios del módulo con los del PIC que trabaja a 9600, esto se hace con el comando 'AT+CIOBAUD'; en nuestro caso, la versión del Firmware que instalamos tenía el baudiaje ya configurado en 9600. Luego, es debido configurar el dispositivo de Wi-Fi en modo 3, siendo que: el primero (modo uno), funciona como estación; el dos, modo como punto de acceso (*Access Point, AP*); y el tercero, una combinación de ambas, es decir, estación y punto de acceso, a la vez.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.2 Método B:

Debido a que Ubidots ofrece una librería ya configurada, los comandos necesarios para la conexión son más intuitivos, por lo que, sólo se utilizan unos pocos comandos: ‘client.wifiConnection (WifiSSID, contraseña)’ que selecciona la red Wi-fi y la contraseña que le corresponde. Para el envío del dato a la plataforma Ubidots se utilizan lo siguiente: ‘client.add (“Precipitación”, Valor)’, donde dice ‘Precipitación’ se escribe el nombre que la variable que aparece en la plataforma (cadena de texto), y que debe llamarse igual tanto en este comando como en la plataforma p. ej. : Si en el comando se escribe un espacio, en la plataforma también debe escribirse. En el campo donde dice ‘Valor’ se escribe el nombre de la variable que guarda el conteo del sensor. El comando ‘client.sendAll (true)’ realiza el envío a la plataforma. La plataforma Ubidots ofrece varias versiones de sus librerías, la que se utilizó fue la versión 2.5.1; cada versión se carga a una velocidad (baudios) específica, por tanto, unas versiones se cargan más rápido en el dispositivo. Una buena selección de la versión de la librería evita fallos en la comunicación, esto se hizo probando cada librería (teniendo en cuenta algunas características, como 9600 baudios en los que trabaja el dispositivo, que recomienda el fabricante).

3.6 Programación PIC (método A):

El orden del programa es el siguiente: se definen las librerías, retardos, fusibles, puertos y bytes, etc. Con ellas el dispositivo entenderá cómo debe funcionar. Primero se incluye la librería “16F887.H” que es, claramente, la apropiada para el PIC 16F887. Luego se designa un retardo de 4MHz para el reloj en el que el PIC va a operar. Siguen los fusibles:

- **XT:** Activa el cristal o resonador estándar para trabajar a una ganancia media en la retroalimentación del inversor del oscilador (Configurations et al., n.d.).
- **NOPROTECT:** Desactiva la protección del código.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **NOWDT:** De sus siglas en inglés *No WatchDogs Timer*, es un comando que desactiva un reloj hardware el cuál, normalmente, activa un reseteo del sistema si el programa se rehúsa a funcionar periódicamente.
- **NOBROWNOUT:** desactiva la detección de errores por apagones (*Brown-outs*), cuando está activo reinicia el PIC si el voltaje es bajo.
- **PUT:** en inglés *Power-UP Timer*, es un retardo en el oscilador al iniciar el PIC, generalmente de milisegundos, para asegurarse que el voltaje haya llegado a su valor necesario en el PIC antes de iniciar el chip.
- **NOLVP:** en inglés *NO Low-Voltage Programming*, este comando desactiva el modo de programación de bajo voltaje.


Nos encontramos luego con la designación del baudiaje (9600), y la configuración de unos pines (C6 y C7) para su utilización como transmisor o receptor en la comunicación con otro dispositivo. Se definen, pues, los pines de entrada y salida y, por último, se asigna el número del Byte a cada puerto que aparece en la hoja de datos del PIC.

El código completo se compone de dos funciones principales: la primera función “VOID comandoAT ()” contiene comandos *AT* para la configuración del módulo Wi-Fi: “AT+CWMODE=3” comando anteriormente explicado; “AT+CWJAP” para conectar el módulo a una red con contraseña, colocando como parámetros el *SSID* y su contraseña, con los mismos caracteres. Este último comando, a través del monitor serial, envía como respuesta el número *HOST* y el *IP*, de los cuales se debe tomar el número o dirección *IP* que asigne la red. El número *IP* se introduce en el navegador, seguido de dos puntos y el número 80 p. ej.: “192.168.0.1:80”. El navegador responde al módulo con un mensaje que se puede ver en el monitor serial, para confirmar que se dio la conexión.

