

Diseño de un sistema de control de accesos en áreas físicas, basados en plataformas de hardware y software libre

Jairo Santiago Fontalvo Martínez

Andrés Felipe Peña Sierra



Universidad de la Costa - CUC

Programa de Ingeniería de Sistemas

Barranquilla, Atlántico

2022

Diseño de un sistema de control de accesos en áreas físicas, basados en plataformas de hardware y software libre

Jairo Santiago Fontalvo Martínez

Andrés Felipe Peña Sierra

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

Ingeniero de Sistemas

Director:

Dixon David Salcedo Morillo, PhD.

Codirector:

Johan Mardini Bovea, MsC.

Corporación Universidad de la Costa - CUC

Programa de Ingeniería de Sistemas

Barranquilla, Atlántico

2022

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, febrero de 2022

Agradecimientos

El presente proyecto fue gestado de la estrategia de proyecto de aula que se desarrolló semestre a semestre hasta culminar en un trabajo de grado. Esfuerzo que es dedicado a mis padres por el apoyo incondicional, porque siempre creyeron en mí, porque gracias a ustedes he llegado hasta aquí para poder alcanzar mi meta, a Dios porque a pesar de los tropiezos que puede tener siempre fue la luz que guio mi camino.

Gracias a mis padres Orlando Rafael Fontalvo Cervantes y Arleth Isabel Martínez Atencia, que siempre me dieron todo el apoyo que necesitaba, y aunque sabíamos que no sería un camino fácil, que habría adversidades, nunca dejaron de confiar en mí y me dieron ánimos en los momentos que más lo necesitaba para recorrer mi propio camino.

Gracias a toda mi familia por creer en mí, y sentirse orgullosos cuando mencionaban que yo estudiaba ingeniería de sistemas y sería uno de los mejores.

Gracias a mis amigos y compañero Andrés Peña Sierra que fue una parte importante en mi etapa de estudio y con quien nunca dude que alcanzaríamos la meta.

Gracias a todos mis profesores, en especial a Dixon Salcedo, por compartir su conocimiento conmigo y guiarme en todo el proceso de la investigación

Jairo Santiago Fontalvo Martínez.

Primero que todo quiero agradecerles a mis padres por el apoyo incondicional en todo el proceso de formación en el cual me ayudaron a crecer como persona y desde casa para ser un profesional responsable. Continuó con darle gracias a todos los profesores y administrativo que aportaron en toda mi formación profesional y que hoy en día formaron a un ingeniero capaz de resolver problemas en el ámbito de las TIC, en especial a: Ing. Dixon Salcedo, Ing. Harold Combata, director del programa. Los cuales me brindaron además de su conocimiento profesional, toda su amistad y así ayuda en el crecimiento profesional con experiencias laborales.

Ser ingeniero de sistema te hace estar aprendiendo nuevas tecnologías y así mismo tener personas a tu alrededor que te motiven a crecer como profesional, es aquí donde le doy gracias a mi amigo, mi hermano Luis Laguna, ese compañero que vio en mí en 2do semestre un potencial para aprender y comenzar a crear experiencias laborales. Me brindó su conocimiento, su experiencia, su amistad y así comencé en este proceso laboral en el cual hoy en día ya cuento con 4 años de experiencia y un ingeniero competente en el mundo laboral.

Por último y no menos importante, agradezco a todas las personas con las cuales me crucé en mi formación esos que hoy son buenos amigos como Jairo Fontalvo e Isaac Nagles, personas que estuvieron en mi inicio y que por alguna razón ya no están presente para ver todo lo que logré.

Mis hermanos y toda mi familia que siempre también me brindaron su apoyo y nunca desconfiaron de mí.

Andrés Felipe Peña Sierra.

Resumen

Los controles de acceso en áreas físicas son sistemas de mucha importancia en cualquier organización, puesto que es el sistema encargado de restringir de forma eficaz el acceso a las zonas restringidas de cualquier entidad pública o privada. Gracias a estos controles las organizaciones han podido implementar estrategias de seguridad perimetral con el objetivo de que solo pueda ingresar personal capacitado o autorizado y así minimizar riesgos.

Por otro lado, para el control de acceso a áreas físicas se utilizan muchas tecnologías como el lector de huellas, el reconocimiento facial, el escaneo de retina, o los identificadores inalámbricos de radiofrecuencia. Entre las anteriores, se destaca la tecnología RFID, que es un sistema de identificación de productos o autoidentificación que puede parecer similar al código de barras tradicional de señales ópticas, pero a diferencia RFID trabaja con señales de radiofrecuencia y aporta muchas ventajas. RFID, basa su funcionamiento en etiquetas (en inglés, Tags) que almacenan información y lectores que pueden leer las etiquetas a distancia. Actualmente, la tecnología RFID está siendo aplicada por varios sectores industriales por su fácil implementación y bajo costo, si se compara con otras tecnologías similares.

Este trabajo, presenta un estudio documentado de la tecnología RFID, y explora sus capacidades, ventajas frente a otras tecnologías de control de acceso, y realiza una evaluación de sus funcionalidades. Adicionalmente, se propone un modelo de control de acceso en áreas físicas basado en la tecnología RFID y un software de monitoreo basado en la plataforma Arduino IDE, con el objeto de mitigar los fallos de seguridad en las áreas restringidas.

Palabras Clave: RFID, Control de acceso, Etiquetas, Radiofrecuencia, Seguridad perimetral

Contenido

Lista de tablas y figuras	9
Tablas.....	9
Figuras.....	9
Introducción.....	10
1 Planteamiento del problema.....	11
1.1 Descripción del problema	11
1.2 Pregunta problema	12
2 Justificación	13
3 Objetivos.....	14
3.1 General.....	14
3.2 Objetivos específicos:	14
4 Marco referencial	15
4.1 Estado del arte	15
5 Marco conceptual.....	18
5.1. RFID	18
5.1.1. Definición.	18
5.1.2. Etiqueta RFID.....	18
5.1.3. Lector.	19
5.1.4. Ordenador, host o controlador.....	19

5.2.	Clasificación de la tecnología RFID.....	21
5.3.	Frecuencias de la tecnología RFID.....	22
6	Diseño de la solución	25
6.1	Diseño metodológico	25
6.1.1	Tipo de Investigación y alcance.....	28
6.1.2	Área de estudio.....	28
7	Resultados	29
7.1	Caracterización de plataformas y tecnología para control de acceso en organizaciones	29
7.1.1	Características de los tipos de sistemas RFID	29
7.1.2	Plataformas de soluciones existentes de terceros	31
7.2	Modelo del sistema de control de acceso en áreas físicas propuesto	32
7.2.1	Estructura funcional del sistema.....	34
7.2.2	Desarrollo de la etapa electrónica.	36
8.	Conclusiones	38
9.	Trabajos Futuros	39
10.	Referencias.....	40

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 1. Actividades para desarrollar.....	25
Tabla 2. Características de la tecnología RFID.....	30
Tabla 3. Soluciones existentes de control de acceso en organizaciones privadas.....	31

Figuras

Figura 1. Elementos de un sistema RFID. Fuente: (Ludeña-González, 2016)	20
Figura 2. Mecanismo de comunicación de campo cercano para las etiquetas RFID. Fuente: (Alwadi, Kilby, & Sabit, 2016).....	24
Figura 3. Diagrama de flujo del software del sistema. Fuente: Elaboración propia	33
Figura 4. Estructura operacional del sistema. Fuente: (Bintang Wahyudono, 2020)	35
Figura 5. Diagrama del circuito electrónico. Fuente: Elaboración propia	36

Introducción

La identificación por radiofrecuencia (RFID) se divulga ampliamente en la actualidad en muchas aplicaciones donde se requiera de identificación, rastreo, gestión de productos, y seguridad sin la necesidad de contacto o campo visual (Leimeister, Sandner, Kern, & Krcmar, 2021); debido a que, en los últimos años ha contado con una gran evolución debido a la disminución de sus precios y las ventajas de facilidad de implementación con las que cuenta frente a otras tecnologías de autoidentificación (Derek Briseño, 2020).

