



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE ALERTA
TEMPRANA CONTRA INCENDIOS FORESTALES APLICADO
A UN CASO DE ESTUDIO EN LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

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

JORGE ENRIQUE RE ANDRADE

DIRECTOR: ING. PABLO VELARDE RUEDA, PhD.

Quito, Septiembre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1716539265
APELLIDO Y NOMBRES:	RE ANDRADE JORGE ENRIQUE
DIRECCIÓN:	CUMBAYA
EMAIL:	jorg_re@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	022898221
TELÉFONO MOVIL:	0992565361

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CONTRA INCENDIOS FORESTALES APLICADO A UN CASO DE ESTUDIO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
AUTOR O AUTORES:	JORGE ENRIQUE RE ANDRADE
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	29 de Septiembre del 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. PABLO VELARDE RUEDA, PhD.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente trabajo de titulación muestra el proceso de diseño de un sistema prototipo de alerta contra incendios forestales. Se aplica a un caso de estudio en una pequeña extensión de bosque del campus occidental de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

El trabajo fue desarrollado en base a normativa internacional The National Fire Protection Association (NFPA) la cual establece normas frente a la eliminación de muertes, lesiones, uso de medios de protección contra incendios y pérdidas económicas debido al fuego, eléctrico y peligros relacionados.

En base a las variables principales de medición como la temperatura, humedad y detección de humo, se puede prevenir de forma eficiente el inicio de un flagelo. Razón por la cual, se realizaron pruebas del sistema, donde se verificó únicamente el monitoreo de la humedad y temperatura por medio del uso de un display TFT.

Teniendo en cuenta que es un diseño de bajo costo, la selección de los componentes se realizó en base a las características y prestaciones que pueden ofrecer, considerando costos y disponibilidad en el mercado.

La idea del presente trabajo, es que pueda servir como un punto de partida para futuros trabajos, que mejoren la calidad y la forma de operación del sistema. Además, si se cuenta con una mayor cantidad de inversión, se puede seleccionar componentes más sofisticados, que ayudarían a mejorar las prestaciones del diseño.

Entre los resultados que se obtuvieron, el sistema permitió el monitoreo de la temperatura y humedad, variables que resultan primordiales para el sistema; además se generan alarmas de alerta en función de los incrementos bruscos de temperatura y por el sobre paso de un valor de temperatura establecido. Finalmente, se

	<p>generó un registro de muestras tomadas de temperatura, para poder generar un histórico de datos adquiridos.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Diseño, monitoreo, componentes, temperatura, TFT, prototipo, alerta, normativa, sistema.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>This present paper shows the design process of a forest fire alert system prototype. It is applied to a case study in a small forest extension located at the western campus of the Universidad Tecnológica Equinoccial.</p> <p>The work was developed based on The National Fire Protection Association (NFPA) international regulations, which establishes standards in the face of the elimination of death, injury, use of means of protection against fires and economic losses due to fire, electrical and related hazards.</p> <p>Based on the main measurement variables such as temperature, humidity and smoke detection, the onset of a flagellum can be efficiently prevented. Due to tests of the system that are carried out, where only the monitoring of humidity and temperature is verified through the use of a TFT display.</p> <p>Given that it is a low-cost design, the selection of components is performed taking into account the features and benefits they can offer, considering costs and market availability.</p> <p>The idea of this work is that it can serve as a starting point for future works, which can improve the quality and the way in which the system operates. In addition, if the amount of investment is increased, a more sophisticated component should improve the quality of the design.</p> <p>Among the results obtained, the system</p>

	allowed a monitoring of temperature and humidity, variables that are essential to the system; also, warning alarms are generated based on sharp increases in temperature and the envelope passage of a temperature value set. Finally, a record of temperature samples, to generate a record of acquired data was generated.
KEYWORDS	Design, monitoring, components, temperature, TFT, prototype, alert, standards, system.

