



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE RELOJ  
BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS  
DE LA EMPRESA MANTOMAIN**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**DIEGO MATEO SILVA CASTILLO**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS RIVERA**

**Quito, Marzo 2018**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2018  
Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	180461606-6
APELLIDOS Y NOMBRES:	Silva Castillo Diego Mateo
DIRECCIÓN:	El Trigal, José Eugenio Correa, 171 entre Juan Pablo II y Pedro José Dávalos.
EMAIL:	mateosilva_91@outlook.com
TELÉFONO FIJO:	02-4514352
TELÉFONO MOVIL:	09-99889472

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	<b>DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE RELOJ BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS DE LA EMPRESA MANTOMAIN</b>
AUTOR O AUTORES:	<b>SILVA CASTILLO DIEGO MATEO</b>
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	<b>Marzo 2018</b>
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	<b>ING. JUAN CARLOS RIVERA</b>
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	<b>INGENIERO EN MECATRÓNICA</b>
RESUMEN:	La necesidad de implementar dispositivos tecnológicos para el control y asistencia de operarios en las empresas ha ido creciendo ya que es más confiable en el momento de registrar personal, por ello se diseñó e implementó un dispositivo biométrico capaz de almacenar y registrar usuarios pertenecientes al personal de la empresa. Para ello se ha dispuesto de

dos tipos de usuarios, los operarios que solamente tendrán la opción de ver la hora del dispositivo y podrán registrarse al momento de su llegada o salida; y los administradores que podrán acceder a todas las opciones del dispositivo, tanto para añadir o borrar un usuario; así como para configurar la hora o realizar un borrado completo de los registros del dispositivo. Cada usuario, ya sea operario o administrador tendrá un número de identificación (id) de enrolamiento, esto para el respectivo guardado de usuario en la memoria del fingerPrint; así como para el momento en el que se registre el usuario a su llegada o salida. El almacenamiento del registro generado por un usuario al enrolarse se guardará en un módulo SD, los parámetros del registro son la id de usuario, la fecha y la hora en la que se generó; el archivo creado estará en formato \*.csv, y será uno nuevo cada mes automáticamente. El sistema del dispositivo cuenta con tres verificaciones al momento del encendido, esto aplica para el sensor fingerPrint, el módulo SD, y el reloj RTC; en caso de no funcionar bien alguno de los módulos antes mencionados, se lanzará una alerta dando aviso de cuál es el módulo faltante o dañado; al momento de enrolarse un usuario también se realizará una nueva verificación del módulo SD, en caso de estar todo a punto se procederá a realizar el registro y guardado en la SD.

**PALABRAS CLAVES:**

**ABSTRACT:**

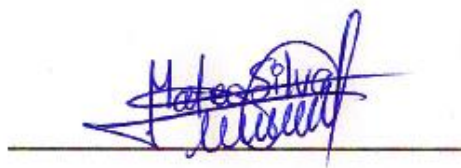
La alimentación del dispositivo será directamente de 110 VAC, para ello cuenta con un regulador interno a 5 VDC, con un sensor de presencia para que el dispositivo se encienda cuando el usuario se acerque a enrolarse.

RTC, fingerPrint, dispositivo, biométrico, enrolar, módulo SD

The need of implementing technological devices for the control and assistance of operators in the companies has been growing, since it is more reliable at the time of recording personnel, thereby designed and implemented a biometric device capable of storing and recording users belonging to the personnel of the enterprise. For this purpose, two types of users have been arranged, the operators will only have the option of viewing the time of the device and can be recorded at the time of arrival or output; and the managers that can access all of the device options, both to add or delete a user; as well as to eliminate the time or to make a complete erase of the records of the device. Each user, whether an operator or administrator will have an enrollment id number, this for the respective user saving in the memory of the finish; as well as for the moment in which the user is registered at the time of arrival or output. The storage of the record generated by a user at the time of rolling will be saved in a SD module, the parameters of the record are the user id, the date and time in which the created file is generated; the file created will be in a

<b>KEYWORDS</b>	*.csv format, and will be a new file each month; this automatically. The system of the device has three checks at the time of lighting, this applies to the finish sensor, the SD module, and the RTC clock, in the event of not operating any of the aforementioned modules, an alert will be launched giving a warning of which it is the missing or damaged module; when a user is enrolled, a new verification of the SD Module will also be performed, in the event of being all of the point, the recording and saved in the SD will be performed. The power of the device will be directly 110 VAC, for this purpose with an internal regulator at 5 VDC, with a presence sensor for the device to turn on when the user is to be enrolled.
	RTC, fingerPrint, device, biometric, enroll, SD module

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



Diego Mateo Silva Castillo

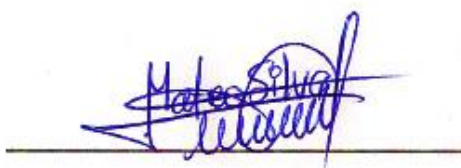
C.I. 180461606-6

# DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **SILVA CASTILLO DIEGO MATEO**, CI 180461606-6 autor del proyecto titulado: **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE RELOJ BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS DE LA EMPRESA MANTOMAIN** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, Marzo 2018.



Diego Mateo Silva Castillo

C.I. 180461606-6

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **FRANCISCO ANÍBAL GAIBOR AGUILAR** con cédula de identidad 020053473-3 en calidad de Gerente General de la empresa **MANTOMAIN** autorizo a **DIEGO MATEO SILVA CASTILLO**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE RELOJ BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS DE LA EMPRESA MANTOMAIN**”, basada en la información proporcionada por la empresa.



Francisco Gaibor

**GERENTE GENERAL**


C.I. 020053473-3



# DECLARACIÓN

Yo **SILVA CASTILLO DIEGO MATEO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Diego Mateo Silva Castillo

C.I. 180461606-6

## **CARTA DE AVAL DE LA EMPRESA**

Yo, **FRANCISCO ANÍBAL GAIBOR AGUILAR** con cédula de identidad N.-  
020053473-3 en calidad de Gerente General de la empresa **MANTOMAIN**  
certifico que el Sr. **DIEGO MATEO SILVA CASTILLO**, realizó su trabajo de  
titulación con el tema “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE  
RELOJ BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS DE  
LA EMPRESA MANTOMAIN**”, por requerimientos, y basada en la  
información proporcionada por la empresa, Los resultados del trabajo se  
entregaron el día **06 de diciembre de 2017**.



Francisco Gaibor

**GERENTE GENERAL**

C.I. 020053473-3

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE RELOJ BIOMÉTRICO PARA CONTROL Y REGISTRO DE OPERARIOS DE LA EMPRESA MANTOMAIN**”, que, para aspirar al título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **DIEGO MATEO SILVA CASTILLO**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Juan Carlos Rivera

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 050137382-3

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Mateo Silva y Enma Castillo; que me han brindado siempre su apoyo incondicional en cualquier aspecto de mi vida, reto, meta u obstáculo que en el momento esté atravesando. A mi hermana, Vanessa Silva; quien forma parte fundamental de mi vida, que ha estado siempre afrontando las adversidades junto a mí, le deseo lo mejor y espero ver cumplidas todas sus metas.

A los conocidos y amigos que siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional, tanto personal como académicamente.

Para ustedes, este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente, agradecer a Dios por permitirme cumplir una meta más, a mis padres que gracias a la paciencia, sacrificio, apoyo y amor que me han brindado ha sido posible llegar a esta instancia de mi vida.

Agradezco infinitamente al ingeniero Juan Carlos Rivera por haberme brindado su guía y su conocimiento para la elaboración de este trabajo. El soporte incondicional brindado en todo momento y por haber confiado en mí para la realización de este proyecto.

A los ingenieros Daniel Mideros y Vladimir Bonilla que gracias a su asesoría, compromiso y dedicación se desarrolló de manera óptima el presente trabajo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ASBTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGÍA Y DISEÑO</b> .....	<b>6</b>
2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	6
2.2. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	7
2.2.1. MÓDULO DE RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC).....	8
2.2.2. SENSOR FINGERPRINT .....	8
2.2.3. MÓDULO SD .....	8
2.2.4. SENSOR PIR.....	8
2.3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	8
2.3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA BIOMÉTRICO .....	9
2.3.2. DISEÑO DEL HARDWARE DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	10
2.3.2.1. INGENIERÍA DE CRITERIOS PONDERADOS.....	11
2.3.2.2. DETALLE DEL HARDWARE DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	13
2.3.3. DISEÑO ELECTRÓNICO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO.....	19
2.3.4. DISEÑO DE SOFTWARE DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	19
2.3.4.1. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL SOFTWARE DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	20
2.3.4.2. DISEÑO DE INTERFACES GRÁFICAS.....	21
2.4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS .....	23
2.4.1. PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO EN ETAPA INICIAL .....	23
2.4.2. PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO EN ETAPA FINAL .....	24
2.4.3. PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO .....	24

2.5. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y EMPLAZAMIENTO. ....	26
2.5.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	26
2.5.2. EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO .....	26
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO BIOMÉTRICO. ....	28
3.2. ANÁLISIS DE CONSUMO ELÉCTRICO. ....	30
3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FRR Y FAR. ....	31
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>36</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Comparación de métodos biométricos. ....	5
<b>Tabla 2.</b> Resumen de los requerimientos del sistema .....	7
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de criterios ponderados.....	11
<b>Tabla 4.</b> Alternativas de diseño para dispositivo biométrico. ....	12
<b>Tabla 5.</b> Valoración de las alternativas de diseño para dispositivo biométrico. ....	12
<b>Tabla 6.</b> Características principales de microcontrolador ATmega2560.....	14
<b>Tabla 7.</b> Características principales de sensor fingerPrint ER-SOT6439F .....	16
<b>Tabla 8.</b> Características de módulo de alimentación IRM-01-5 .....	18
<b>Tabla 9.</b> Análisis de consumo energético de dispositivo biométrico estado standby. ....	30
<b>Tabla 10.</b> Análisis de consumo energético de dispositivo biométrico estado ready. ....	31
<b>Tabla 11.</b> Datos de resultados de prueba de FRR. ....	32
<b>Tabla 12.</b> Datos de resultados de prueba de FAR.....	33
<b>Tabla 12.</b> Datos de resultados de prueba de FAR. Continuación... ..	34



# ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Tasa de aceptación falsa (FAR) y tasa de rechazo falso (FRR) como funciones del umbral t. ....	4
<b>Figura 2.</b> Metodología para el enfoque en prototipo.....	6
<b>Figura 3.</b> Arquitectura del dispositivo biométrico.....	9
<b>Figura 4.</b> Especificación técnica de componentes que integran dispositivo biométrico.....	10
<b>Figura 5.</b> Esquema de componentes que integran dispositivo biométrico. ....	13
<b>Figura 6.</b> Microcontrolador ATmega2560.....	13
<b>Figura 7.</b> Reloj en tiempo real DS1307.....	15
<b>Figura 8.</b> Sensor fingerPrint ER-SOT6439F.....	15
<b>Figura 9.</b> Vista frontal de pantalla TFT-touch 3.2".....	16
<b>Figura 10.</b> Vista posterior de pantalla TFT-touch 3.2".....	17
<b>Figura 11.</b> Módulo de alimentación Mean Well IRM-01-5.....	17
<b>Figura 12.</b> Sensor de movimiento PIR HC-SR501.....	18
<b>Figura 13.</b> Esquema electrónico de conexiones de dispositivo biométrico.....	19
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo del algoritmo para funcionamiento de dispositivo biométrico.....	20
<b>Figura 15.</b> Diagrama de flujo del algoritmo para pantalla menú de dispositivo biométrico.....	21
<b>Figura 16.</b> Interfaz gráfica de pantalla principal.....	22
<b>Figura 17.</b> Interfaz gráfica de pantalla de menú.....	22
<b>Figura 18.</b> Interfaz gráfica de pantalla para visualización de fecha y hora en tiempo real. ....	23
<b>Figura 19.</b> Prototipo de dispositivo biométrico en etapa de inicial de construcción.....	24
<b>Figura 20.</b> Prototipo de dispositivo biométrico en etapa de final de construcción.....	24
<b>Figura 21.</b> Dispositivo biométrico.....	26
<b>Figura 22.</b> Ubicación de dispositivo biométrico emplazado.....	27