Ahora bien, una de las aplicaciones en las que se ha venido implementando esta tecnología, es en los sistemas RFID de control de acceso, el cual ha ganado mucha importancia, por la seguridad que ha logrado aportar a las empresas con la implementación de códigos de identificación únicos, así como la posibilidad de localizar productos y personas con la ayuda de la detección de las ondas de radio.

En función de lo planteado, el siguiente trabajo está enfocado en dos elementos; primero, se realiza una investigación bibliográfica y documental de los distintos tipos de tecnologías referentes a los sistemas de control de acceso y a la identificación por radiofrecuencia. Segundo, se presenta el diseño de un sistema de control de acceso en áreas físicas basado en la tecnología RFID, que ayude a mitigar los fallos de seguridad que puedan presentar las organizaciones. Adicionalmente, se destaca que en los últimos años el uso de la tecnología RFID ha incrementado; debido a su flexibilidad de implementación, bajo costo en el mercado y versatilidad, y se consolida como solución a las necesidades que genera la industria (Occhiuzzi, Amendola, Nappi, D'Uva, & Marrocco, 2019).

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Actualmente la cantidad de personal que se moviliza en las instituciones y organizaciones ha generado la necesidad de mejorar el nivel de seguridad físico ofrecido en los diferentes espacios, con el fin de que sólo el personal autorizado tenga acceso a las áreas de acuerdo con su rol (Zambrano Rodriguez, 2015). Además, en las organizaciones donde el flujo de personal es constante, es frecuente que se generen aglomeraciones por no contar con un sistema automatizado y adecuado de acceso, que facilite el ingreso del personal (Buffi, Tellini, Motroni, & Nepa, 2019). Por otro lado, el uso de llaves y registro de ingresos por parte del área de seguridad ha sido reemplazado poco a poco por un gran número de tecnologías que facilitan la autenticación, control del personal y la gestión de los espacios físicos (Sunaina & Poojary, 2017).

Así mismo, tecnologías han sido usadas para ayudar a solucionar estos tipos de problemas, incluyen una gamma amplia de opciones biométricas, como el lector de huella que consiste en un dispositivo diseñado para que el usuario registre desde asistencias, hasta acceso a determinadas áreas al interactuar con su huella dactilar (Velentyn, 2018). De igual manera, se registra y configura de manera previa en la base de datos su perfil para tener acceso a dichas áreas (Velentyn, 2018). También, existe la opción de control de acceso por medio del reconocimiento facial, tecnología usada para áreas de alta seguridad, donde el sistema hace un escaneo del rostro del usuario y permite el ingreso de este (Bintang Wahyudono, 2020). Por otro lado, sistemas más personalizados usan identificadores inalámbricos de radiofrecuencia como las etiquetas RFID que almacenan una clave personal e información sobre el usuario (Zambrano Rodriguez, 2015). Así mismo, el acceso a las instalaciones físicas en organizaciones por medio del uso de la tecnología RFID está tomando mucho auge, debido a que los avances en esta tecnología permiten ofrecer una gran gama de

soluciones, adaptables a cada organización. El sistema de control de acceso RFID provee una solución sencilla y eficiente (Reza Deepty, Alam, & Md. Ezharul, 2019).

Finalmente, de acuerdo con todo lo descrito y teniendo en cuenta la necesidad de gestión de acceso, seguridad y monitoreo. Este trabajo propone una solución integral para la construcción de un sistema de control de acceso en áreas físicas basado en técnicas RFID, que permita funcionar de manera conjunta con la estructura original, pero automatizando la gestión de acceso utilizando plataformas de hardware y software libre. De esta manera, se tendrá un control de acceso funcional y eficiente que limite el acceso a áreas restringidas, así como a llevar un libro de registro que permita identificar el acceso de los usuarios.

1.2 Pregunta problema

¿Cómo se podría optimizar el acceso y monitoreo de seguridad en las áreas físicas de instituciones u organizaciones implementando plataformas basadas en hardware y software libre?

2 Justificación

El constante avance de la tecnología inalámbrica ha generado que se desarrollen aplicaciones con características y funcionalidades propias e implementen en varios sistemas como los de las redes convergentes, dispositivos móviles, sistemas domóticos, o en los sistemas de control de seguridad. Como consecuencia, la tecnología RFID (Radio Frequency Identification), destaca como una solución a las necesidades de identificación que se generan en la industria.

Por otro lado, la tecnología RFID tiene una gran cantidad de usos como la identificación de productos, autenticación de documentos, localización, rastreo, y el control de acceso a áreas físicas. Toda la tecnología se basa fundamentalmente en un lector y tarjetas (en inglés, Tags), a las que ofrece una lectura múltiple, a distancia y que puede almacenar gran cantidad de información en sus etiquetas para la trazabilidad y control.

Dentro de este orden de ideas, se requiere una solución de control de acceso y monitoreo de los usuarios a base de la tecnología RFID; que permitirá que el área encargada de la seguridad de las instituciones u organizaciones tenga un mayor control de las zonas restringidas según el rol establecido de los usuarios. Así mismo, la implementación de la tecnología RFID puede recopilar gran cantidad de información de los usuarios, y puede llegar a ser reutilizada en futuros proyectos según se requiera cada situación, con el fin de obtener mayores beneficios de seguridad y economía.

3 Objetivos

3.1 General

Diseñar un sistema de control de accesos en áreas físicas, basados en plataformas de hardware y software libre

3.2 Objetivos específicos:

- Conocer y caracterizar las diferentes plataformas tecnológicas de sistemas de control de acceso de personal a áreas físicas.
- Diseñar y modelar un sistema de control de acceso de personal a áreas físicas basado en plataformas tecnológicas de hardware y software libre
- Implementar las funcionalidades básicas del sistema de control de acceso de personal a áreas físicas.

4 Marco referencial

4.1 Estado del arte

En la actualidad, los sistemas de control de acceso se están orientado en la implementación de la tecnología RFID ya que es un sistema de autoidentificación inalámbrico, que ha tenido mucho auge en los últimos años debido a la relativa reducción de precios en el mercado (Kashan & mahmood, 2020). Además, el mundo se acerca cada vez más a la adopción de entornos de infraestructura basados en ciudades inteligentes, en los que la mayoría de las actividades implican conectividad tecnológica innovadora. Por consiguiente, la implementación de esta ciencia se irá fortaleciendo (Olutosin Taiwo, 2020).

Los autores (Wang & Wang), han propuesto un sistema de control de acceso basado en técnicas RFID que está enfocado principalmente para ser implementado en oficinas pequeñas. Así, el sistema pasa a ser un complemento de seguridad que funciona de manera conjunta con los controles de acceso ya establecidos, haciendo que la organización sea más completa en relación con el sistema de seguridad, por consiguiente, más eficiente en la gestión de personal y aportando mayor confiabilidad. Al mismo tiempo, las tarifas de acceso inteligente RFID son bajas, más adecuadas para espacios de oficinas pequeños y sistemas de control de acceso de la comunidad doméstica.