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

f: 

JORGE ENRIQUE RE ANDRADE
C.I.: 1716539265

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Jorge Enrique Re Andrade**, C.I. 1716539265 autor del proyecto titulado: **“Diseño del Prototipo de un Sistema de Alerta Temprana Contra Incendios Forestales Aplicado a un Caso de Estudio en la Universidad Tecnológica Equinoccial”** 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, 29 de Septiembre del 2017

f:



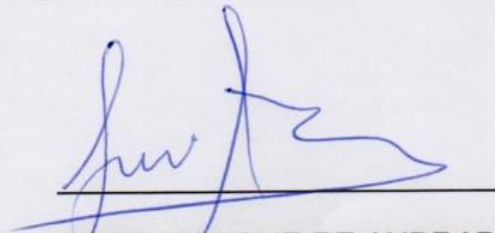
JORGE ENRIQUE RE ANDRADE

C.I.: 1716539265

DECLARACIÓN

Yo **JORGE ENRIQUE RE ANDRADE**, 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.




JORGE ENRIQUE RE ANDRADE

C.I.: 1716539265

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño del Prototipo de un Sistema de Alerta Temprana Contra Incendios Forestales Aplicado a un Caso de Estudio en la Universidad Tecnológica Equinoccial**" que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica**, fue desarrollado por **Jorge Enrique Re Andrade**, 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. PABLO VELARDE RUEDA, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.: 1718907478

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por ser el principal sostén y motivador en mi vida, y colaborador para hacer realidad, el presente trabajo y cada paso firme que doy en la vida.

Agradezco a mis padres y mi hermano, por haber sido parte en los momentos difíciles, y soporte incondicional para poder llegar a cumplir una meta más en la vida. Por ser un pilar fundamental en mí desarrollo como persona, profesional y en mi vida

Agradezco a mis amigos y a todas las personas que me han apoyado y aportaron con su parte, para que este trabajo se pueda cumplir.

Un especial agradecimiento a mi director de tesis Pablo Velarde, por haber confiado en mí, por todo el apoyo, y su gran voluntad durante el desarrollo del trabajo de titulación.

Esta tesis va dedicada con un profundo agradecimiento a mi abuelita, a quien le prometí que este trabajo le dedicaba en su nombre y finalmente con su ayuda es una certeza cumplida. Quien ha sido un apoyo incondicional en todo momento, para que todo me resulte de la mejor manera en mi vida, siempre me lo demostró con su gran amor. Y aunque ya no se encuentre más en este mundo, sé que desde el cielo cuida de mí y de la familia, para que todo nos salga de la mejor manera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. CAUSAS QUE ORIGINAN EL INCENDIO FORESTAL.....	4
1.2. TEMPERATURA DE LA LLAMA	5
1.3. FORMAS DE PROPAGACIÓN DEL CALOR	6
1.4. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO FORESTAL	6
1.5. NORMATIVA INTERNACIONAL CONTRA INCENDIOS FORESTALES	15
1.6. DISPOSITIVOS Y SISTEMAS DE ACCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	17
1.6.1. TIPOLOGÍA DE SISTEMAS.....	17
1.6.2. CIRCUITOS EN UN SISTEMA DE ALARMA DE FUEGO	18
1.7. INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	19
1.7.1. ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE EVENTOS.....	22
1.8. PLAN DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA	25
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO.....	28
2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	29
2.2. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	30
2.3. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA	31
2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	31
2.3.2. NIVELES DE AFECTACIÓN	32
2.3.3. HISTÓRICO DE TEMPERATURAS Y VIENTOS EN QUITO.....	33