<b>Figura 23.</b> Dispositivo biométrico en funcionamiento durante la noche. ....	27
<b>Figura 24.</b> Interface gráfica cuando no se detecta tarjeta SD. ....	28
<b>Figura 25.</b> Interface gráfica cuando no se detecta módulo RTC. ....	28
<b>Figura 26.</b> Interface gráfica cuando no se detecta sensor fingerPrint. ....	29
<b>Figura 27.</b> Interface gráfica cuando no se detecta tarjeta SD. ....	29
<b>Figura 28.</b> Interface gráfica cuando no se detecta módulo RTC. ....	30

# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Anexo 1. Planos .....</b>	<b>38</b>

# RESUMEN

La necesidad de implementar dispositivos tecnológicos para el control y asistencia de operarios en las empresas ha ido creciendo ya que es más confiable en el momento de registrar personal, por ello se diseñó e implementó un dispositivo biométrico capaz de almacenar y registrar usuarios pertenecientes al personal de la empresa. Para ello se ha dispuesto de dos tipos de usuarios, los operarios que solamente tendrán la opción de ver la hora del dispositivo y podrán registrarse al momento de su llegada o salida; y los administradores que podrán acceder a todas las opciones del dispositivo, tanto para añadir o borrar un usuario; así como para configurar la hora o realizar un borrado completo de los registros del dispositivo. Cada usuario, ya sea operario o administrador tendrá un número id de enrolamiento, esto para el respectivo guardado de usuario en la memoria del fingerPrint; así como para el momento en el que se registre el usuario al momento de su llegada o salida. El almacenamiento del registro generado por un usuario al momento de enrolarse se guardará en un módulo SD, los parámetros del registro son la id de usuario, la fecha y la hora en la que se generó; el archivo creado estará en formato \*.csv, y será un archivo nuevo cada mes; esto automáticamente. El sistema del dispositivo cuenta con tres verificaciones al momento del encendido, esto aplica para el sensor fingerPrint, el módulo SD, y el reloj RTC; en caso de no funcionar bien alguno de los módulos antes mencionados, se lanzará una alerta dando aviso de cuál es el módulo faltante o dañado; al momento de enrolarse un usuario también se realizará una nueva verificación del módulo SD, en caso de estar todo a punta se procederá a realizar el registro y guardado en la SD. La alimentación del dispositivo será directamente de 110 VAC, para ello cuenta con un regulador interno a 5 VDC, cuenta con un sensor de presencia para que el dispositivo se encienda cuando el usuario se acerque a enrolarse.

## Palabras Claves

RTC, fingerPrint, dispositivo, biométrico, enrolar, módulo SD

## **ASBTRACT**

The need of implementing technological devices for the control and assistance of operators in the companies has been growing, since it is more reliable at the time of recording personnel, thereby designed and implemented a biometric device capable of storing and recording users belonging to the personnel of the enterprise. For this purpose, two types of users have been arranged, the operators will only have the option of viewing the time of the device and can be recorded at the time of arrival or output; and the managers that can access all of the device options, both to add or delete a user; as well as to eliminate the time or to make a complete erase of the records of the device. Each user, whether an operator or administrator will have an enrollment id number, this for the respective user saving in the memory of the finish; as well as for the moment in which the user is registered at the time of arrival or output. The storage of the record generated by a user at the time of rolling will be saved in a SD module, the parameters of the record are the user id, the date and time in which the created file is generated; the file created will be in a \*.csv format, and will be a new file each month; this automatically. The system of the device has three checks at the time of lighting, this applies to the finish sensor, the SD module, and the RTC clock, in the event of not operating any of the aforementioned modules, an alert will be launched giving a warning of which it is the missing or damaged module; when a user is enrolled, a new verification of the SD Module will also be performed, in the event of being all of the point, the recording and saved in the SD will be performed. The power of the device will be directly 110 VAC, for this purpose with an internal regulator at 5 VDC, with a presence sensor for the device to turn on when the user is to be enrolled.

### **Key Words**

RTC, fingerPrint, device, biometric, enroll, SD module

## **1. INTRODUCCIÓN**

Cada año el sector de las tecnologías de la información ha progresado considerablemente, y en consecuencia de ello la sociedad está cada día más asociada con la tecnología. La mayoría de tareas manuales están siendo realizadas por sistemas automatizados. Dentro de las diversas tareas que pueden automatizarse es la biometría, la cual se ha convertido en un área importante debido a la capacidad de establecer la identidad de individuos. (Osuna, 2011)

América latina se ha convertido en el mercado de mayor desarrollo de la tecnología biométrica, según el experto dentro de esta área Sergio Valdez. "Se está aplicando en muchos países de América Latina", donde se extiende de forma impresionante, "precisamente por el volumen de masa crítica de habitantes" de la región. (Pressman, 2005)

El uso de sistemas biométricos en Ecuador ha aportado grandes beneficios a las empresas públicas y privadas ya que de acuerdo al desarrollo y demanda de nuevas tecnologías se ha ido adaptando e implementando ideas innovadoras para tener un sistema de nivel de acceso seguro y confiable.

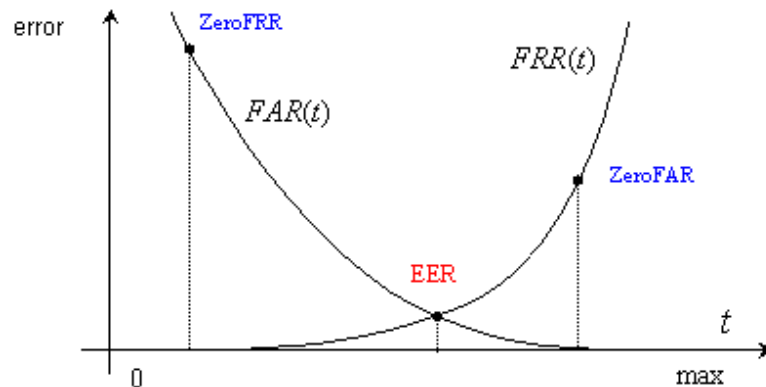
El beneficio de los sistemas biométricos es que no es necesario llevar una tarjeta o llave para acceder al sitio, por lo tanto la biometría aplicada al campo de la seguridad radica en el uso de tecnologías con métodos automáticos para el reconocimiento de personas, en uno o más rasgos físicos intrínsecos. La palabra biometría se deriva de las palabras griegas bios, vida y metron, medida, y el propósito es básicamente la identificación y la autenticación en control de accesos. (Buenaño, Clavijo, & Flores, 2009)

El proceso general de autenticación sigue unos pasos comunes a todos los modelos de autenticación biométrica: captura o lectura de los datos que el usuario a validar presenta, extracción de ciertas características de la muestra (por ejemplo, las minucias de una huella dactilar), comparación de tales características con las guardadas en una base de datos, y decisión de si el usuario es válido o no. Es en esta decisión donde principalmente entran en juego las dos características básicas de la fiabilidad de todo sistema biométrico (en general, de todo sistema de autenticación): las tasas de falso rechazo y de falsa aceptación. (Huerta, 2002)

Por tasa de falso rechazo (False Rejection Rate, FRR) se entiende a la probabilidad de que el sistema de autenticación rechace a un usuario legítimo porque no es capaz de identificarlo correctamente, y por tasa de falsa aceptación (False Acceptance Rate, FAR) a la probabilidad de que el sistema autentique correctamente a un usuario ilegítimo; evidentemente, una FRR alta provoca descontento entre los usuarios del sistema, pero una FAR elevada genera un grave problema de seguridad: estamos proporcionando acceso a un recurso a personal no autorizado a acceder a él. (Huerta, 2002)

En general, FAR y FRR dependen del umbral de aceptación  $t$ , que se usa para establecer el nivel de seguridad deseado, y están estrictamente relacionados entre sí. Más específicamente,  $FRR(t)$  es una función creciente y  $FAR(t)$  es una función decreciente, por lo que si se aumenta la configuración de umbral para dificultar el acceso de impostores, a algunas personas autorizadas les puede resultar más difícil obtener acceso. (Biometrika, 2015)

En la figura 1 se observa gráficamente el comportamiento de la Tasa de aceptación falsa (FAR) y tasa de rechazo falso (FRR) como funciones del umbral  $t$ .



**Figura 1.** Tasa de aceptación falsa (FAR) y tasa de rechazo falso (FRR) como funciones del umbral  $t$ . (Biometrika, 2015)

Dentro de las características físicas más seguras y empleadas en la actualidad en sistemas de seguridad son las huellas dactilares y los patrones faciales. Otras que también se emplean son: las retinas, el iris, las venas de la mano, la geometría de la palma de la mano o la voz. (Buenaño, Clavijo, & Flores, 2009)

Los dispositivos biométricos tienen tres partes principales; por un lado, disponen de un mecanismo automático que lee y captura una imagen digital o analógica de la característica a analizar. Además disponen de una entidad para manejar aspectos como la compresión, almacenamiento o comparación de los datos capturados con los guardados en una base de datos (que son considerados válidos), y también ofrecen una interfaz para las aplicaciones que los utilizan. (Sagarra, 2008)

La autenticación de usuarios mediante métodos biométricos es posible utilizando cualquier característica única y medible del individuo (esto incluye desde la forma de teclear ante un ordenador hasta los patrones de ciertas venas, pasando por el olor corporal), tradicionalmente ha estado basada en cinco grandes grupos como se aprecia en la tabla 1. (Evertt, 2002)



**Tabla 1.** Comparación de métodos biométricos.

	Ojo - Iris	Ojo - Retina	Huellas dactilares	Geometría de la mano	Escritura - Firma	Voz
Fiabilidad	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Facilidad de uso	Media	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
Prevención de ataques	Muy Alta	Muy alta	Alta	Alta	Media	Media
Aceptación	Media	Media	Media	Alta	Muy alta	Alta
Estabilidad	Alta	Alta	Alta	Media	Media	Media
Identificación y autenticación	Ambas	Ambas	Ambas	Autenticación	Ambas	Autenticación
Estándares	-	-	ANSI/NIST, FBI	-	-	SVAPI
Interferencias	Gafas	Irritación	Suciedad, heridas, asperezas	Artritis, reumatismo	Firma fácil o cambiante	Ruido, resfriados

(Saini &amp; Rana, 2014)

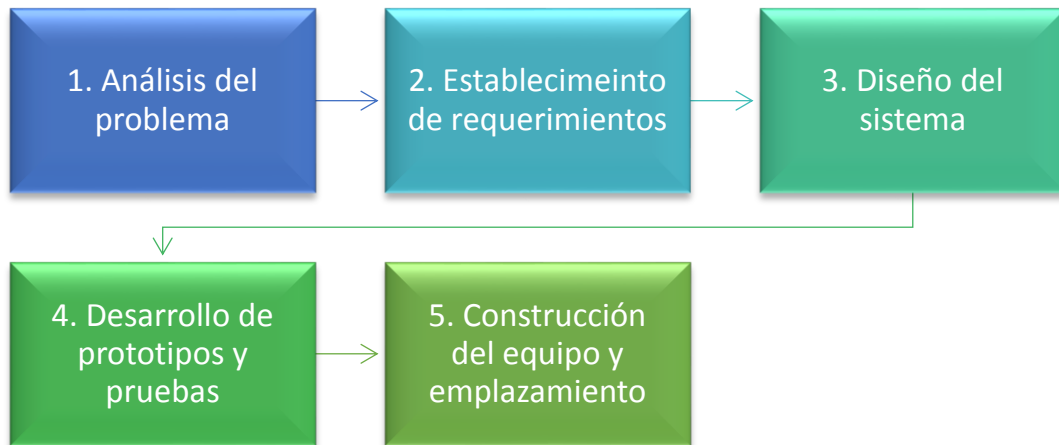
En la empresa es necesario tener implementado un sistema de registro de entrada y salida de operarios, ya que el horario de trabajo de los operarios es irregular, por ese motivo se deben registrar ocasionalmente en horas de la madrugada, cuando ninguna otra persona está presente para llevar el registro de asistencia; entonces ahí es cuando el dispositivo entra en acción, registrando al usuario de manera autónoma.