Por otro lado, la tecnología RFID no es la única disponible y capaz de suplir las falencias de seguridad de áreas restringidas. Por lo tanto, existen otras tecnologías biométricas que se han implementado para mitigar fallos de seguridad en acceso físico, e incluso tecnologías ya existentes que no se les había dado un enfoque como el de control de acceso. Por ejemplo, la tecnología Wifi como lo indican (Reza Deepty, Alam, & Md. Ezharul), ellos presentan un sistema de control de acceso de puerta basado en IoT y Wi-Fi, donde un usuario puede controlar el acceso a la puerta

utilizando su teléfono de forma remota dentro del área de cobertura proporcionada por el punto de acceso inalámbrico que se encuentra dentro del recinto. Este sistema aprovecha la función biométrica del teléfono Android para validar al usuario autorizado y un servidor basado en la nube como medio de verificación. No obstante, el inconveniente de este sistema es que no es necesaria la presencia del usuario, solo el teléfono móvil debe estar en la sala de cobertura, lo que sería una falla de seguridad por suplantación del usuario.

Por otro parte, hay investigaciones y proyectos que apuntan al control de acceso con RFID, suplementado con tecnología biométrica como el reconocimiento facial. Por ejemplo, los autores (Khalimov, Shokayev, Kamalov, & Hazrat Ali) en cuya investigación presentan un sistema basado en la combinación de RFID y el reconocimiento facial para verificar la autenticación de los usuarios; el sistema funciona a través de una combinación de Arduino UNO y un teléfono inteligente basado en Android; que es capaz de realizar todas las etapas de reconocimiento facial por sí solo, como detección de rostros, extracción de características, reconocimiento de rostros aplicando bibliotecas OpenCV (en inglés Open Computer Vision); en resumen, para este sistema la identificación es rápida y sin contacto, que es una característica favorable teniendo en cuenta la situación actual con respecto a la pandemia de COVID-19 (en inglés, Coronavirus Disease 2019). Adicionalmente, algunos problemas por considerar en el modelo son la iluminación, que tiende a ser un problema mayor; así mismo, hay intentos de encontrar una solución, pero la mayoría no son satisfactorios, debido a que degradan demasiado la calidad de la imagen.

Finalmente, es evidente que existen varias plataformas tecnológicas que se pueden utilizar para la identificación de los usuarios; tales como, Bluetooth, infrarrojos, Wi-Fi, y reconocimiento facial. Por lo tanto, este proyecto se basa en la tecnología RFID. Así mismo, la razón principal de usar RFID; se debe a que tiene la capacidad de leer varias etiquetas al mismo tiempo, y a través de los

datos de identificación recopilados en los puntos de acceso, el sistema utiliza las etiquetas RFID para obtener información del posicionamiento y ruta de las personas. Además, la implementación de RFID es fácil, de bajo costo, y cuenta con la ventaja de que puede ser complementada con tecnologías opensorce biométricas, y así aumentar el nivel de seguridad en las áreas restringidas.

5 Marco conceptual

5.1. RFID

5.1.1. Definición.

RFID (Játiva Gutiérrez, 2016) Es un método de almacenamiento y recuperación remota de datos, basado en el empleo de etiquetas (en inglés, Tags) en las que reside la información. La función básica de una etiqueta RFID es guardar y transmitir información hacia el lector RFID.

Se basa en un concepto similar al del sistema de código de barras; la principal diferencia entre ambos reside en que el segundo utiliza señales ópticas para transmitir los datos entre la etiqueta y el lector, y RFID, en cambio, emplea señales de radiofrecuencia (en diferentes bandas dependiendo del tipo de sistema, típicamente 125 KHz, 13,56 MHz, 433-860-960 MHz y 2,45 GHz). Esta tecnología está compuesta principalmente de cuatro elementos

5.1.2. Etiqueta RFID.

También llamada tag o transpondedor (transmisor y receptor). La etiqueta se inserta o adhiere en un objeto, animal o persona, portando información sobre el mismo. En este contexto, la palabra “objeto” se utiliza en su más amplio sentido: puede ser un vehículo, una tarjeta, una llave, un paquete, un producto, una planta, etc.

Consta de un microchip que almacena los datos y una pequeña antena que habilita la comunicación por radiofrecuencia con el lector.

Xiaouxu Wang y Yuesheng Wang (2018) exponen que la comunicación llevada por las etiquetas según la forma de obtener energía está dividida en etiquetas activas y pasivas. Para el caso de las tarjetas RFID pasivas, la tarjeta no contiene energía, la energía utilizada para transmitir datos es proporcionada por el lector, cuando la etiqueta entra en el rango del campo magnético del lector. Por otro lado, las tarjetas de RFID activas, contienen una batería en miniatura que entrega

energía de la batería cuando transmite datos. sin embargo, la tarjeta de RFID activa es más grande, consume más energía y es más vulnerable

5.1.3. Lector.

Encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que ésta le envíe. Consta de un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena para interrogar los tags vía radiofrecuencia (Játiva Gutiérrez, 2016). Los lectores están equipados con interfaces estándar de comunicación que permiten enviar los datos recibidos de la etiqueta a un subsistema de procesamiento de datos, como puede ser un ordenador personal o una base de datos. Algunos lectores llevan integrado un programador que añade a su capacidad de lectura, la habilidad para escribir información en las etiquetas. A lo largo del presente estudio, cuando se hable de lector, se considerará que es un dispositivo capaz de leer la etiqueta, independientemente de si puede sólo leer, o leer y escribir.

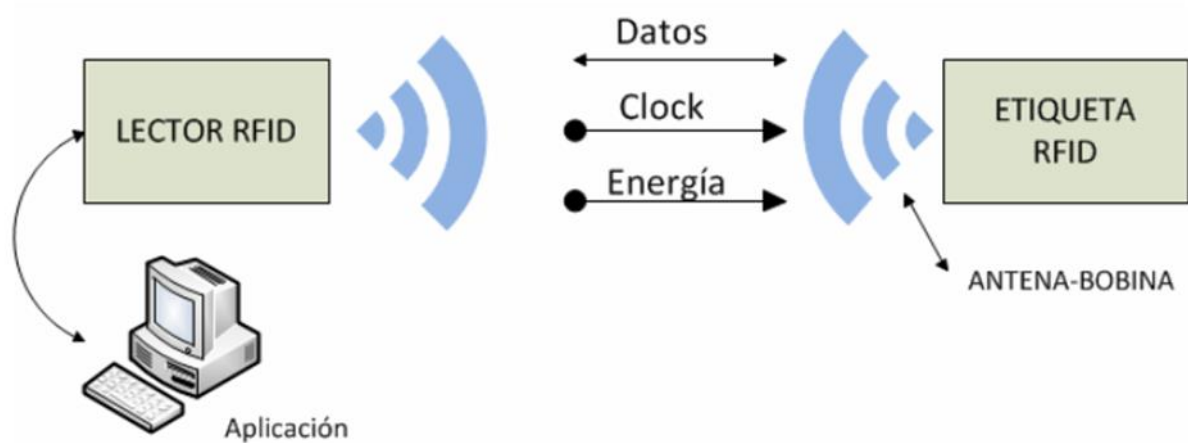
5.1.4. Ordenador, host o controlador.

La aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores y se la comunica al sistema de información (Játiva Gutiérrez, 2016). También es capaz de transmitir órdenes al lector.

Xiaouxu Wang y Yuesheng Wang (2018), aclaran que el host utilizado para procesar datos en la mayoría de los sistemas de control de acceso no solo tiene la función de cambiar la puerta, sino también la grabación en tiempo real, la información de consulta, la interacción persona-computadora y otros. El uso de la computadora host para procesar datos facilita el registro y la consulta de información de acceso de personas. En la figura 1 se puede observar un sistema básico RFID.

Figura 1.

Elementos de un sistema RFID.