2.4. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.....	35
2.4.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES	35
2.4.2. CONEXIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN	42
2.5. ARQUITECTURA Y MODO DE OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO	48
2.5.1. FUNCIONAMIENTO DE LAS ALARMAS DEL SISTEMA PROTOTIPO.....	50
2.5.2. VALIDACIÓN DEL SISTEMA	51
2.5.3. OPERACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO REALIZADO A TRAVÉS DE PRUEBAS	52
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	54
PRUEBAS REALIZADAS EN EL PROTOTIPO SIMPLIFICADO	54
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Características y comportamiento del fuego forestal.	8
Tabla 2. Influencia de la topografía en el tiempo atmosférico.	11
Tabla 3. Influencia de la topografía en las variaciones del tiempo atmosférico en el transcurso del día.	12
Tabla 4. Comportamiento del incendio como consecuencia de la topografía.	14
Tabla 5. Influencia de la climatología en el comportamiento del fuego forestal.....	15
Tabla 6. Comportamiento acumulado anual de eventos.	21
Tabla 7. Cobertura vegetal del DMQ	24
Tabla 8. Promedio histórico de temperatura y velocidad del viento en Quito.....	33
Tabla 9. Operación del sistema en función de la variación de temperatura.	35
Tabla 10. Rangos de temperatura funcionamiento del sistema.	36
Tabla 11. Características técnicas detector de humo.	37
Tabla 12. Características pantallas TFT.	38
Tabla 13. Especificaciones técnicas ESP8266 y NRF24L01.	39
Tabla 14. Especificaciones técnicas microcontrolador ATmega 2560 y PIC 16F877A.	40
Tabla 15. Registro temperaturas durante el día miércoles 16 agosto 2017.	58
Tabla 16. Valores simulación alarmas por valores establecidos de temperatura.	59
Tabla 17. Valores simulación alarmas por variación de temperatura.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Las tres fases de un incendio.....	5
Figura 2. Tipos de propagación de calor.	6
Figura 3. La Gran Triada.....	7
Figura 4. Influencia del viento en el día y en la noche.	9
Figura 5. Corrientes de convección que resecan el combustible ladera arriba.....	9
Figura 6. Las tres zonas de una ladera	10
Figura 7. Cinturón térmico e inversión térmica.	12
Figura 8. Contorno de un incendio en función de la dirección del viento.	13
Figura 9. Efectos de la humedad sobre los combustibles.....	13
Figura 10. Estadística superficial afectada de incendios forestales.	19
Figura 11. Mapa de incendios de magnitud de hectáreas 2015.	21
Figura 12. Índice de propagación de incendios forestales 2012-2013.....	22
Figura 13. Índice de peligro de propagación de incendios forestales 2015.....	23
Figura 14. Eventos registrados 2013.....	24
Figura 15. Flujo de la operación ante un evento.	27
Figura 16. Metodología seleccionada para el proyecto.	28
Figura 17. Superficie bosque campus occidental.	29
Figura 18. Arquitectura general del sistema.	31
Figura 19. Muestra tomada bosque campus occidental	32
Figura 20. Temperaturas históricas en Quito.	34
Figura 21. Velocidades del viento históricas en Quito.	34
Figura 22. Sensor de humedad y temperatura DHT.....	36
Figura 23. Display LCD TFT.	38
Figura 24. Módulo ESP8266.	40
Figura 25. Arduino Mega 2560.....	41
Figura 26. Conexión sensor DHT22.....	43
Figura 27. Composición detector de humo fotoeléctrico.....	43

Figura 28. Conexión de alimentación normalmente abierto.....	44
Figura 29. Conexión de alimentación normalmente cerrado.	44
Figura 30. Conexión display TFT ITEAD 3.2”.....	45
Figura 31. Pines de conexión módulo de comunicación ESP8266.....	46
Figura 32. Conexión módulo de comunicación ESP8266.....	46
Figura 33. Conexión Arduino Mega 2560.....	47
Figura 34. Arquitectura completa del prototipo.....	50
Figura 35. Diagrama de flujo de operación general del sistema de monitoreo.	53
Figura 37. Sistema de validación del monitoreo de temperatura y humedad.	55
Figura 38. Menú principal monitoreo pruebas de validación.....	56
Figura 39. Submenú temperatura monitoreo pruebas de validación.	56
Figura 40. Submenú humedad monitoreo pruebas de validación.....	57
Figura 41. Comportamiento de la temperatura durante el día.	60
Figura 42. Simulación alarmas por valores establecidos de temperatura.	60
Figura 43. Simulación alarmas por variación de temperatura.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Esquema del circuito electrónico del sistema prototipo.	69

RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra el proceso de diseño de un sistema prototipo de alerta contra incendios forestales. Se aplica a un caso de estudio en una pequeña extensión de bosque del campus occidental de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

El trabajo fue desarrollado en base a normativa internacional The National Fire Protection Association (NFPA) la cual establece normas frente a la eliminación de muertes, lesiones, uso de medios de protección contra incendios y pérdidas económicas debido al fuego, eléctrico y peligros relacionados.

En base a las variables principales de medición como la temperatura, humedad y detección de humo, se puede prevenir de forma eficiente el inicio de un flagelo. Razón por la cual, se realizaron pruebas del sistema, donde se verificó únicamente el monitoreo de la humedad y temperatura por medio del uso de un display TFT.

Teniendo en cuenta que es un diseño de bajo costo, la selección de los componentes se realizó en base a las características y prestaciones que pueden ofrecer, considerando costos y disponibilidad en el mercado.