Los objetivos de este trabajo son:

- Diseñar e implementar un dispositivo biométrico para control y registro de usuarios.
- Guardar los registros generados en una memoria SD en un archivo en formato \*.csv
- Ingresar diferentes tipos de usuarios: administrador, operador.
- Construir e integrar los distintos elementos de hardware para el funcionamiento del equipo.

## **2. METODOLOGÍA Y DISEÑO**

El dispositivo biométrico se realizó con base una metodología conocida como enfoque en prototipo, como se aprecia en la figura 2. La metodología fue la más idónea ya que el proyecto integró un desarrollo e implementación tanto de software como de hardware.



**Figura 2.** Metodología para el enfoque en prototipo  
(Ingenieure, 2004)

La metodología parte de un análisis del problema, secundando un establecimiento de los diferentes tipos de requerimientos, procediendo a un diseño del sistema, desarrollo de prototipos y pruebas, finalizando con la construcción del equipo y el emplazamiento.

## 2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Los costos que genera el contratar a una empresa externa para generar los reportes de los registros de los usuarios, ya sean estos mensuales o trimestrales. Los costos varían dependiendo de los servicios que sean contratados, es decir; si se desea un reporte más detallado el valor será más costoso, entonces el propósito es evitar la contratación de empresas externas para el cometido.

Los dispositivos biométricos actuales, al no ser construidos acá en el país; se vuelve difícil encontrar un lugar que brinde soporte o repuestos en caso de que el dispositivo se dañe; ya sea por hardware o software.

En caso de daño o fallo del dispositivo o de algún módulo, se tendría que enviar el dispositivo a reparación; y el tiempo que demore en ser enviado, reparado y retorno causará inconvenientes en la empresa; ya que, la prontitud de puesta en marcha del dispositivo es vital porque de esa manera es como se obtiene el registro de los operarios.

## 2.2. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Desarrollar dispositivo biométrico para el registro de usuarios de la empresa, que sea confiable, disponible e integra, con ello se busca guardar el enrolamiento en un módulo SD de forma segura; garantizando la confidencialidad de la información.

El dispositivo deberá ser fácil de usar tanto para el administrador como para el operario; así como de fácil mantenimiento para el reemplazo de módulos en caso de ser necesario.

La validación de los principales módulos que componen el dispositivo, esto al momento de encender para validar el correcto funcionamiento.

Alimentación del dispositivo deberá ser de la línea de 110 VAC, la cual deberá ser permanente y fiable; así como el encendido deberá ser por medio de un sensor de proximidad.

Deberá contar con una TFT-touch (Thin Film Transistor touch screen) para el respectivo manejo del dispositivo, con ello se podrá acceder a todas las opciones con las que deberá contar el menú.

En resumen para la integración del dispositivo biométrico deberá obedecer las características detalladas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resumen de los requerimientos del sistema

Requerimiento	Análisis
Encendido autónomo	Activación del dispositivo por medio de detección de movimiento.
Monitoreo de módulos	Verificación de funcionamiento óptimo de Sensor fingerPrint, módulo SD y RTC.
Alimentación de energía eléctrica	Alimentación continua del dispositivo, conectada a una red de 110 VAC.
Interfaz con el usuario	La interfaz gráfica para manipulación fácil del usuario.
Almacenamiento de registro	Almacenamiento de los datos generados en módulo SD, en formato *.csv

### **2.2.1. MÓDULO DE RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC)**

Es necesario que el módulo RTC sea ajustable por software, en caso de necesitar un cambio de hora o fecha, es importante verificar que el módulo esté conectado siempre; ya que en el momento del enrolamiento del usuario la fecha y la hora deberán guardarse junto a la id, para posteriormente generar el archivo \*.cvs; en el cual estarán todos los registros, en caso de no estar presente el módulo, el dispositivo debe mostrar una alerta en pantalla.

El módulo deberá tener una pila de 3 VDC externos, ya que necesita estar en permanente funcionamiento para mantener de esta manera la hora y la fecha actualizados.

### **2.2.2. SENSOR FINGERPRINT**

El sensor deberá estar siempre presente en el sistema, ya que este recolecta el dato de la huella del usuario tanto para guardarlo en la base de datos como para realizar la comparación al momento de un enrolamiento, por ello el sensor debe ser validado en cada encendido del dispositivo, en caso de no estar presente el sensor, el dispositivo debe mostrar una alerta en pantalla.

### **2.2.3. MÓDULO SD**

Uno de los principales módulos es la SD (Secure Digital), ya que en él se deberá guardar todos los registros que se generen al momento de enrolarse, por ello siempre se deberá verificar que módulo esté presente y en perfecto funcionamiento al momento de encender el dispositivo, también deberá ser validado el módulo nuevamente al momento de generar un registro, ya que en el proceso el usuario puede retirar la SD por accidente; en cualquiera de los dos casos de no estar presente el módulo, el dispositivo debe mostrar una alerta en pantalla.

### **2.2.4. SENSOR PIR**

El sensor deberá habilitar el dispositivo cuando un usuario esté cerca, esto para que el dispositivo permanezca en estado de hibernación y no haya un alto consumo de energía eléctrica.

## **2.3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO BIOMÉTRICO**

La arquitectura del dispositivo biométrico se muestra en la figura 3, la misma muestra que el dispositivo contará con un módulo SD para el almacenamiento de los registros generados, un sensor fingerPrint para el enrolamiento de los usuarios, un reloj RTC (Real Time Clock) para obtener la hora y la fecha actualizada, una unidad central para el procesamiento de los datos, una pantalla TFT-touch para la interfaz con el usuario, una unidad de alimentación

para el respectivo funcionamiento del dispositivo y un sensor de presencia para la habilitación del dispositivo.

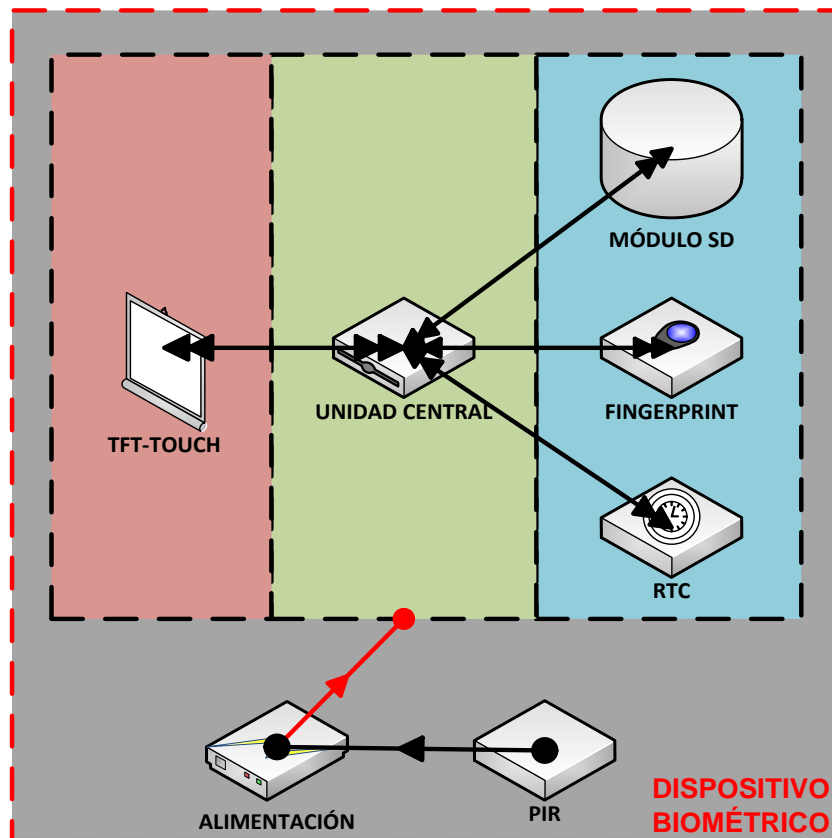


Figura 3. Arquitectura del dispositivo biométrico.

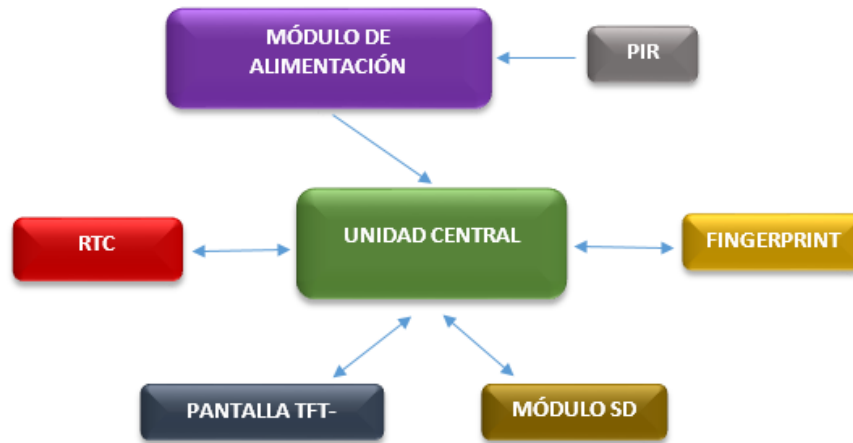
El diseño se realizó a base de los requerimientos propuestos, el diseño de hardware fue el primer punto a tratarse seguidamente del diseño de software. Con base en el hardware que se propuso se pudo realizar la programación para las diferentes conmutaciones del sistema.

### 2.3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA BIOMÉTRICO

Bajo el esquema de la figura 4, el dispositivo se compone de un módulo SD en el que se almacena los registros de los usuarios al momento de realizarse un enrolamiento, un reloj RTC para obtener el dato de hora y fecha actualizados al momento de que un usuario se enrole en el dispositivo y posteriormente se guarde el dato en la SD, el sensor fingerPrint es el encargado de tomar el dato de la huella del usuario, tanto para guardarlo en la base en caso de que sea el ingreso de un nuevo usuario al sistema; así como para realizar la comparación de la huella y encontrar coincidencias en el sistema.

La interfaz con el usuario es por medio de una pantalla TFT-touch, la cual consta de un menú en el que se puede: ingresar usuario o administrador, borrar usuarios; borrado total y configuración de reloj; además en la página

principal se puede observar el logo de la empresa y el ícono para acceder al menú. El módulo de alimentación se encargará de transformar los 110 VAC de la red a 5 VDC para la alimentación de todo el dispositivo, esta alimentación estará condicionada por un sensor de presencia PIR para que el dispositivo sea de bajo consumo.



**Figura 4.** Especificación técnica de componentes que integran dispositivo biométrico.

En la unidad central estará integrado el software encargado de la comunicación con los módulos periféricos del dispositivo, es decir; el envío y recepción de datos entre los módulos que componen el sistema.

### 2.3.2. DISEÑO DEL HARDWARE DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO

Consiste en el diseño del hardware del circuito digital, con el cual se integrará todos los componentes; basado en los requerimientos y las especificaciones técnicas establecidas, con ello se logrará obtener el correcto funcionamiento de todos los elementos como un solo sistema autónomo.

La recepción y envío de datos para este propósito es fundamental, ya que con ello se podrá validar las huellas ingresadas y emitir respuestas, otro punto importante es la comunicación que deberá existir entre los dispositivos y componentes, la pérdida de datos podría causar un mal ingreso del usuario en el registro de la SD.