Fuente: (Ludeña-González, 2016)

5.1.5. Middleware.

Adicionalmente, un middleware y en backend un sistema ERP (en inglés Enterprise resource planning) de gestión de sistemas IT son necesarios para recoger, filtrar y manejar los datos. Es el software responsable de gestionar la comunicación entre los sistemas de aplicación y el hardware RFID. Podríamos resumir a continuación, que este software es quien gestiona los lectores y la data que llegan de las etiquetas, realiza filtrado, control e integración de lectores, selecciona la información más relevante captado por el lector para agilizar los tiempos de procesamiento, permite la estandarización del flujo de la información, y crea soluciones para responder a problemas específicos (Játiva Gutiérrez, 2016).

5.2. Clasificación de la tecnología RFID

Como se mencionó en el apartado anterior según la etiqueta o tag, las tecnologías de auto identificación por radio frecuencia se clasifican en tres tipos (Zinnia Vargas, 2013).

5.2.1. Sistemas Activos

Utilizan etiquetas con fuentes de poder integradas, como baterías. Este tipo de etiquetas integra una electrónica más sofisticada, lo que incrementa su capacidad de almacenamiento de datos, interfaces con sensores, funciones especializadas, además de que permiten que exista una mayor distancia entre lector y etiqueta (20m a 100m). Este tipo de etiquetas son más costosas y tienen un mayor tamaño (Zinnia Vargas, 2013).

5.2.2. Sistemas Pasivos.

En los cuales las etiquetas de RFID no cuentan con una fuente de poder. Su antena recibe la señal de radiofrecuencia enviada por el lector y almacena esta energía en un capacitor. La etiqueta utiliza esta energía para habilitar su circuito lógico y para regresar una señal al lector. Éstas etiquetas pueden llegar a ser muy económicas y pequeñas, pero su rango de lectura es muy limitado (Zinnia Vargas, 2013).

5.2.3. Sistemas Semi-Pasivas.

Las etiquetas semi-pasivas tienen un circuito integrado, una antena y una batería, pero no están limitadas a tener solo esas tres piezas.

La inclusión de una batería en las etiquetas semi-pasivas permite aplicar funciones adicionales tales como sensores, rastreo en tiempo real, y notificación de sonido a la etiqueta. La única característica adicional que usted no encontrará en una etiqueta semi-pasiva es un transmisor integrado ya que es lo que diferencia a las etiquetas semi-pasivas de las activas. Sin este transmisor,

el rango de lectura de estas etiquetas es muy limitado y con la inclusión de una batería también lo es su vida útil (Miiler & Josh, 2019).

5.3. Frecuencias de la tecnología RFID

Los sistemas RFID se clasifican dependiendo del rango de frecuencias que usan, estas las podemos dividir en baja frecuencia (BF), alta frecuencia (AF), ultra alta frecuencia (UHF), y frecuencia de microondas (Játiva Gutiérrez, 2016).

5.3.1. Baja Frecuencia (9-135 KHz)

Los sistemas que utilizan este rango de frecuencia tienen la desventaja de una distancia de lectura de sólo unos cuantos centímetros. Sólo pueden leer un elemento a la vez (Zinnia Vargas, 2013).

5.3.2. Alta Frecuencia (13.56 MHz)

Esta frecuencia es muy popular y cubre distancias de 1cm a 1.5 m. Típicamente las etiquetas que trabajan en esta frecuencia son de tipo pasivo (Zinnia Vargas, 2013).

5.3.3. Ultra High Frequency (0.3-1.2GHz)

Este rango se utiliza para tener una mayor distancia entre la etiqueta y el lector (de hasta 4 metros, dependiendo del fabricante y del ambiente). Estas frecuencias no pueden penetrar el metal ni los líquidos a diferencia de las bajas frecuencias, pero pueden transmitir a mayor velocidad y por lo tanto son buenos para leer más de una etiqueta a la vez (Zinnia Vargas, 2013).

5.3.4. Microondas (2.45-5.8GHz)

La ventaja de utilizar un intervalo tan amplio de frecuencias es su resistencia a los fuertes campos electromagnéticos, producidos por motores eléctricos, por lo tanto, estos sistemas son utilizados en líneas de producción de automóviles. Sin embargo, Estas etiquetas requieren de

mayor potencia y son más costosas, pero es posible lograr lecturas a distancias de hasta 6 metros (Zinnia Vargas, 2013).

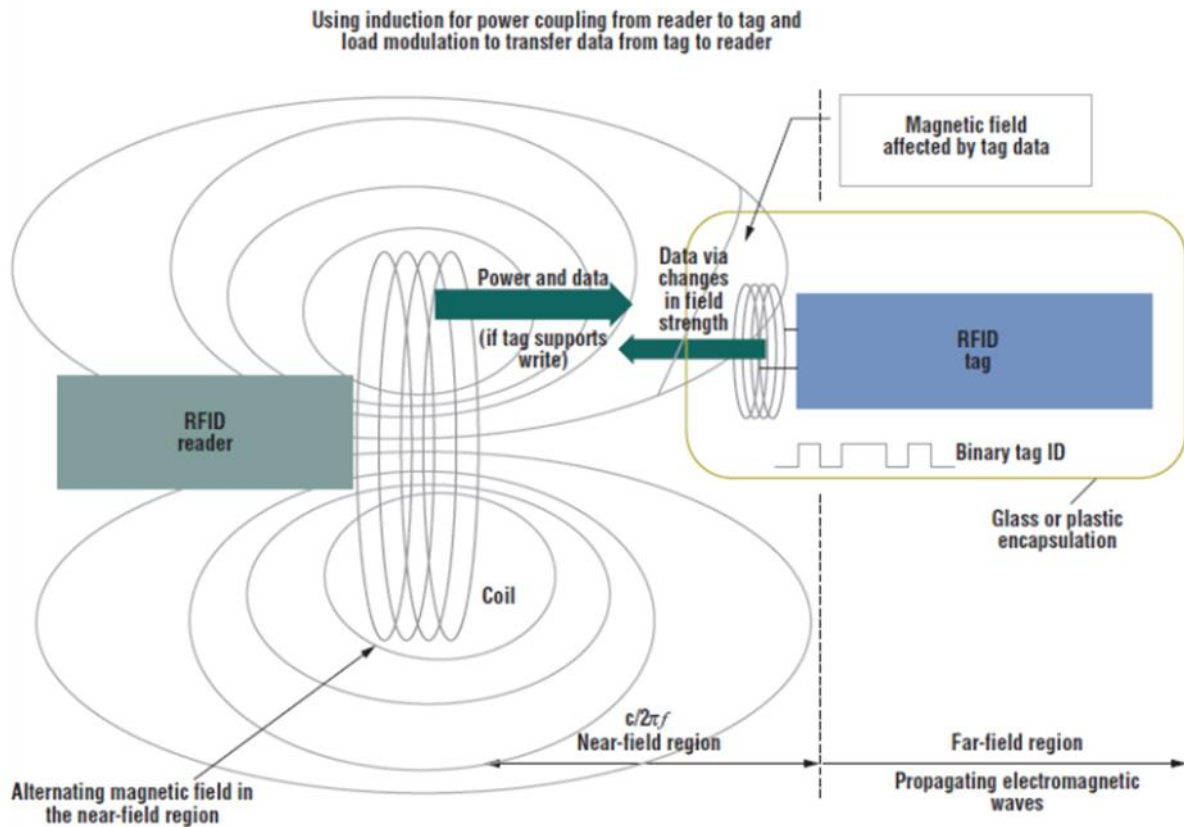
5.4. Principios básicos de funcionamiento

El funcionamiento de los sistemas RFID es sencillo. El lector dispone de una antena que emite señales electromagnéticas a una determinada frecuencia. Cuando una etiqueta recibe esta señal, se activa y responde con otra señal en la que se encuentra codificada la información contenida en ella. La señal emitida por la tarjeta es recibida por la antena y es almacenada en la base de datos (Pastor, San Jose, & Garcia, 2016).