La segunda función “VOID Balancin ()” posee el conteo lógico que sucede cuando el sensor detecta la inversión del balancín y manda la señal al pin designado del PIC. En esta función, si el pin detecta la señal del sensor, se envía el comando “AT+CIPSEND” que nos permite

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

enviar texto a la página web. El texto que enviamos se trata de un código HTML que le da un mejor diseño a la página, además, en el código HTML hay un comando para recargar la página automáticamente, cada cierto tiempo. Dentro del código HTML se encuentra la variable de los datos de medición. Luego se envía el comando “AT+CIPCLOSE” que cierra la conexión. Por último, en la función “VOID MAIN ()”, se hace la definición de qué puertos del microcontrolador serán salidas o entradas (SET_TRIS). Se enciende un diodo LED que indica el correcto encendido del microcontrolador y funcionalidad del programa. Luego se hace el debido llamado de la función “comandoAT ()” seguida del ciclo infinito “WHILE (1)” que, a su vez, contiene el llamado a la función “Balancín ()”, la cual se ejecutará continuamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto, en general, ha sido de gran aporte a nuestro aprendizaje. En cuanto al tiempo de construcción, el método A es más complejo y requiere de una investigación más amplia. El método B es más intuitivo en este aspecto, y resulta mucho más simple de construir. No obstante, la dificultad que presenta puede, o no, dependiendo de la disposición, ser bastante grande, para cualquier diseño.

4.1 Método A:

Finalmente, el pluviómetro fue funcional (Fig. 18), enviando datos en tiempo real y funcionando como fue previsto: Leds, PCB, microcontrolador PIC, ESP8266 y su conexión con una red local que, sin embargo, podría adaptarse a Ubidots. A excepción de la fuente utilizada porque las baterías AA no proporcionan suficiente corriente para alimentar los diferentes dispositivos.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fig.18 Pluviómetro Terminado

Otros pluviómetros digitales traen, adicional, pantallas separadas y personalizadas donde muestran todos los datos. Para éste caso, el muestreo será por computador o smartphone en un servidor o página web. Por otra parte, el diseño de la PCB, del método A, fue un éxito: funcionó sin problema alguno y permitió conectar y hacer la soldadura de una manera muy fácil (Fig. 19).

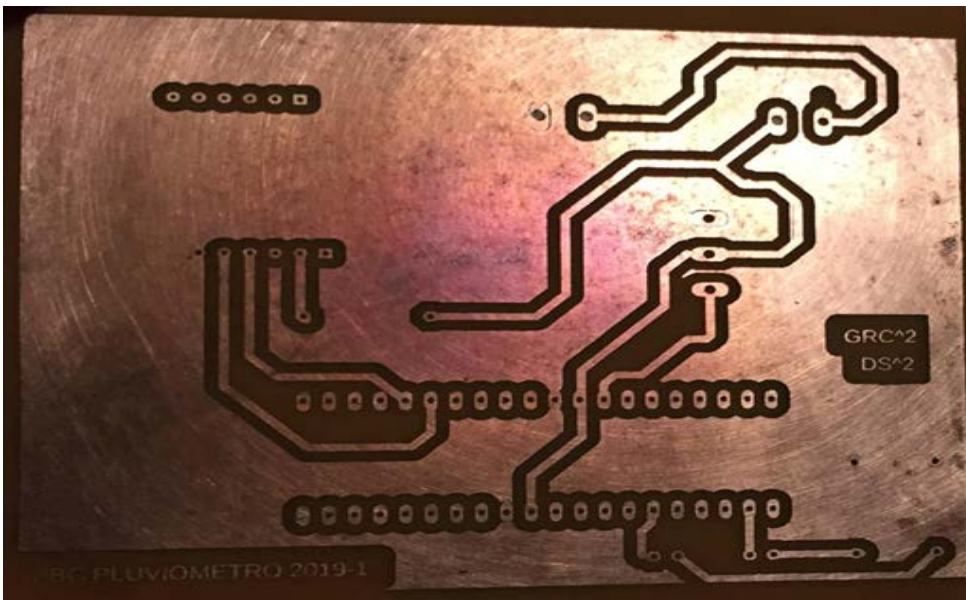


Fig.19 PCB del pluviómetro

Es claro que, con las herramientas necesarias, se puede realizar un circuito con componentes más pequeños donde el circuito sería más compacto, adaptable y permitiría ahorro de espacio en el PD, abriendo la posibilidad a pluviómetros más pequeños; justo así, como el circuito del NodeMCU que en tamaño resulta más compacto por utilizar esta tecnología.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Método B:

Este método, aparte de ser mucho más sencillo y rápido de llevar a cabo, es más práctico en cuanto a manejo, más amigable para alguna programación posterior, y más intuitivo. Sin embargo, el conocimiento adquirido es mucho mayor en el método A, debido a que los dispositivos usados en este método (B) se ahorran gran parte de la investigación y trabajo del método A: elaboración de PCB, la programación del PIC es más compleja, no hay que utilizar la misma cantidad de software... A continuación están las imágenes resultado del método B (Fig.)