El microcontrolador para la unidad es un punto primordial, ya que se habla de donde se procesará la información y se controlará el sistema; por ello existirá cierta rigurosidad a la hora de tomar en cuenta los siguientes parámetros: la capacidad de procesamiento, velocidad del reloj, memoria interna y alimentación de operación.

Para determinar cuál será la mejor alternativa, se procedió a realizar un análisis conocido como ingeniería de criterios ponderados; para la obtención del mejor resultado a base de los requerimientos establecidos anteriormente, por ese motivo se propone varias soluciones para el dispositivo.

### 2.3.2.1. Ingeniería de criterios ponderados

Para la valoración de los diferentes criterios de ingeniería para el dispositivo será en base a los parámetros descritos en la tabla 3.

Los parámetros principales tomados en cuenta son: el material con el que estará constituido el dispositivo, para ello hay que tomar en cuenta el costo; tanto para la elaboración como para los materiales que serán utilizados para su fabricación, el diseño deberá estar enfocado en optimar recursos y ofreciendo buenas prestaciones tanto en funcionalidad, control y usabilidad; de fácil mantenimiento e instalación.

**Tabla 3.** Parámetros de criterios ponderados.

Criterios de Ingeniería	Descripción
Material	Evaluación del material con el cual estará constituida la cubierta o carcasa, en base a la dureza que lo constituya.
Costo	Costo asequible de materiales que están explícitamente integrando el dispositivo, así como los costos de manufactura, integración y operación.
Funcionalidad	Cumplimiento de las prestaciones destinadas para el dispositivo.
Mantenimiento	Facilidad con la cual se pueda realizar el desmantelamiento del dispositivo para el respectivo mantenimiento preventivo como correctivo.
Control	Peritaje en la toma o envío de datos.
Diseño	Optimización de recursos y seguridad eléctrica en base al estándar IEC60610.
Instalación	Facilidad de puesta en marcha del dispositivo.
Usabilidad	Capacidad del dispositivo para ser entendido, usado y resultar atractivo para el usuario aplicando la ISO25000.
Vida útil	Larga vida útil del dispositivo en base a las horas de trabajo.

En la tabla 4, se detalla las diferentes alternativas como posibles soluciones para el dispositivo biométrico, tomando en cuenta los parámetros antes mencionados.



**Tabla 4.** Alternativas de diseño para dispositivo biométrico.

Requerimientos	Alternativa 1	Alternativa 2
Microcontrolador	ATmega2560	AT91SAM3X8E
FingerPrint	ER-SOT6439F	GT-511C3
Fuente de alimentación	IRM-01-5	HLK-PM01
RTC	DS1307	DS3231
Pantalla TFT-touch	TFT-touch 3.2"	TFT-touch 4.3"
Material	PLA	Acrílico

Para la valoración se procedió con base en los criterios de ingeniería antes propuestos a ponderar cuantitativamente para el cumplimiento de los requerimientos; se usó la escala de 1 a 5, donde 5 es el puntaje más alto y 1 es el más bajo.

**Tabla 5.** Valoración de las alternativas de diseño para dispositivo biométrico.

ALTERNATIVAS	Material	Costo	Funcionalidad	Mantenimiento	Control	Diseño	Instalación	Usabilidad	Vida Útil	TOTAL
ALTERNATIVA 1	4	5	5	4	3	4	5	4	4	38
ALTERNATIVA 2	2	3	3	3	4	4	5	3	2	29

En la tabla 5, se muestra la ponderación realizada para las alternativas de diseño para el dispositivo biométrico, donde se puede apreciar que la alternativa 1 es la mejor; la cual cumple con los requerimientos y los criterios de ingeniería establecidos.

El esquema de la unidad con la mejor alternativa se muestra en la figura 7, la unidad central tendrá como base un microcontrolador ATmega2560 en el cual estará almacenado el software para la operación del dispositivo, el reloj RTC para la toma de fecha y hora es un DS1307, el sensor fingerPrint seleccionado

es el ER-SOT6439F, una pantalla TFT-touch de 3.2" con módulo SD integrado, el módulo IRM-01-5 servirá para transformar 110 VAC a 5 VDC cumpliendo con el estándar IEC60610.

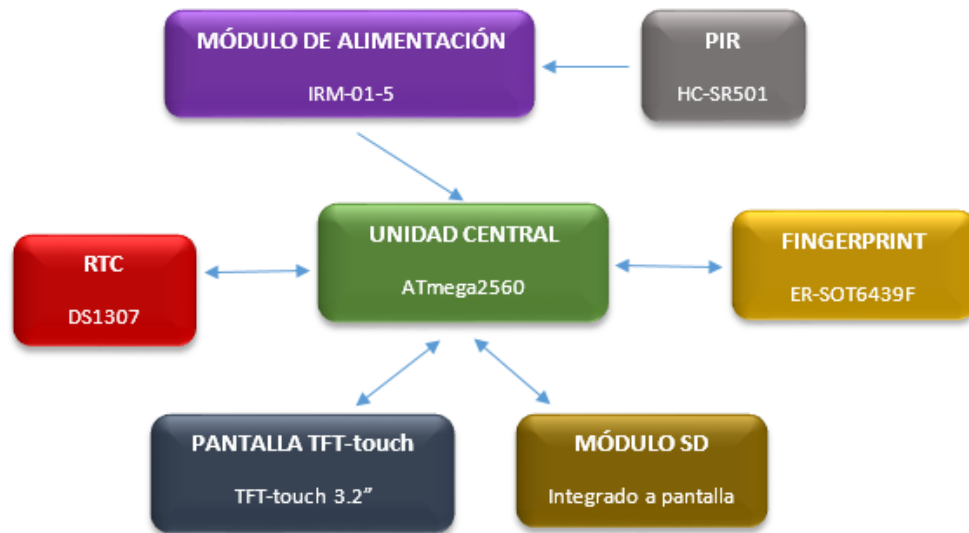


Figura 5. Esquema de componentes que integran dispositivo biométrico.

### 2.3.2.2. Detalle del hardware de dispositivo biométrico

A continuación se detalla cada uno de los componentes que conforman el dispositivo biométrico.

#### Microcontrolador ATmega2560

Para este caso se utiliza una tarjeta electrónica en el que se encuentra integrado el microcontrolador que se muestra en la figura 6, hablo de la tarjeta Arduino mega 2560; ya que da la facilidad de conexión con los otros módulos y tiene un entorno y lenguaje propio de programación.

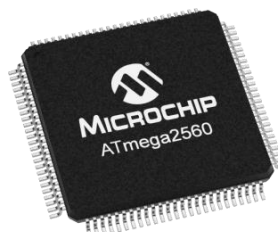


Figura 6. Microcontrolador ATmega2560 (Microchip, 2018)

El microcontrolador consta de tres partes principales: la CPU (Central Processing Unit) donde las instrucciones del programa son reconocidas y ejecutadas, los puertos E/S (Entrada / Salida) que comunican a la tarjeta con otros módulos y una memoria donde los datos y el programa con las diferentes instrucciones son almacenados.

Otras características del microcontrolador se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Características principales de microcontrolador ATmega2560.

Nombre del parámetro	Detalle
Tipo de memoria de programa	Flash
Memoria de programa (KB)	256
Velocidad de CPU (MIPS)	16
Bytes RAM	8192
Datos EEPROM (bytes)	4096
Periféricos de comunicación digital	4-UART, 5-SPI, 1-I2C
Capture / Compare / PWM Periféricos	4 Captura de entrada, 4 CCP, 16PWM
Temporizadores	2 x 8-bit, 4 x 16-bit
Comparadores	1
Rango de temperatura (C)	-40 a 85
Rango de tensión de funcionamiento (V)	1.8 a 5.5
Recuento de Pin	100

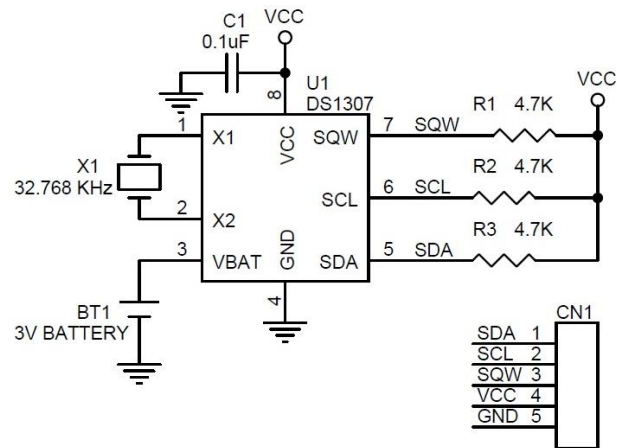
(Microchip, 2018)

Al ejecutar instrucciones potentes en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza un rendimiento cercano a 1 MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages) por MHz, equilibrando el consumo de potencia y la velocidad de procesamiento. (Microchip, 2018)

### **Reloj en tiempo real RTC DS1307**

El DS1307 Real-Time-Clock Serie, que se muestra en la figura 7; es un dispositivo de bajo consumo de energía, completo con código binario decimal (BCD), reloj/calendario más 56 bytes de NV SRAM. Dirección y datos son transferidos a través de 2 hilos serie, bus bi-direccional. El reloj/calendario provee información de: segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. El final de fecha de mes se ajusta automáticamente durante meses menores de 31 días, incluyendo correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en

cualquiera formato de 24 horas o en 12 horas con indicador AM/PM. El DS1307 tiene incorporado un circuito de sensor de tensión que detecta fallas de energía y cambia automáticamente al suministro de batería de respaldo. (Maxim Integrated, 2015)



**Figura 7.** Reloj en tiempo real DS1307  
(Electronics-lab, 2018)

El módulo RTC tiene una comunicación bus bi-direccional I<sup>2</sup>C, es decir utiliza los pines de comunicación SCL y SDA; por medio de dichos pines se obtiene la información reloj/calendario.

### Sensor fingerPrint ER-SOT6439F

Este sensor de huella digital óptico que se muestra en la figura 8, hará que la detección y verificación de huellas dactilares sea muy sencilla. Tiene un chip DSP de alta potencia AS601 que realiza la representación, el cálculo, la búsqueda de características y la búsqueda de imágenes. (Elecrow, 2015)



**Figura 8.** Sensor fingerPrint ER-SOT6439F  
(Elecrow, 2015)

Se conecta a cualquier microcontrolador o sistema serial TTL y envía paquetes de datos para tomar fotos, detectar impresiones y buscar. También puede registrar nuevos dedos directamente: hasta 120 huellas dactilares pueden almacenarse en la memoria FLASH incorporada. El sensor fingerPrint es realmente fácil de usar con el serial UART. (Elecrow, 2015)

En la tabla 7 se detalla otras características del sensor fingerPrint.

**Tabla 7.** Características principales de sensor fingerPrint ER-SOT6439F

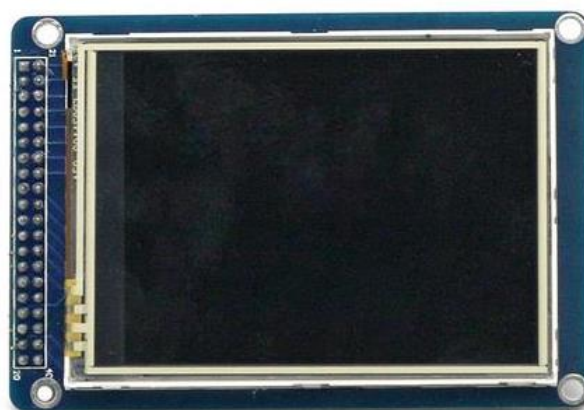
Parámetro	Detalle
Comunicación	UART(TTL)
Número de fingerPrints	120
Tensión de funcionamiento (V)	3.6 a 6
Temperatura (C)	-20 a 50
Humedad	<85%
Dimensiones (mm)	56x20x21.5

(Elecrow, 2015)

El sensor tiene cuatro cables: amarillo, verde, rojo y negro. El cable amarillo es RX para la lectura de los datos; los mismos que se almacenan en la FLASH del sensor, el cable verde es TX para el envío de los datos, el cable rojo es de alimentación a 5 VDC y el cable negro la conexión a tierra común.