Los datos extraídos por el lector RFID pueden ser almacenados en una base de datos para realizar alguna consulta; en realidad, el sistema de cómputo se adecuará a las necesidades específicas de la aplicación.

Figura 2.

Mecanismo de comunicación de campo cercano para las etiquetas RFID



Fuente: (Alwadi, Kilby, & Sabit, 2016)

En este entorno, es que disponemos de tarjetas pasivas o activas. Como vimos en los apartados anteriores, en las pasivas la alimentación la obtenemos de la misma frecuencia de trabajo y el sistema funciona mediante la técnica de modulación digital por frecuencia ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud), FSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia) y PSK (Modulación por desplazamiento de fase), con la que se facilita la adquisición. Para el caso de las tarjetas activas, se hace uso de la alimentación por batería, haciendo favorables alcances mayores en la proximidad (Tróchez & Eberto, 2017).

Los datos dentro de cada tarjeta se guardan en una memoria. Cada objeto para identificar tiene un código único y puede extraerse a distancia y sin tocarlo mediante el lector. La comunicación entre la etiqueta y el lector es efectuada mediante señales de radiofrecuencia, estas frecuencias pueden ser iguales o pueden ser armónicos. La comunicación entre estas es limitada mediante un alcance ya determinado, velocidad y seguridad según el rango de frecuencia, tipo de antenas utilizadas, etiquetas y demás configuraciones establecidas dependiente de la aplicación a usar.

En caso de que varias tarjetas estén en el rango de alcance del interrogador y dos o más quieran transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión. Para esto, el lector identifica la colisión y detiene la transmisión de las tarjetas. Después ira respondiendo a cada una por separado por medio de un algoritmo ya implementado (Tróchez & Eberto, 2017).

6 Diseño de la solución

6.1 Diseño metodológico

Por cada objetivo específico se plantearon unas actividades, que se describen de manera breve a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1

Actividades para desarrollar

Objetivo	Actividades	Productos
1. Conocer y caracterizar las diferentes plataformas tecnológicas propietarias y de hardware y software libre	1.1 Indagar sobre las distintas tecnologías que aplican para el control de acceso en áreas físicas.	Informe de las características técnicas y tecnológicas, de las diferentes plataformas tecnológicas propietarias y de hardware y software libre de sistemas de
	1.2 Revisar información bibliográfica y documental de las plataformas	

de sistemas de control de acceso de personal a áreas físicas.	1.3 Caracterizar y clasificar las tecnologías a implementar 1.4 Elaboración de la propuesta. 1.5 Presentación de la propuesta.	control de acceso de personal a áreas físicas.
2. Diseñar y modelar un sistema de control de acceso de personal a áreas físicas basado en plataformas tecnológicas propietarias y de hardware y software libre	2.1 Modelar el diseño del sistema control de acceso 2.2 Elaborar el diseño del sistema control de acceso 2.3 Elaboración de la metodología	Metodología, y modelo de la estructura del diseño del sistema de control de acceso.
3. Implementar y evaluar las funcionalidades del sistema de control de acceso de personal a áreas físicas	3.1 Codificar la solución del diseño propuesto 3.2 Elaborar el prototipo de la solución 3.3 Evaluar el prototipo diseñado	Prototipo a escala funcional del diseño propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente, se conocieron y caracterizaron las diferentes plataformas tecnológicas propietarias y de hardware y software libre de sistemas de control de acceso de personal a áreas físicas; que a través de material bibliográfico y contenido web sobre las diferentes plataformas que se encuentran, permitieron conocer las diferentes opciones y las ventajas o desventajas que presentan los distintos sistemas de control de acceso en áreas físicas. Así mismo, se obtuvieron las características propias de las plataformas de software y hardware estudiadas que, a través de la investigación, pudieron determinar cuál es la idónea a implementar según el tipo de sistema planteado. Debido a que las fuentes de investigación son fuentes secundarias, se indagó en revistas

especializadas y aportes de información como los de (Baque Jaramillo, 2020), donde documenta los diferentes tipos de sistemas de control y sus características. Como son: los factores importantes en un sistema de control de acceso, los diferentes componentes de estos sistemas, junto con un informe respaldado y referenciado bibliográficamente sobre la decisión que se elegía a implementar según los casos estudiados. Por otro lado, los autores (Sovetov, Tatarnikova, & Cehanovsky, 2020), dan una revisión de los microcontroladores y microordenadores modernos cuya base se puede construir un sistema de control de acceso físico. Se realiza una descripción sustancial del hardware del sistema y los protocolos de interacción entre los nodos del sistema.

También, al usar más fuentes de investigación secundarias se pudo tener una caracterización completa de las diferentes plataformas que pueden ser implementadas, facilitando la elaboración del marco teórico y el estado del arte que se relacionó con el objetivo general de la investigación.

Luego, se continuo con la fase donde se planteó el diseño y modelamiento del sistema de control de acceso de personal a áreas físicas basado en plataformas tecnológicas propietarias y de hardware y software libre. Por lo que se elaboró un diseño de control de acceso a pequeña escala, como prototipo para ser ejecutado en la observación, recolección de datos, análisis, y evaluación de las diferentes simulaciones planteadas, utilizando los diferentes componentes de hardware y software de código abierto que mejor se acoplaron al diseño. Para esto se escogieron diferentes componentes de electrónica libre que se requerían para el diseño planteado en la investigación.

(Aroca Veloz, 2018), presentan un esquema de los distintos componentes usados para un diseño de control de acceso, así como los equipos de software para que un sistema de gestión de RFID funcione adecuadamente.

Por último, se procedió a implementar y evaluar las funcionalidades del sistema de control de acceso de personal a áreas físicas, ejecutando los experimentos prediseñados. Después, se

tabularon y analizarán los datos organizados para comparar el rendimiento del sistema de control de acceso. Este análisis, se hizo teniendo en cuenta la respuesta del sistema ante la simulación de usuarios y la reacción del sistema ante las fallas que se presentaron. Por consiguiente, se realizó una comparación del rendimiento del servicio tradicional y el sistema propuesto, así como el rendimiento de la aplicación de gestión desarrollada, y el costo de los materiales para implementar un prototipo.

6.1.1 Tipo de Investigación y alcance.

El trabajo de mezcla dos tipos de investigación. La primera, es una de corte documental porque recopila información de documentos, revistas y libros actualizados referentes a las distintas investigaciones desarrolladas con respecto a los sistemas de control de acceso y a la Identificación por Radiofrecuencia. Adicionalmente, permite describir las características de los distintos tipos de sistemas de control de acceso, y su aplicación en contextos reales, detallando los componentes, conceptos, y condiciones que revisten los elementos constitutivos del problema de la investigación.

Por otro lado, presenta un enfoque experimental; debido a que se diseñó e implementó un prototipo de un sistema de control de accesos en áreas físicas, basados en plataformas de hardware y software libre.

6.1.2 Área de estudio.

El proyecto de investigación está desarrollado para ser implementado en la Universidad de la costa, ubicada en la ciudad de Barranquilla. Sin embargo, puede ser implementando en una organización que requiriera de la restricción o control de acceso en áreas físicas específicas.

7 Resultados

Después de la realización de todas las actividades planeadas en la investigación, los resultados obtenidos se presentan a continuación.