La idea del presente trabajo, es que pueda servir como un punto de partida para futuros trabajos, que mejoren la calidad y la forma de operación del sistema. Además, si se cuenta con una mayor cantidad de inversión, se puede seleccionar componentes más sofisticados, que ayudarían a mejorar las prestaciones del diseño.

Entre los resultados que se obtuvieron, el sistema permitió el monitoreo de la temperatura y humedad, variables que resultan primordiales para el sistema; además se generan alarmas de alerta en función de los incrementos bruscos de temperatura y por el sobre paso de un valor de temperatura establecido. Finalmente, se generó un registro de muestras tomadas de temperatura, para poder generar un histórico de datos adquiridos.

Palabras Claves: Diseño, monitoreo, componentes, temperatura, TFT, prototipo, alerta, normativa, sistema.

ABSTRACT

This present paper shows the design process of a forest fire alert system prototype. It is applied to a case study in a small forest extension located at the western campus of the Universidad Tecnológica Equinoccial.

The work was developed based on The National Fire Protection Association (NFPA) international regulations, which establishes standards in the face of the elimination of death, injury, use of means of protection against fires and economic losses due to fire, electrical and related hazards.

Based on the main measurement variables such as temperature, humidity and smoke detection, the onset of a flagellum can be efficiently prevented. Due to tests of the system that are carried out, where only the monitoring of humidity and temperature is verified through the use of a TFT display.

Given that it is a low-cost design, the selection of components is performed taking into account the features and benefits they can offer, considering costs and market availability.

The idea of this work is that it can serve as a starting point for future works, which can improve the quality and the way in which the system operates. In addition, if the amount of investment is increased, a more sophisticated component should improve the quality of the design.

Among the results obtained, the system allowed a monitoring of temperature and humidity, variables that are essential to the system; also, warning alarms are generated based on sharp increases in temperature and the envelope passage of a temperature value set. Finally, a record of temperature samples, to generate a record of acquired data was generated.

Keywords: Design, monitoring, components, temperature, TFT, prototype, alert, standards, system.

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales son impactados a través de varios factores, siendo el de mayor incidencia los incendios, los cuales alteran de manera considerable en magnitud e intensidad los ecosistemas forestales. En poco tiempo, una extensión de bosque puede desaparecer por completo o devastarse de forma considerable, afectando el suelo, flora, fauna, etc.

No todos los incendios forestales son iguales. Para determinar el impacto potencial de un incendio, se consideran diferentes aspectos básicos como la velocidad de propagación, la altura de las llamas, además de las diferentes condiciones que presenta el bosque o en un área determinada del mismo (Garnica & Flores, 2009). Estos aspectos son los que definen la intensidad del incendio que debe evaluarse. Las actividades humanas, son en la mayoría de los casos las causas para que estos se produzcan, sumado a condiciones climáticas no favorables, como altas concentraciones de materiales combustibles y una topografía accidentada.

En el Ecuador los incendios forestales producen grandes pérdidas cada año, ya sea por el impacto ambiental, forestal, en flora, fauna, economía, entre otros (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015). El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), cada época de verano es susceptible a la recurrencia de incendios forestales, teniendo consecuencias sobre áreas protegidas y su biodiversidad, afectación a los espacios de propiedad pública y privada de diferentes usos y sobre todo la afectación al bienestar de la población.

Dado que no se tienen trabajos similares en cuanto a sistemas de alerta contra incendios forestales, y las formas de gestión sobre este tipo de riesgos por parte de las autoridades correspondientes son aún limitadas, para mejorar la respuesta ante la presencia anual de estos eventos. Por este motivo, se pretende realizar el diseño de un sistema de alerta temprana basada en la determinación de presencia de humo, humedad y temperatura del ambiente, que permitan identificar y alertar el inicio de un incendio forestal.