### **Pantalla TFT-touch 3.2"**

La pantalla TFT SainSmart de 3.2" de la figura 9 es un módulo de pantalla LCD táctil. Tiene 40 pines de comunicación para la interfaz con la tarjeta electrónica e incluye un módulo de tarjeta SD y el diseño de lector flash.



**Figura 9.** Vista frontal de pantalla TFT-touch 3.2"  
(SainSmart, 2018)

Es un módulo poderoso y multifuncional propio para el proyecto. La pantalla incluye un controlador SSD1289, tiene interfaz de soporte de datos de 8/16 bits, fácil de manejar por muchos MCU como Arduino, STM32, AVR y 8051.

Está diseñado con un controlador táctil, el IC táctil es ADS7843, y la interfaz táctil está incluida dentro de los 40 pines. (SainSmart, 2018)

En la figura 10, se aprecia la parte posterior del módulo TFT.



**Figura 10.** Vista posterior de pantalla TFT-touch 3.2"  
(SainSmart, 2018)

En ella se encuentra integrado el módulo SD para el almacenamiento de los registros, así como el controlador SSD1289.

### **Módulo de alimentación IRM-01-5**

El módulo de la figura 11, es una fuente de alimentación de AC/DC encapsulada en miniatura.



**Figura 11.** Módulo de alimentación Mean Well IRM-01-5  
(Transfer Multisort Elektronik, 2018)

Este módulo cuenta con un tamaño compacto y bajo consumo de energía de carga en el modo de espera. El consumo de energía sin carga extremadamente bajo ( $<0.1W$ ) permite cumplir fácilmente con los requisitos de la norma ErP (Energy-related Products) y EISA. Esta fuente cumple con los certificados UL/CUL/TUV/CB/CE de seguridad. Las aplicaciones adecuadas para esta fuente incluyen instrumentos electrónicos, automatización de fábrica y equipos eléctricos o mecánicos. (Mouser Electronics, 2018)

A continuación, en la tabla 8 se detalla algunas características del módulo de alimentación.

**Tabla 8.** Características de módulo de alimentación IRM-01-5

Parámetro	Detalle
Potencia (W)	1
Voltaje de entrada (VAC) / salida (VDC)	85 - 305 / 5
Corriente de salida (mA)	200
Estándares de seguridad	UL60950-1, TUV EN60950-1 aprobado, opcional IEC60601-1, EN60335-1, EN61558-1/-2-16
Estándares de EMC	Conformidad con EN55022 (CISPR22) Clase B, EN61000-3-2-3, Conformidad con EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; EN55024, nivel de industria pesada (aumento L-N: 1KV), criterio A.

(Mean Well , 2017)

Es importante resaltar los estándares que tiene el módulo, ya que el dispositivo biométrico debe cumplir con la seguridad eléctrica en base al estándar IEC60610.

## Sensor de movimiento PIR

El sensor PIR de la figura 12 permite sentir el movimiento, para detectar si un usuario se ha movido dentro del rango del sensor; es pequeño, de bajo consumo, fácil de usar y no se desgastan. Por eso es el sensor idóneo para el montaje del equipo.



**Figura 12.** Sensor de movimiento PIR HC-SR501.  
(Adafruit Learning System, 2017)

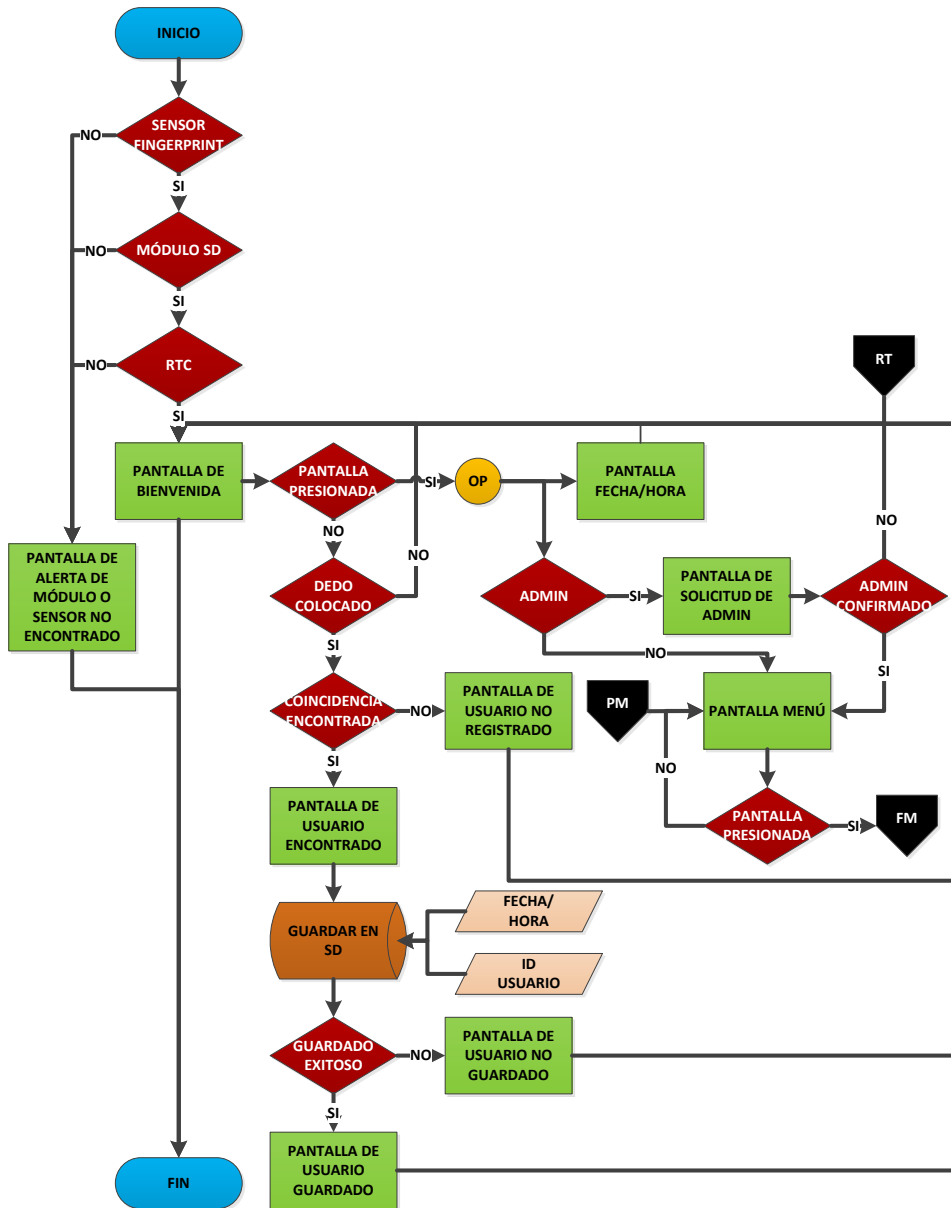
Trabaja a una tensión de entrada de 5 VDC y una salida en alto de 3 VDC, tiene un rango de sensibilidad ajustable de 3 a 6 metros con un ángulo de detección de 110° x 70° y retardo ajustable de 5 a 300 segundos. (Adafruit Learning System, 2017)





### 2.3.4.1. Diagramas de flujo del software de dispositivo biométrico

En la figura 14, se detalla la primera parte del diagrama de flujo; en la cual se encuentra la verificación del sensor y de los módulos, así como el registro de un usuario al momento de enrolarse, además del funcionamiento de la página principal (pantalla de bienvenida).



**Figura 14.** Diagrama de flujo del algoritmo para funcionamiento de dispositivo biométrico.

La segunda parte del diagrama de flujo, se detalla el funcionamiento de la pantalla menú, y de cada una de sus opciones; como se muestra a continuación en la figura 15.

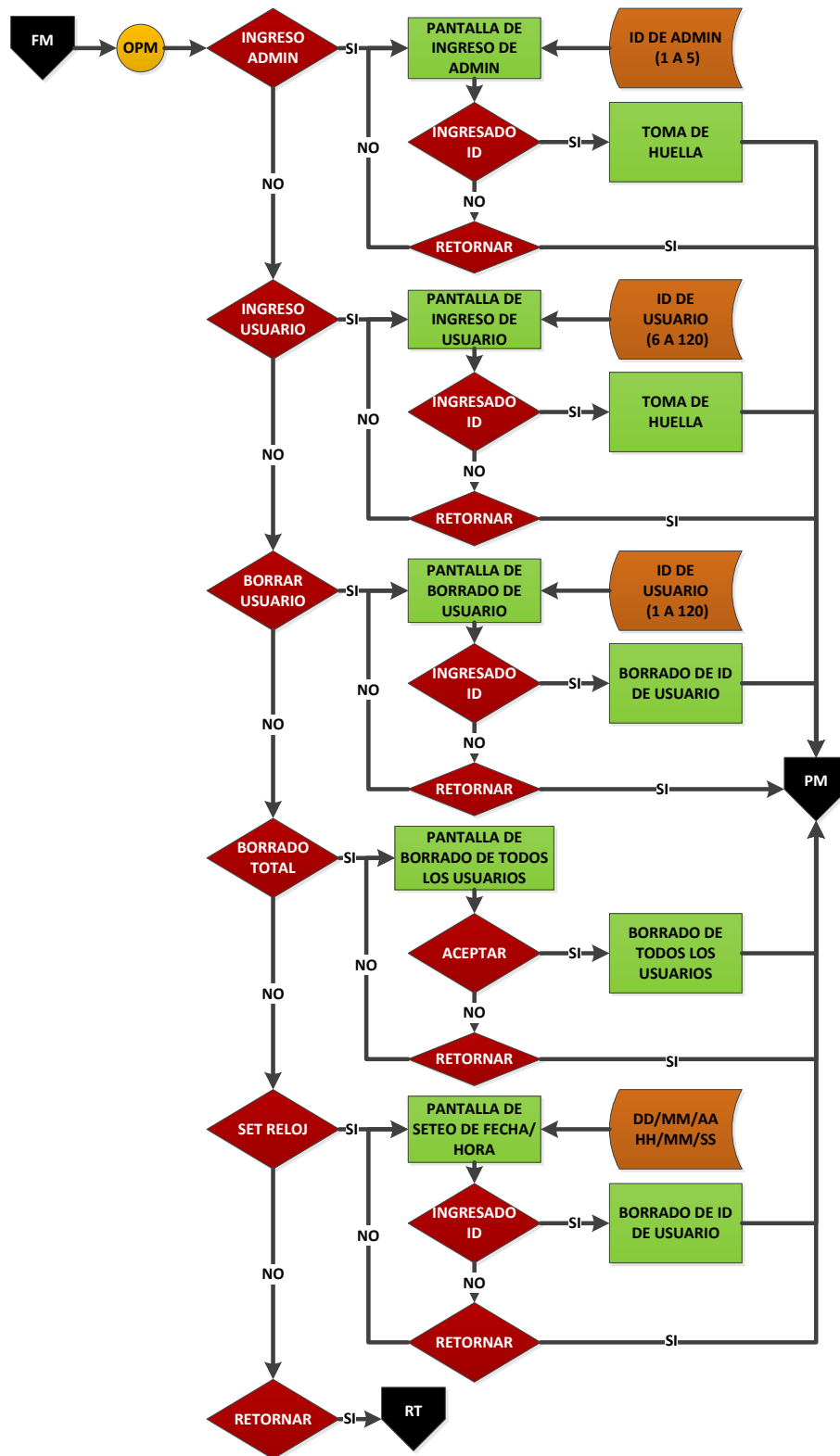
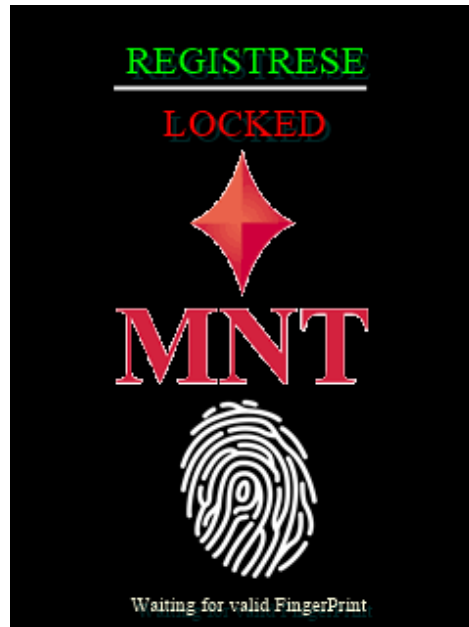


Figura 15. Diagrama de flujo del algoritmo para pantalla menú de dispositivo biométrico.