7.1 Caracterización de plataformas y tecnología para control de acceso en organizaciones

En esta sección se detallan las características fundamentales a tener en cuenta para los distintos tipos de sistemas RFID existentes, del mismo modo se realizó un recopilación de otras tecnologías de autoidentificación, así como una comparación entre estas tecnologías, con el fin de analizar las posibles ventajas y desventajas que puedan tener al ser implementadas en una organización con respecto al modelo de sistema de control de acceso propuesto, en dicho sistema se prioriza el uso de la tecnología RFID como método definitivo. Por otro lado, es de aclarar que, aunque la tecnología RFID es una tecnología con gran crecimiento en los últimos años, no es un reemplazo definitivo de otras tecnologías de autoidentificación existentes, ya que cada una de esas tecnologías presentan diferentes ventajas y desventajas según el caso en el que se planteen.

7.1.1 Características de los tipos de sistemas RFID

Debido a la existencia de varias alternativas en los sistemas RFID, se realizó un análisis de los tipos de sistemas que existen, analizando las características que presentan, y teniendo en cuenta criterios de funcionalidad acordes al proyecto de control de acceso en áreas físicas. En efecto, estos van desde el rango de alcance en la que fluye la comunicación de la etiqueta y el lector, hasta la frecuencia en la que se ejecuta dicha comunicación. En todo caso, las características y comparación a tener en cuenta, se presenta en la tabla 2

Tabla 2*Características de la tecnología RFID*

Características	RFID Pasivo (UHF)	RFID Activo	RFID Activo (Wi-Fi)
Alcance	6m	30m	30m
Capacidad de memoria	En orden de bits o pocos kilobytes	En orden de kilobytes	En orden de kilobytes
Velocidad de flujo de datos	128kbps	Hasta orden de Mbps	Hasta orden de Mbps
Tamaño de la etiqueta	Pequeñas	Mayor que los tags pasivos	Entre 45 x 55 x 19mm y 180 x 85 x 45mm
Frecuencia utilizada	860-960Mhz	2.4 GHz	2.4 GHz
Tipo de acoplamiento	Propagación por ondas electromagnéticas	Propagación por ondas electromagnéticas	Propagación por ondas electromagnéticas

Fuente: (Yasser Hipólito, 2017).

Como se puede analizar en la tabla 2, todos los tipos de RFID son ideales como identificadores inalámbricos, pero se diferencian fundamentalmente en la banda de frecuencia en la que operan y el tipo de RFID activo o pasivo, puesto que dichas características determinarían un mayor o menor alcance de lectura de la información que posee la etiqueta RFID. En todo caso, para nuestro proyecto no fue necesaria la implementación de etiquetas activas, ya que dichas etiquetas requieren de una fuente de potencia para ellas mismas transmitir la señal con información. Y en el proyecto planteado el usuario no requerirá de estar a mucha distancia del lector para suministrar la información.

7.1.2 Plataformas de soluciones existentes de terceros

Como se ha mencionado en apartados anteriores, actualmente existen en el mercado una amplia gama de soluciones de control de acceso que ayudan a mitigar los fallos de seguridad física en las organizaciones. Como veremos en la tabla 3, cada una de las soluciones está diseñada según el tipo de acceso que ofrecen o la combinación de múltiples tipos de acceso.

Tabla 3

Soluciones existentes de control de acceso en organizaciones privadas

Producto	Detalles	Tipo de acceso	Seguridad de datos	Precio
GeoVictoria	Empresa privada especializada en el control de acceso con soluciones biométricas: Lector de huella y reconocimiento facial	Biométrico	Alta	Alto
Fevox	Soluciones electrónicas de control de acceso, desde operaciones de pequeñas empresas hasta grandes campus corporativos, implementando RFID y lector de huellas	biométrico y RFID	Alta	Alto
RFIDcontrols	Empresa de soluciones de sistemas de control de acceso pasivo, enfocándose principalmente en la implementación de la tecnología RFID	RFID	Medio	Alto

Salto InspiredAcces	Soluciones innovadoras basadas en la nube y móviles. Combina un dispositivo de cierre autónomo con capacidades en tiempo real y online	Wireless	Medio-Bajo	Medio-Alto
Accesor	Soluciones de hardware y software de control de acceso que permite el control total de una instalación con redes, centrales, lectores y grupos de acceso, gracias a la tecnología de código de barras	Código de barras	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 3, existen diferentes tipos de soluciones para el control de acceso físico. Ahora bien, todas estas tienen la característica de que la seguridad de los datos es alta, pero a un precio de implementación elevado, y esto es debido a que ofrecen un paquete completo en diferentes áreas de la seguridad perimetral, destinado en la mayoría de los casos a grandes campus corporativos. Por ello, se puede determinar que nuestro proyecto de control de acceso en áreas físicas es pertinente, ya que está basado en plataformas de software y hardware libre de bajo costo, además cuenta con altos estándares de seguridad (Ambareen, M, & Ara) y su implementación no requiere de tanta complejidad.

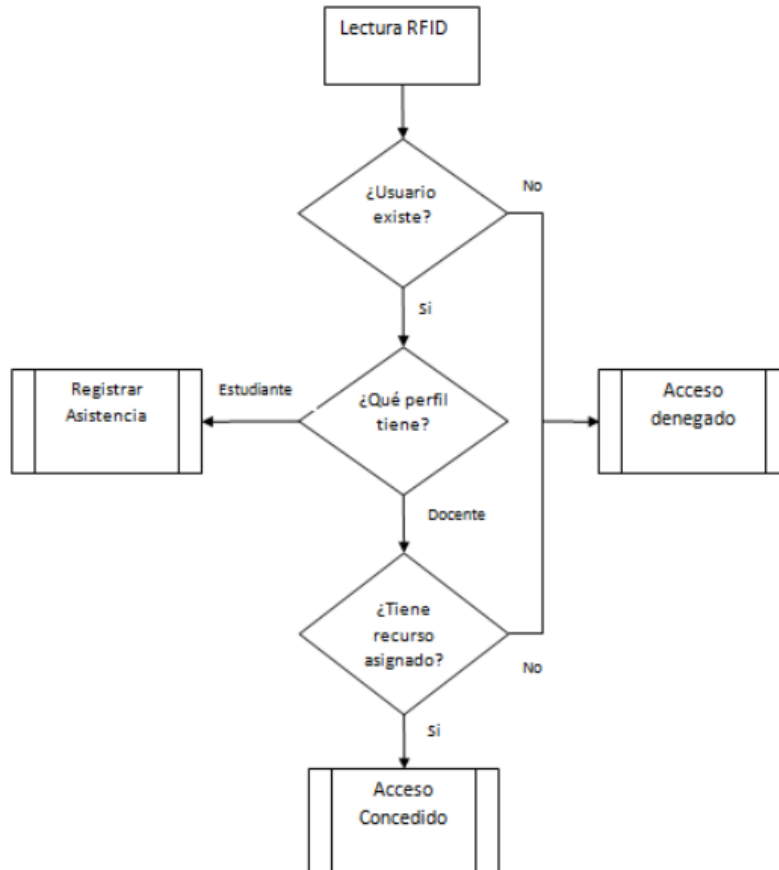
7.2 Modelo del sistema de control de acceso en áreas físicas propuesto

En general la implementación de la solución desarrollada en este proyecto consiste en la identificación de los usuarios, su autenticación por parte del sistema de monitoreo, y la activación del circuito electrónico de apertura de puertas según el rol asignado.

De igual manera, la lógica del sistema propuesto se muestra en la figura 3. En el diagrama, muestra cómo se realiza el monitoreo de puertas y almacenamiento de los registros de la toma automática de decisiones a través de la validación de información, confrontando los datos leídos con los contenidos en una base de datos y usuarios asignados a diferentes roles y recursos.

Figura 3.

Diagrama de flujo del software del sistema.