Fig.20 Interior Pluviómetro Método B.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.21 Leds en funcionamiento.



Fig.22 Entrada de datos nuevos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO


5.1 Conclusiones:

- Los pluviómetros digitales representan una tecnología bastante fácil de producir y de medidas suficientemente precisas, además de su forma compacta y bien distribuida, permitiendo a su vez, la conectividad con los servidores web.
- Aunque la precipitación no es uniforme, los datos que obtienen son bastante funcionales, donde con métodos estadísticos y más muestras, se puede eliminar el error proporcionalmente, que generalmente se trata de cálculos avanzados. Mas, el cálculo del agua necesaria para realizar la inversión, y su equivalente en milímetros de agua, son dos procesos muy simples que no tardan más de treinta minutos, disponiendo de las herramientas necesarias, claro está.
- La parte más complicada, en lo que a la elaboración del método A confiere, es la comunicación con el servidor. Esto requiere de un módulo Wi-fi funcional y de correcta sincronización con el microcontrolador y el servidor. Sin embargo, este módulo es eficiente para este trabajo, enviando los datos como se esperaba.
- Ambos métodos proporcionaron conocimientos diversos y muestran eficazmente que hay, no sólo una, sino diversas maneras de abordar un problema y de solucionarlo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.2 Recomendaciones:

- El pluviómetro digital permite la implementación de otros sensores para la obtención de datos adicionales sobre el ambiente: temperatura, humedad, luminosidad... Que suelen ser importantes para estaciones meteorológicas, y la cantidad, depende de cuántas entradas disponibles tiene el módulo o microcontrolador.
- Se plantea realizar un PD que trabaje, en su totalidad, gracias a energías renovables. La opción más viable desde una visión primera sería la utilización de paneles solares. De esta forma se asegura un alargamiento de la vida útil y de la disminución del gasto energético diario.
- En cuanto a los módulos de comunicación, si se desea utilizar un módulo SIM es menester saber, a la hora de comprarlo, que éste requiere de regulaciones legales: homologación del dispositivo y activación del IMEI (*International Mobile Station Equipment Identity*). Es posible que la activación sea negada por parte del gobierno, así que es una variable importante para tener en cuenta con estos dispositivos. Para el módulo Wi-fi, es bueno estar consciente que este debe tener la misma tasa de baudios que el microcontrolador y, para cambiarla, el comando no es estándar y varía de acuerdo con el dispositivo.
- Un aspecto que no se previó y es bastante importante, refiere a la humedad a la que estará expuesta el circuito. Por una parte, el circuito está protegido contra el goteo constante, pero la humedad del aire inmediato al lugar de goteo fue una variable que fue imprevista durante el diseño y elaboración del pluviómetro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Chassaing, A., Ávila, M., & Madriz, J. (2013). Calibración de pluviómetro y termohigrómetros de estaciones meteorológicas automáticas . *Agronomía Tropical* , Vol. 63, pp. 185–192. scielon .
- Configurations, O., Oscillators, C., Resonators, C., Oscillator, E. R. C., Oscillator, M. R. C., Mode, S., ... History, R. (n.d.). *Section 2. Oscillator*. 1–20.
- DFRobots. (n.d.). Digital Magnetic Sensor SKU DFR0033. Retrieved from https://wiki.dfrobot.com/Digital_magnetic_sensor_SKU__DFR0033
- Espressif Overview. (2016). *Esp8266Ex*. 1. Retrieved from <https://espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>
- García, J. C. (2004). *Modelo de pérdidas para determinar Precipitación Efectiva usando Sistemas de Información Geográfica*. 92.
- Melillo, G. (2018). CALIBRE PIE DE REY. Retrieved from <http://metrologia.fullblog.com.ar/calibre-pie-de-rey-711224354220.html>
- Microchip Technology. (2007). Pic16F882/883/884/886/887. *Data Sheet*, 286. Retrieved from <http://goo.gl/8YbxJm>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2013a). Definición de pipeta. Retrieved from <https://definicion.de/pipeta/>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2013b). Definición de probeta. Retrieved from <https://definicion.de/probeta/>
- Rey, A. P. (2017). ¿Cómo se mide la lluvia? Retrieved from TWC España website: <https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/como-se-mide-la-lluvia-14102017>
- Torres, H. (2014). *Guía de diseño de PCB con EAGLE*. 0–54. Retrieved from https://hetpro-store.com/images/Tutoriales/pcb_eagle/hetpro_tutorial_pcb_eagle.pdf
-

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Cando G.
 Duvell
 JUANSE

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____