### 2.3.4.2. Diseño de interfaces gráficas

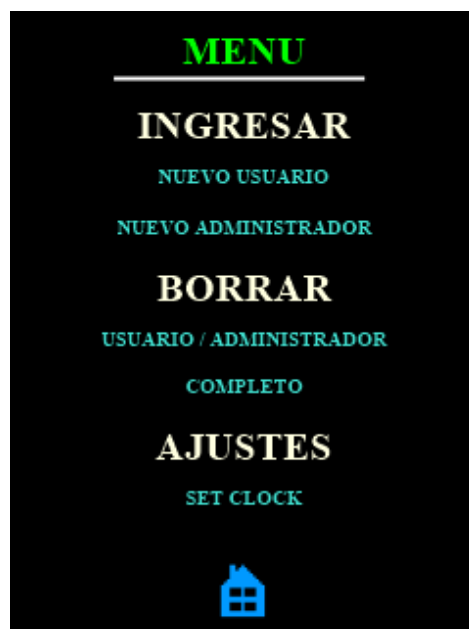
La interface gráfica de cada una de las pantallas fue diseñada por software, con las bibliotecas que tiene Arduino para este tipo de propósitos; las cuales brindan diferentes herramientas para desarrollar un entorno gráfico.

La pantalla principal tiene el siguiente aspecto, como se visualiza en la figura 16, en esta pantalla existe dos opciones, una es mostrar la fecha y hora en tiempo real al presionar sobre el logo de la empresa, y la otra opción es ingresar al menú al presionar sobre icono de huella dactilar.



**Figura 16.** Interfaz gráfica de pantalla principal.

La siguiente pantalla que se muestra en la figura 17 se visualiza el menú del dispositivo, en la que se puede ingresar usuarios y administradores, así como borrar usuarios y ajustar el reloj con la hora y fecha actualizada. Además tiene un icono para regresar a la pantalla principal.



**Figura 17.** Interfaz gráfica de pantalla de menú

Al momento de seleccionar desde la pantalla principal la opción de mostrar la fecha y hora se visualizará la siguiente pantalla que se muestra en la figura 18, luego 30 segundos volverá a la pantalla principal.



**Figura 18.** Interfaz gráfica de pantalla para visualización de fecha y hora en tiempo real.

Para la realización de las interfaces gráficas se utilizó dos librerías propias de Arduino, estas librerías son: UTFT.h y UTFT\_Buttons.h. La librería UTFT.h permite imprimir en la pantalla los textos, gráficos y establecer los colores; tanto para la escritura como para el fondo de la pantalla, además permite ubicar los textos y figuras dentro del área de la pantalla, esto quiere decir que la ubicación se maneja mediante coordenadas (x,y) como un plano cartesiano. La librería UTFT\_Buttons.h tiene varios iconos prediseñados los cuales pueden ser llamados en el programa.

## **2.4. DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS**

### **2.4.1. PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO EN ETAPA INICIAL**

Una vez establecido los elementos que conforman el hardware, y con base en el esquema de las conexiones se procedió a construir el prototipo del dispositivo biométrico como se muestra en la figura 19; para realizar las primeras pruebas, consta de una tarjeta programable con base en el microcontrolador ATmega2560, su fuente de alimentación, el sensor biométrico fingerPrint, un RTC DS1307 y de una pantalla TFT-touch de 3.2" del fabricante Saintsmart.



**Figura 19.** Prototipo de dispositivo biométrico en etapa de inicial de construcción.

Después de su construcción se procedió a realizar las respectivas pruebas de encendido y funcionamiento del dispositivo.

#### **2.4.2. PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO EN ETAPA FINAL**

Una vez realizadas las conexiones definitivas, se procedió a la construcción del prototipo final, como se muestra en la figura 20.



**Figura 20.** Prototipo de dispositivo biométrico en etapa de final de construcción.

El cual se construyó en base a una caja protectora en impresión 3D con el material PLA, internamente se encuentra conectados todos los módulos y el sensor con la tarjeta electrónica.

#### **2.4.3. PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉTRICO**

Con el dispositivo constituido, se procedió a realizar las respectivas pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del hardware, software y el sistema electrónico. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Detección de presencia para encendido del dispositivo.
- Interacción de la interface TFT con el usuario.
- Funcionamiento del sensor biométrico.
- Funcionamiento de los módulos de RTC y SD
- Funcionamiento de la unidad central de procesamiento.

### **Detección de presencia para encendido de dispositivo.**

El prototipo cuenta con un sensor PIR el cuál fue configurado para activarse cuando el usuario se encuentre a una distancia de tres metros, ya que la distancia mínima de detección del sensor es la mencionada anteriormente. El prototipo se conectó a la fuente de energía para verificar que el sensor cumpla con el propósito de encender el dispositivo cuando el usuario esté cerca; de esta manera se pudo constatar que sensor responde efectivamente al detectar movimiento a la distancia de tres metros.

### **Interacción de la interface TFT con el usuario.**

Se realizaron pruebas de funcionamiento de la interface gráfica de la pantalla TFT con el usuario, comprobando el funcionamiento correcto de la pantalla; tanto a nivel gráfico como táctil. De esta manera también se comprobó que el código integrado en la tarjeta electrónica se está ejecutando correctamente, ya que a partir de las entradas táctiles que tiene la pantalla TFT se ejecutaran las diferentes opciones que tiene en el menú.

### **Funcionamiento del sensor biométrico.**

El sensor fue puesto a prueba mediante el reconocimiento de la huella al momento de ingresar un nuevo usuario y al momento de hacer la comparación con los usuarios registrados, además se utilizó toda la memoria para validar la capacidad de su base de datos que es de 120 usuarios. Luego se realizó el borrado de los mismos para verificar que los usuarios guardados hayan sido borrados de la base de datos del sensor.

### **Funcionamiento de los módulos de RTC y SD**

El módulo de RTC fue validado al tomar los datos de hora y fecha, que fueron correctos respecto a los datos actuales de ese momento de calendario y reloj en que se realizó la prueba, y del mismo modo se verificó la configuración del RTC en caso de que en algún momento se necesite realizar algún cambio de horario. El módulo SD fue validado con los datos recogidos al momento de hacer la prueba con el sensor biométrico y se observó que efectivamente los usuarios fueron agregados correctamente al archivo \*.csv en la SD.

## **Funcionamiento de la unidad central de procesamiento.**

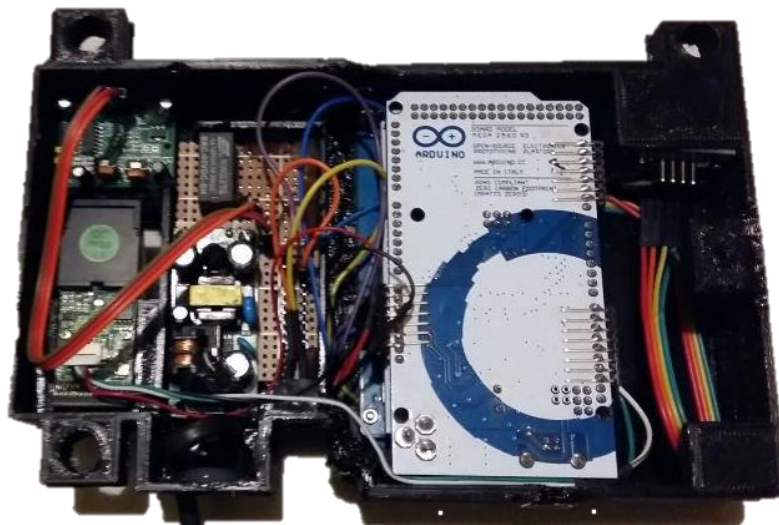
Después de las pruebas realizadas con los otros módulos y sensores, se puede determinar que la tarjeta electrónica en donde se ejecuta el programa funciona correctamente.

## **2.5. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y EMPLAZAMIENTO.**

En esta etapa se constituye el equipo después las pruebas y la depuración realizada al software.

### **2.5.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

Para el ensamble de las partes del dispositivo se utilizó una carcasa diseñada en SolidWorks e impresa en PLA en una impresora 3D. De este modo queda constituido el dispositivo biométrico como se muestra en la figura 21.



**Figura 21.** Dispositivo biométrico.

El dispositivo biométrico consta de una carcasa protectora, sensor de detección de movimiento para encendido del equipo; el mismo que se encuentra en la parte frontal, así como el sensor biométrico, los módulos de alimentación, SD y RTC se encuentran dentro de la carcasa.

### **2.5.2. EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO**

El dispositivo fue instalado en la oficina MANTOMAIN del Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito para el registro de entrada y salida de los operarios,

En la figura 22 se muestra el lugar de emplazamiento del dispositivo biométrico.



**Figura 22.** Ubicación de dispositivo biométrico emplazado.

Su ubicación es importante, por ello el dispositivo fue ubicado estratégicamente en la oficina por la cual ingresan a la zona operativa de reparación y mantenimiento, siendo la misma oficina por la cual ingresan después de realizar sus actividades operantes. En la figura 23 se observa el dispositivo emplazado durante la noche.



**Figura 23.** Dispositivo biométrico en funcionamiento durante la noche.

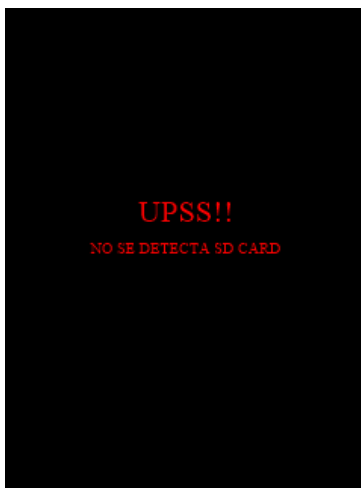
Al igual que en el día, en la noche el dispositivo funciona bajo detección de movimiento, así de esta manera el usuario puede encontrar fácilmente la ubicación del dispositivo.



### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

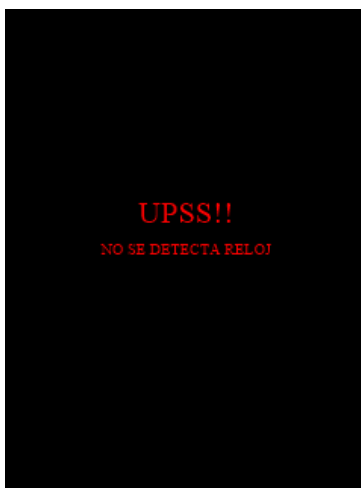
### 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO BIOMÉTRICO.

Una vez puesto en marcha el dispositivo, y después de las pruebas realizadas se analizó el comportamiento operativo del dispositivo. Si el dispositivo muestra en pantalla el siguiente error de la figura 24 significa que no existe una tarjeta SD ubicada en el slot, o en su efecto el módulo SD tiene un desperfecto y debe ser reemplazado; esta verificación es realizada siempre para verificar la existencia de una tarjeta SD o del módulo SD ya que en ella se guarda todos los registros.