Fuente: Elaboración propia

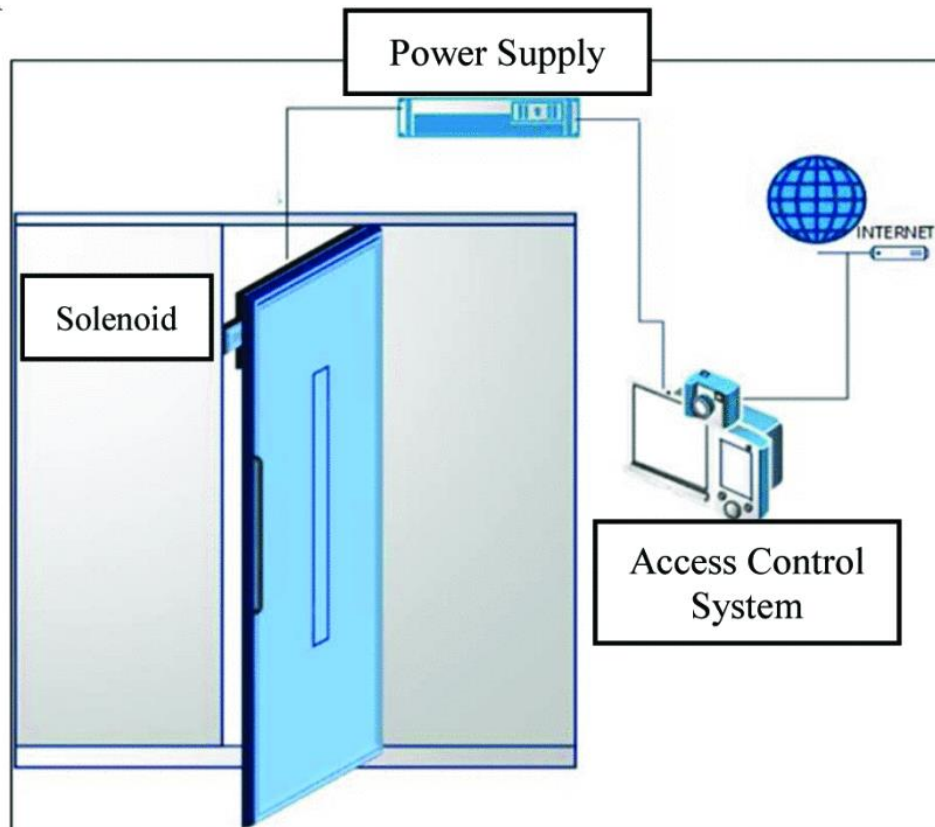
7.2.1 Estructura funcional del sistema

Teniendo como base los principios básicos de funcionamiento en la tecnología RFID y el diagrama de flujo del software del sistema propuesto, se procede a definir la estructura funcional del sistema. Esta consta de una interfaz de usuario, que es la encargada de hacer la identificación de los usuarios registrados en el sistema, seguido por el controlador que se encarga de la conexión al servidor que resguarda la base de datos de los perfiles junto con los usuarios asignados y donde se registra la actividad y respuesta al controlador.

Partiendo de la estructura planteada, se definen las tecnologías principales que interactúan en el sistema haciendo un análisis de los procesos que desempeñan en cada etapa del prototipo.

Luego, resultado del análisis anterior se decide emplear la tecnología RFID como interfaz de usuario, ya que ofrece ciertas ventajas sobre otras tecnologías aplicadas en sistemas o usos similares, siendo la herramienta idónea para funciones como almacenar información de forma segura, facilidad de lectura, colocación, y automatización de procesos entre otros. (Guzman Obregon, 2017). Se complementa la estructura del sistema escogiendo el tipo de controladores a emplear y las conexiones que se requieran. La estructura definida se presenta en la figura 4.

Figura 4.

Estructura operacional del sistema

Fuente: (Bintang Wahyudono, 2020)

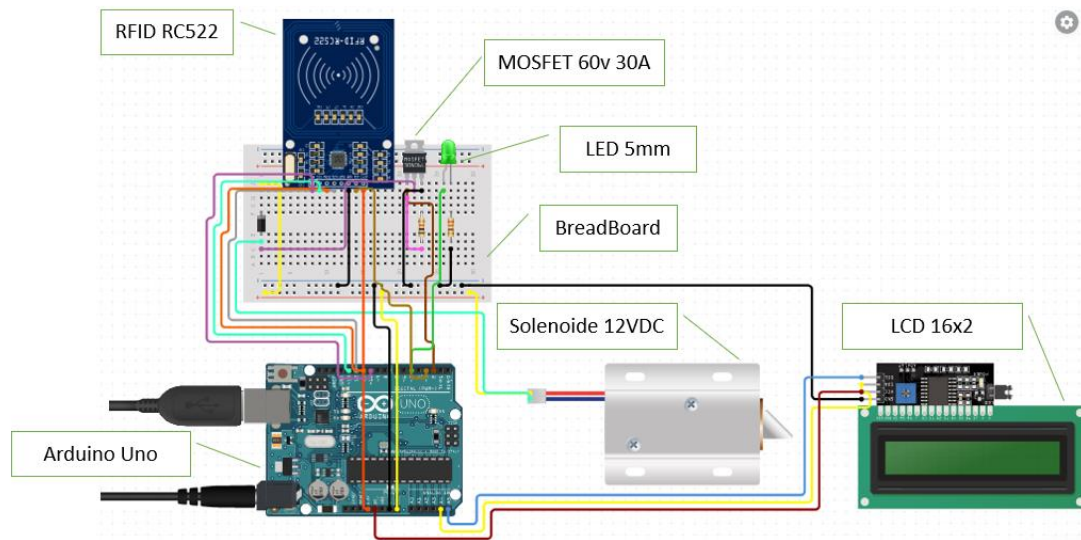
El primer componente es el dispositivo lector RFID encargado de leer los datos del usuario, operando como sistema pasivo, por el cual se encuentra constantemente esperando una etiqueta o tag, esto indica que solo funciona al ser energizado cuando este se acerca al lector. De esta manera la etiqueta al ser deslizado al RFID envía la información/datos de la tarjeta al lector, este último decodifica el dato recibido y luego pasa la información a otro de los componentes el cual es el Arduino Uno, que es quien regula la información a toda la unidad y da salida en los dispositivos respectivos, es decir, solenoide como controlador de puerta, LCD o indicador visual asignado. (Bakht, Ud Din, Shehzadi, & Aftab, 2019).

Después, cuando el Arduino evalúa la información para desplegar un mensaje de respuesta, otro pin del mismo microcontrolador envía una señal que activa la bobina de la cerradura (Solenoides) en caso de ser válido, autorizando el ingreso y permitiendo el acceso al usuario según la tarjeta o tag asignado.

7.2.2 Desarrollo de la etapa electrónica.

Figura 5.

Diagrama del circuito electrónico.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se muestra el circuito electrónico correspondiente al modelo de control de acceso, que se ubicarían en cada una de las puertas de las zonas de acceso restringido que se establezcan. Para el modelo propuesto, estas constan de un microcontrolador Arduino Uno, aunque opcionalmente puede usarse un Arduino Nano, también se cuenta con el dispositivo

RFID-RC522, cerradura solenoide de 12v, MOSFET IRF530, LED 5mm, resistencia limitadora de 220 ohm, tarjetas o llaveros de acceso (tag), y una mini BreadBoard.

Así mismo, la lógica del funcionamiento de control de acceso del modelo se ejecuta cuando la alimentación de 12v que alimenta al microcontrolador Arduino ingresa por el pin de entrada VIN, el Arduino en su salida de 3.3v entrega ese voltaje de alimentación al pin de 3.3v del RFID-RC522, de manera tal que cuando el tag es deslizado por el RFID, se obtiene el 1 lógico, activa el LED y el pin Gate-Source del transistor mosfet y circula corriente hacia el solenoide por el pin Drain-Source del transistor. *(Higinio, 2019)*

Por otra parte, las conexiones entre el RFID y el Arduino incluyen el pin GND, conectado entre ambos en sus respectivos pines y a la alimentación de 12v, el pin RST conectado al pin 9 en el Arduino, el pin SDA conectado al pin 10 del Arduino, el pin MOSI conectado al pin 11 de Arduino, el pin MISO conectado al pin 12 de Arduino, el pin SCK conectado al pin 13 de Arduino. La salida digital 6 del Arduino es la que alimenta a la resistencia de 220 ohm junto con el LED 5mm, y esa misma salida va conectada a la compuerta del IRF530. La salida S (surtidor) del IRF530 va a tierra y la salida D (drenador) va conectada al puerto negativo de la bobina del solenoide de la chapa eléctrica. *(Higinio, 2019)*.

8. Conclusiones

Luego del desarrollo del proyecto se lograron obtener las siguientes experiencias:

1. Se caracterizaron y analizaron las ventajas que presenta la tecnología RFID frente a otras plataformas tecnológicas, ya sean de uso privado o de hardware y software libre; siendo su principal ventaja la facilidad de uso y la adquisición de código libre para el desarrollo nuevas soluciones.
2. Se encontró, que no hay necesidad de invertir grandes presupuestos en plataformas tecnológicas biométricas privativas desarrolladas por terceros; y que en la mayoría de los casos tiene un costo muy elevado y su adecuación puede llegar a ser muy compleja. Por el contrario, se evidenció que son mayores los beneficios de implementar sistemas para control de acceso físico en organizaciones, basado en plataformas con tecnologías de hardware y software libre mercado,
3. Se pudo comprobar que el modelo a escala del sistema de control de acceso a organizaciones utilizando RFID y Arduino, junto con una interfaz gráfica de usuario muy elemental, programada en el software de Arduino; es una solución que se puede implementar a escala real en cualquier organización.

Finalmente, que se puede decir que el sistema de control de acceso físico a organizaciones, basado en tecnología RFID, satisface los objetivos planteados en la investigación; y que, para mejorar la eficacia y la eficiencia del sistema propuesto, es necesario una siguiente etapa en el proyecto; donde se diseñe una interfaz gráfica de usuario en una plataforma más funcional a la presentada en el prototipo inicial.

9. Trabajos Futuros

Como continuación de este trabajo investigativo, existen diversas líneas de investigación que quedan abiertas, en las que es posible continuar indagando y que se esperan atacar en un futuro:

1. Implementación de un sistema de control de acceso aplicando SDN y sistemas embebidos.
2. Sistema de control de acceso y posicionamiento en áreas de físicas basado en IoT y Wi-Fi mediante aplicación móvil.
3. Implementación y autenticación de dos factores para un sistema de control de acceso en áreas físicas basado en RFID y huella dactilar.

11. Referencias

- Alwadi, A., Kilby, J., & Sabit, H. (2016). Radio Frequency Identification Technology in Libraries. *International Journal of Engineering Research & Science*, 14.
- Ambareen, J., M, P., & Ara, T. (2020). Edge Data Security for RFID-based Devices. *IEEE*.
- Aroca Veloz, D. A. (2018). *Estudio de un control de inventario basado en tecnologia RFID para la biblioteca de la universidad de Guayaquil*. Guayaquil.
- Bakht, K., Ud Din, U., Shehzadi, A., & Aftab, M. (2019). Design of an Efficient Authentication and Access Control System Using RFID. *2019 3rd International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)* (pág. 4). Lahore: IEEE.
- Baque Jaramillo, A. L. (2020). *Estudio de factibilidad de un sistema de control de acceso con tecnologia RFID de la sala inteligente con tecnologia digital en la unidad de bienestar estudiantil de la universidad estatal del sur de MANABI*. Manabí.
- Bintang Wahyudono, D. O. (2020). *Implementation of Two Factor Authentication based on RFID and Face Recognition using LBP Algorithm on Access Control System*. Bandung: IEEE.
- Buffi, A., Tellini, B., Motroni, A., & Nepa, P. (2019). *A Phase-based Method for UHF RFID Gate Access Control*. Pisa: IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA).
- Derek Briseño, A. (15 de 06 de 2020). *Eurosoft*. Obtenido de <https://solucioneseurosoft.com/control-acceso/rfid-para-control-de-acceso/>
- Guzman Obregon, O. A. (2017). Planificacion y analisis de la propagacion en sistemas RFID para escenarios en interiores: Analisis y diseño. *Researchgate*.

- Higinio, H. (2019). *Control de acceso a puertas con tarjeta RFID RC522*. Obtenido de <http://www.humbertohiginio.com>
- Játiva Gutiérrez, C. L. (2016). *Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT)*. Guayaquil.
- Kashan, S., & mahmood, w. (2020). *Smart Home Automation using IoT and its low cost implementation*. Karachi: ResearchGate.
- Khalimov, R., Shokayev, A., Kamalov, B., & Hazrat Ali, M. (2020). *Development of Intelligent Door Locking System Based on Face Recognition Technology*. Atenas: IEEE.
- Leimeister, J. M., Sandner, U., Kern, E.-M., & Krcmar, H. (2021). *Strategic Importance of RFID - Empirical and Conceptual Insights*. ResearchGate.
- Ludeña-González, P. (2016). Yanapay: sistema de evacuación basado en tecnología RFID y dispositivos Android. *INGENIUS*, 10.
- Miiler, & Josh. (24 de 4 de 2019). *Computype*. Obtenido de <https://www.computype.com/es/blog/rfid-y-las-diferencias-entre-etiquetas-pasivas-semi-pasivas-y-activas>
- Occhiuzzi, C., Amendola, S., Nappi, S., D'Uva, N., & Marrocco, G. (2019). *RFID Technology for Industry 4.0: Architectures and Challenges*. Pisa: IEEE International Conference on RFID Technology and Applications.
- Olutosin Taiwo, L. A. (2020). *Smart Home Automation: Taxonomy, Composition, Challenges and Future Direction*. Durban: SpringerLink.
- Pastor, J., San Jose, J., & Garcia, A. (2016). *RFID: La Identificación por Radiofrecuencia como futuro de la identificación de objetos*. Cuenca: Researchgate.

- Reza Deepty, R., Alam, A., & Md. Ezharul. (2019). *IoT and Wi-Fi Based Door Access Control System using Mobile Application*. Dhaka: IEEE.
- Sovetov, B. Y., Tatarnikova, T. M., & Cehanovsky, V. V. (2020). *Physical Access Control System for the Premises using the Internet of Things Technology*. Saint-Petersburg: IEEE.
- Sunaina, A., & Poojary, R. (2017). *Breakthrough in access control technology*. Ras al Jaima: IEEE International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA).
- Tróchez, & Eberto, C. (2017). *Implementación de un Sistema Electrónico para el Control de Acceso Utilizando Tecnología RFID para el Programa UNI-Online*. Managua.
- Velentyn, S. (2018). *Fingerprint Identification as Access Control System*. Moscú: IEEE.
- Wang, X., & Wang, Y. (2018). *An office intelligent access control system based on RFID*. Shenyang: IEEE.
- Yasser Hipólito, Y. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de localización y control de inventarios en un almacén de aduanas, utilizando tecnología RFID*. Lima.
- Zambrano Rodriguez, R. V. (2015). *Prototipo para el control de acceso a recintos por medio de tecnologia unalambrica zigbee*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Zinnia Vargas, D. H. (2013). *Sistema de control de acceso y monitoreo con la tecnologia RFID para el departamento de sistemas de la universidad politecnica salesiana sede Guayaquil*. Guayaquil.