**Figura 24.** Interface gráfica cuando no se detecta tarjeta SD.

Si la verificación anterior es positiva, el dispositivo realiza la verificación de la existencia del módulo RTC, en caso de no existir el módulo; el dispositivo mostrará en pantalla la figura 25.



**Figura 25.** Interface gráfica cuando no se detecta módulo RTC.

En caso de haber aprobado las verificaciones anteriores, el dispositivo realizará la última validación; la cual es verificar si el sensor fingerPrint

responde a la petición de inicialización, en caso de no responder se mostrará en pantalla la figura 26.



**Figura 26.** Interface gráfica cuando no se detecta sensor fingerPrint.

El dispositivo al pasar todas pruebas ingresará a la pantalla principal mostrado en la figura 16, anteriormente. Dado que el usuario puede retirar la SD, mientras el dispositivo ya está encendido; al realizarse un registro de usuario nuevamente se realiza la verificación de los módulos SD y RTC.

En la figura 27, se muestra la pantalla que visualiza cuando el módulo SD no se ha encontrado.



**Figura 27.** Interface gráfica cuando no se detecta tarjeta SD.

Y en caso de no validarse el módulo RTC se muestra en pantalla la figura 28, esto es siempre necesario para tener la certeza de que el registro se guardará satisfactoriamente con todos los datos necesarios.

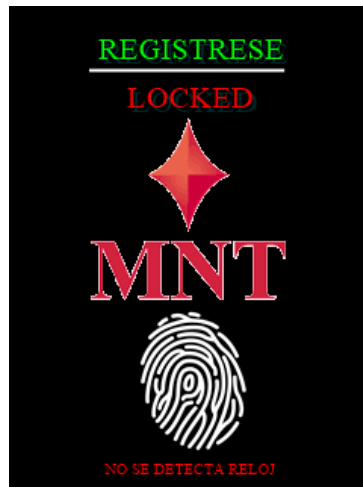


Figura 28. Interface gráfica cuando no se detecta módulo RTC.

### 3.2. ANÁLISIS DE CONSUMO ELÉCTRICO.

El dispositivo biométrico se sometió a un análisis de consumo energético, donde se puede asumir dos estados de operación; standby y ready. Cuando el dispositivo se encuentra en standby, solo el sensor de presencia está a la espera de activarse por movimiento, mientras que en estado ready se activa todos los módulos del dispositivo. En la tabla 9 y tabla 10 se realizaron los análisis de consumo energético con cada estado del dispositivo.

Tabla 9. Análisis de consumo energético de dispositivo biométrico estado standby.

Standby		
Elemento	Consumo por hora [Wh]	Consumo mensual [Wh]
Sensor PIR	0.325	241.8
Total de consumo al mes [KWh]		0.2418
Precio de KWh (US\$)*		0.092 <sup>1</sup>
Pago por consumo (US\$)		0.022
Pago por comercialización (US\$)*		1.414 <sup>2</sup>
Pago total (US\$)		1.44

\* (ARCONEL, 2016)

<sup>1</sup> Tarifa aplicada consumidor comercial de 07h00 a 22h00, rango de consumo de 0–300 [kW].

<sup>2</sup> Tarifa base de comercialización de energía eléctrica

**Tabla 10.** Análisis de consumo energético de dispositivo biométrico estado ready.

Ready		
Elemento	Consumo por hora [Wh]	Consumo mensual [Wh]
Módulo IRM-01-5	1	744
<b>Total de consumo al mes [KWh]</b>		0.744
<b>Precio de KWh (US\$)*</b>		0.092
<b>Pago por consumo (US\$)</b>		0.068
<b>Pago por comercialización (US\$)*</b>		1.414
<b>Pago total (US\$)</b>		1.48

\* (ARCONEL, 2016)

Para el caso de estado ready se analizó en base al módulo de alimentación ya que es el que suministra el voltaje a una corriente de 200mA, la cual es consumida al momento de encenderse el dispositivo biométrico.

### 3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FRR Y FAR.

La probabilidad de que el sistema de autenticación rechace a un usuario legítimo es denominado como FRR (False Rejection Rate), esto porque el sensor en algún momento no es capaz de identificar al usuario correctamente; para ello en la tabla 11 se muestran los datos para determinar la tasa de falso rechazo con usuarios ya registrados en el sistema.

Cada usuario tiene registrado dos dedos (pulgares e índices), a los cuales se les ha asignado un ID distinto; el número de intentos para cada ID de usuario es de cinco veces, tanto para la entrada como para la salida; se ha separado de esta manera ya que los operarios al regresar de su labor se pueden encontrar con algún daño en la palma de su mano.

Se ha calculado la tasa de error para el total de veinte usuarios, cada usuario utilizó el dedo índice para la prueba, el número de intentos por usuario es cinco, esto para determinar la asertividad del sensor por cada dedo registrado; totalizando el error para todos los ID registrados, tanto para la entrada como para la salida.

**Tabla 11.** Datos de resultados de prueba de FRR.

Usuario	ID	Intentos (entrada)	Aciertos (entrada)	Intentos (salida)	Aciertos (salida)
A	7	5	5	5	3
B	9	5	5	5	5
C	11	5	5	5	5
D	13	5	5	5	5
E	15	5	5	5	5
F	17	5	5	5	4
G	19	5	5	5	5
H	21	5	5	5	5
I	23	5	4	5	3
J	25	5	5	5	5
K	27	5	5	5	5
L	29	5	5	5	5
M	31	5	5	5	5
N	33	5	5	5	5
O	35	5	5	5	5
P	37	5	4	5	3
Q	39	5	5	5	5
R	41	5	5	5	5
S	43	5	5	5	5
T	45	5	5	5	5
<b>TOTAL (20 usuarios)</b>		100	98	100	93
<b>ERROR %</b>		2		7	

Se determinó que la tasa de error para la entrada es de dos por ciento, esto significa que de la muestra total de cien intentos para los veinte usuarios; dos intentos no fueron validados. En el caso de la tasa de error para la salida es de siete por ciento, significa que siete de los cien intentos fueron fallidos; esto se debe a que los usuarios al momento de retornar de sus funciones se hallan con impurezas en la palma de su mano. Por ello, para compensar; en caso de que uno de los ID del usuario no acierte con el registro, se dispuso que a cada usuario se registre a la base de datos con dos dedos.

En la tabla 12, se muestran los datos para determinar la tasa de falsa aceptación (FAR) que determina la probabilidad de que el sistema autentifique correctamente a un usuario ilegítimo; de igual manera la prueba se lo realizó con todos los usuarios registrados en el dispositivo.

Para este caso, cada usuario utilizó su dedo índice por cinco ocasiones; para cotejar la huella con la base de datos. Si un usuario al registrarse daba como un registro de un usuario diferente a él, significa que el intento es fallido; ya que el sistema debe reconocer solo al usuario dueño de la huella.

En caso de que un usuario al registrarse no fuese reconocido, se daba como intento acertado; ya que el propósito de la prueba es verificar que la huella del usuario propietario no sea reconocida para los otros usuarios.

**Tabla 12.** Datos de resultados de prueba de FAR.

Usuario	ID	Intentos	Aciertos
A	7	5	5
B	9	5	5
C	11	5	5
D	13	5	5
E	15	5	5
F	17	5	5
G	19	5	5
H	21	5	5
I	23	5	5
J	25	5	5

**Tabla 12.** Datos de resultados de prueba de FAR. Continuación...

K	27	5	5
L	29	5	5
M	31	5	5
N	33	5	5
O	35	5	5
P	37	5	5
Q	39	5	5
R	41	5	5
S	43	5	5
T	45	5	5
<b>TOTAL (20 usuarios)</b>		100	100
<b>ERROR %</b>		0	

En este caso hay un cero por ciento de error, significa que el dispositivo no reconoció huellas por duplicado; esto garantiza la fiabilidad del equipo, dando como resultado un dispositivo seguro frente a usuarios ilegítimos.



## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Concluida la construcción del dispositivo biométrico, se evidencia que los requerimientos propuestos se han alcanzado con éxito, el dispositivo se encuentra disponible todo el mes durante las veinticuatro horas al día y los siete días a la semana.
- Se desarrolló una interface para el registro de usuarios autónomo, que cuenta con opción a administrador para que la configuración del dispositivo sea limitada.
- El dispositivo biométrico no depende de una plataforma específica externa de base de datos para el almacenamiento de los registros de los usuarios, para interactuar el cliente solo necesita conectar el dispositivo a una red de 110 VAC.
- El archivo \*.csv generado es compatible con cualquier versión de Excel, ya que puede ser importado por ser un archivo plano; para generar los posteriores reportes financieros con las horas trabajadas por cada usuario.
- El bajo consumo de energía del dispositivo, genera un ahorro considerable en cuanto a consumo energético, y por lo tanto financiero.
- El dispositivo es seguro por la baja tasa de error de FAR del cero por ciento obtenida en los resultados, esto implica que el dispositivo es fiable en cuanto a usuarios ilegítimos se refiere.

## RECOMENDACIONES

- Al momento de registrar un usuario, las manos deben estar limpias para tener una buena imagen de la huella dactilar del dedo, caso contrario cuando el usuario se registre generará error de coincidencia.
- No retirar la tarjeta SD durante un enrolamiento, los datos solo se guardará si se encuentra una memoria de almacenamiento externa.
- Registrar un agente administrador para la administración del dispositivo, de esta manera se limita la utilización del dispositivo; esto involucra el manejo de ingreso de usuarios y administradores, borrado de los mismos; evitando que cualquier persona pueda ingresar al dispositivo y haga cambios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit Learning System. (2017). Pir passive infrared proximity motion sensor. *PIR Motion Sensor*. Adafruit Industries.
- ARCONEL. (2016). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas*. Agencia de regulación y control de electricidad.
- Biometrika. (2015). *Introduction to Biometric Systems*. Biometrika. Recuperado el 2018, de [http://www.biometrika.it/eng/wp\\_biointro.html](http://www.biometrika.it/eng/wp_biointro.html)
- Buenaño, G., Clavijo, S., & Flores, H. (2009). *Desarrollo de un sistema biométrico para el control de entrada y salida vehicular*.
- Elecrow. (2015). *Elecrow*. Obtenido de Fingerprint Sensor: [https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=Fingerprint\\_Sensor#Description](https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=Fingerprint_Sensor#Description)
- Electronics-lab. (2018). *Electronics-lab*. Obtenido de DS1307 RTC MODULE: <http://www.electronics-lab.com/project/ds1307-rtc-module/>
- Evertt, D. (2002). *Identity verification and biometrics*. (M. Keith, Jackson, & H. Jan, Edits.) Butterworth-Heinemann.
- Huerta, A. V. (2002). *SEGURIDAD EN UNIX Y REDES*. Free Software Foundation.
- Ingenieure, V. D. (2004). *Desing methodology for mechatronic systems*. Düsseldorf.
- Maxim Integrated. (2015). DS1307. (G. V, Trad.) Sunnyvale, CA, EE. UU.: Maxim Integrated Products.
- Mean Well . (2017). *Mean Well* . Obtenido de Mean Well Power Supplies IRM-01-5 Series 1W 5V: <https://www.meanwell.co.uk/meanwell-power-supplies-irm-01-5-series-1w-5v.html>
- Microchip. (2018). *Microchip*. Obtenido de ATmega2560: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega2560>
- Mouser Electronics. (2018). *Mouser*. (Mean Well) Obtenido de MEAN WELL IRM-xx 1-60W AC/DC Power Supply: <https://www.mouser.com/new/meanwell/MeanWell-IRM-xx/>
- Osuna, D. (2011). *Modelado, Diseño e Implementación de una plataforma Biométrica*.
- Pressman, R. (2005). *Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico*. McGraw-Hill.
- Sagarra, R. M. (2008). *El código PBIP*. UPC.
- Saini, R., & Rana, N. (2014). COMPARISON OF VARIOUS BIOMETRIC METHODS. *International Journal of Advances in Science and Technology (IJAST)*, 29.
- SainSmart. (2018). *SainSmart*. Obtenido de 3.2" TFT LCD Touch Screen with SD slot:

<https://www.sainsmart.com/collections/arduino/products/3-2-tft-lcd-touch-screen-with-sd-slot>

- Transfer Multisort Elektronik. (2018). *Transfer Multisort Elektronik*. Obtenido de MEAN WELL IRM-01-5: <https://www.tme.eu/en/details/irm-01-5/built-in-power-supplies/mean-well/>

## **5. ANEXOS**

## **Anexo 1**

### Planos

1

2

3

4

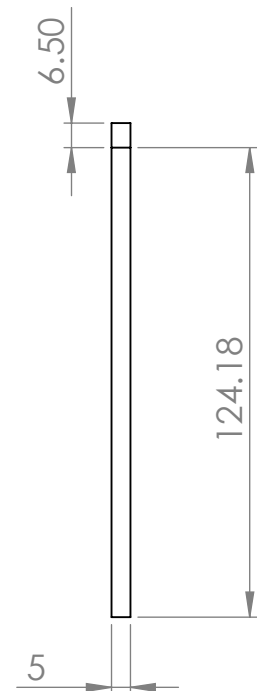
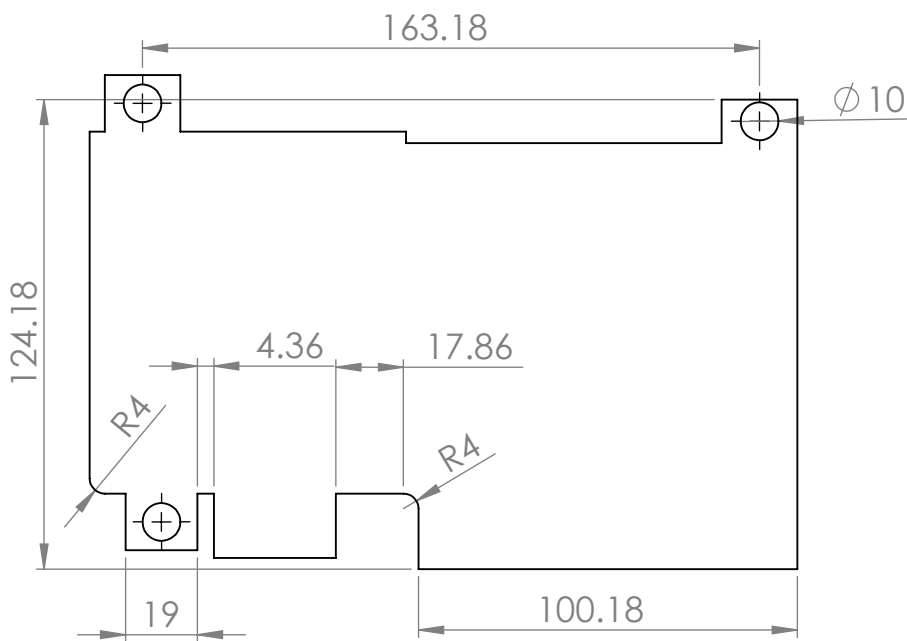
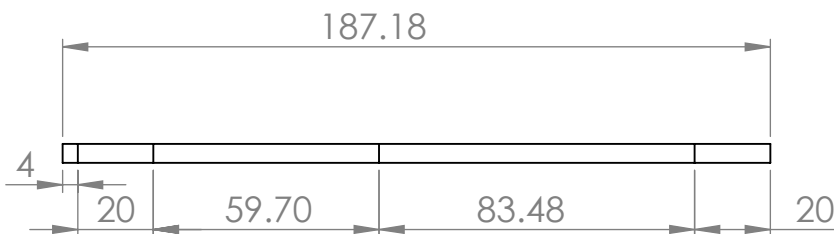
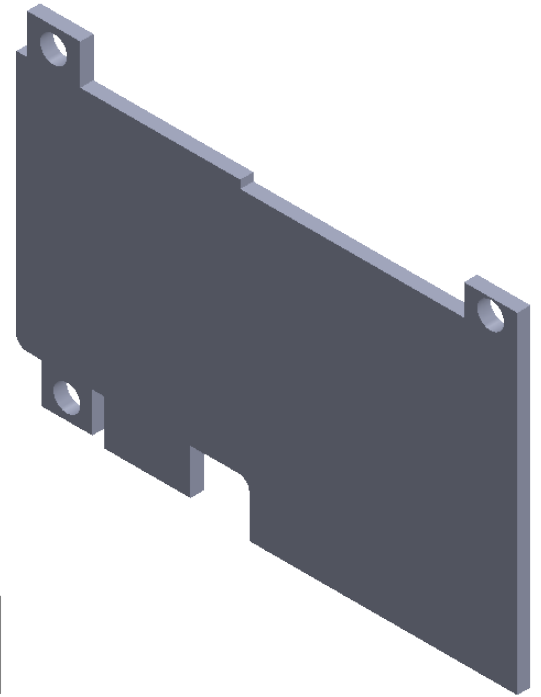
A

B

C

D

E



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 $\pm 0.1$ **PLA**

Fecha

Nombre

Dibujado 24-Nov-2017

Mateo Silva

Revisado 23-Ene-2018

Juan Rivera

Aprobado 30-Ene-2018

Vladimir Bonilla

**TAPA POSTERIOR**

ESCALA:

1:2

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO Nº:

**UTE**

1

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre

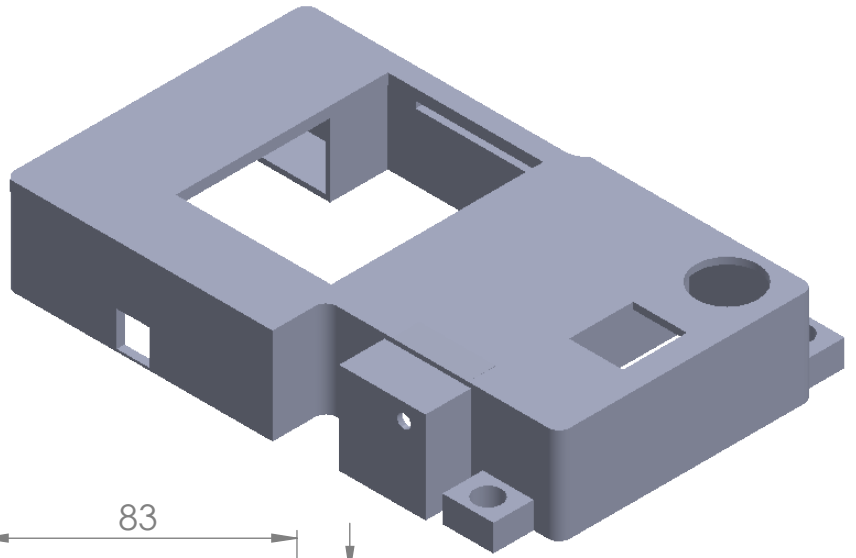
1

2

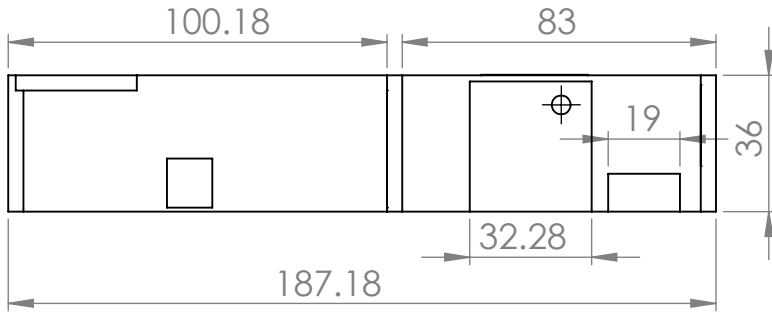
3

4

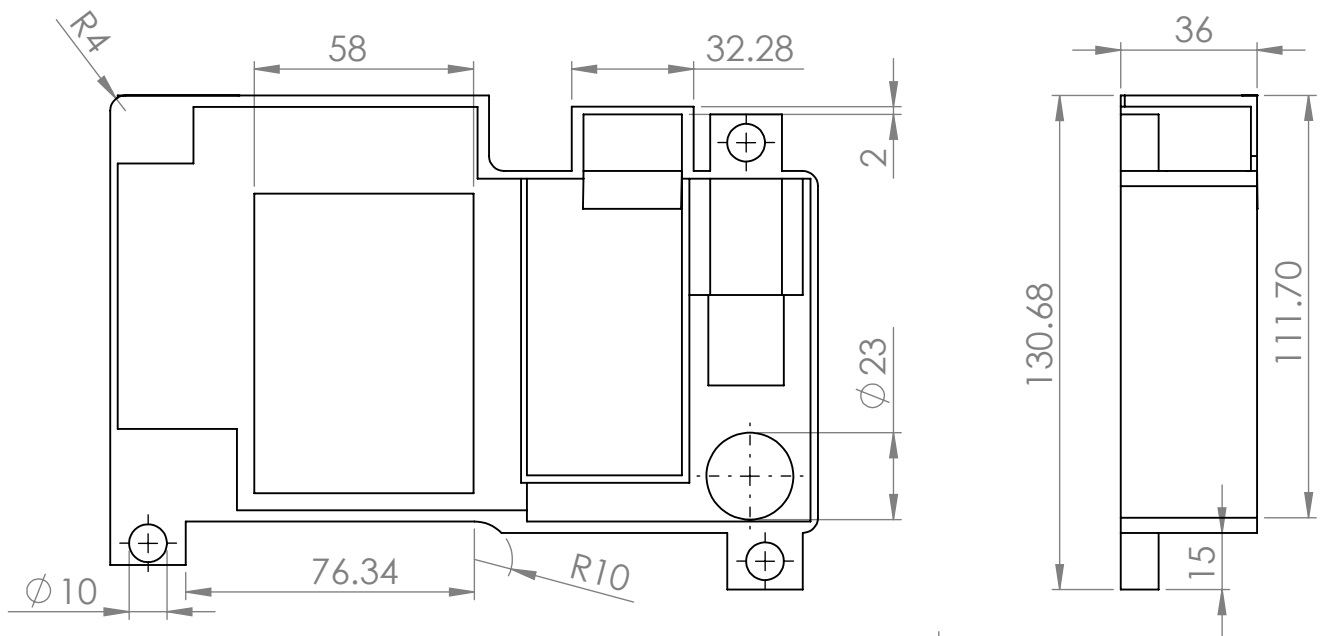
A



B

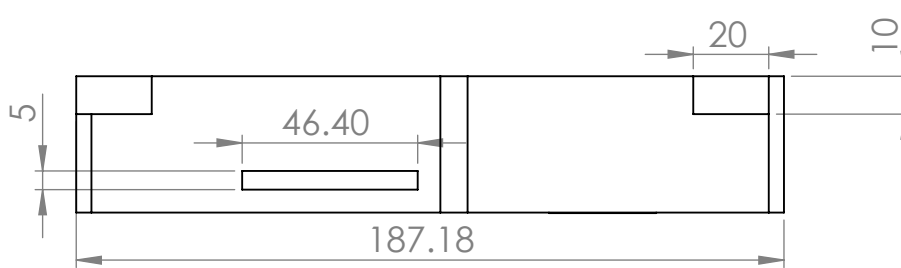


C



D

E



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO [Kg]:	MATERIAL: <b>PLA</b>	
						<b>Carcasa</b>	ESCALA: <b>1:2</b>
				Fecha	Nombre		
				Dibujado 24-Nov-2017	Mateo Silva		
				Revisado 23-Ene-2018	Juan Rivera		
				Aprobado 30-Ene-2018	Vladimir Bonilla		
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: <b>2</b>	HOJA: <b>A4</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				