Dada la cantidad de incendios forestales que se producen cada año en el DMQ, donde las cifras manejadas por el Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito (CB-DMQ), solo en el año 2015 se registraron 3300

eventos con un total de 3287,52 hectáreas quemadas. Siendo la temporada más propensa a nivel anual para los incendios, los meses de julio hasta octubre. En la zona de interfaz (rural), agrícola, bosques protectores y áreas naturales se tienen la mayor incidencia de los flagelos. Además de los costos institucionales por gastos de trabajo que incluye la mano de obra y operaciones para la atención de incendios forestales durante el año 2012 en el DMQ ascienden a un total de USD \$6'679,580.33 (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Los métodos para mitigar, controlar y alertar en el DMQ cuentan con una baja efectividad. Según el ECU-911, a pesar de que cuentan con el PLAN DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA, se indican falencias con respecto al monitoreo y formas de alertar el inicio de un flagelo, por lo tanto se requiere de un sistema de alerta, el cual es de gran necesidad para prevenir grandes pérdidas ambientales, económicas y sociales. Razón por la cual, se ha visto la necesidad de llevar a cabo el diseño de un sistema de alerta temprana para incendios forestales.

Se busca atenuar las pérdidas, y así poder evaluar la respuesta de operación de los diferentes agentes de socorro u operación. La rápida evolución tecnológica, la cantidad de hectáreas perdidas y la factibilidad económica en cuanto a los elementos que componen el desarrollo del proyecto, son un motivo para encontrar un método de alerta temprana frente a los incendios.

Previamente se realizó un análisis exhaustivo de información bibliográfica para determinar y valorar la situación referente, al proceso y sistema de alerta contra incendios forestales y, sobre las formas de operación frente a la mitigación de los incendios en la ciudad de Quito. Se tuvo contacto con los entes pertinentes como son: ECU-911, Cuerpo de Bomberos DMQ, Unidad de Espacio Público, Ministerio del Ambiente, Unidad de Investigación Contra Incendios, por nombrar algunos. Se determinó que no existe ningún mecanismo ni sistema efectivo, capaz de alertar este tipo de desastres en la ciudad (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

El diseño del sistema de alerta temprana se compone de una serie de sensores que al detectar humo, o una variación considerable de la

temperatura, se produce una alerta en la Universidad y así se puede tener comunicación con los entes respectivos de socorro. Con lo cual se mejorará en forma considerable el tiempo de respuesta para apagar los incendios; además, aumentará la eficiencia de operación y prevención frente a estos desastres. Al ser un prototipo, este será diseñado con una arquitectura modular y escalable para que pueda ser utilizado acorde a las necesidades del bosque que se desea proteger.

Se tiene como objetivo general del proyecto, el diseñar el prototipo de un sistema de alerta temprana contra incendios forestales aplicada a un caso de estudio en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

Mientras que entre los objetivos específicos se hallan:

- Establecer los requerimientos del diseño del sistema de alerta.
- Diseñar el prototipo del sistema de alerta temprana.
- Integrar los distintos elementos electrónicos en el prototipo.
- Establecer las especificaciones técnicas del prototipo.
- Validar el diseño del prototipo de alerta temprana contra incendios, a través de pruebas de validación del monitoreo de temperatura y humedad.

El desarrollo de éste prototipo se basará en la normativa de The National Fire Protection Association (NFPA), que son códigos y normas que se aplican en la industria de la protección contra incendios. El sistema diseñado permitirá alertar de manera oportuna y preventiva a los agentes de seguridad de la universidad, pudiéndose notificar a los entes correspondientes (ECU-911 y Bomberos DMQ) para que tomen las medidas pertinentes.

Se busca que el sistema pueda ser escalable para varios eventos de incendios, que se lo pueda aplicar ya sea en un bosque de igual o de mayores dimensiones, al igual que contenga similitud con el tipo de flora del bosque. Determinando los puntos de zonas de humo y calor, sirviendo como un trabajo de partida para nuevos diseños y soluciones a medida.

1.1. CAUSAS QUE ORIGINAN EL INCENDIO FORESTAL

El impacto que puede producir un incendio se lo evalúa en función de la relación entre la velocidad de propagación y la intensidad que genera, además de las diferentes condiciones que se presentan en el bosque. En la mayoría de los casos, los incendios forestales son causados por actividades humanas, además de condiciones climáticas desfavorables; topografía accidentada y alta concentración de materiales combustibles. Es poco frecuente la posibilidad de incendios forestales de forma “natural”, pero cuando estos ocurren son de alta intensidad debido a la acumulación de combustibles. Las causas que originan un incendio forestal se los agrupa de la siguiente manera (Garnica & Flores, 2009):

- ❖ Intencionales: las causas son variadas, siendo las más comunes la quema no autorizada, ilegal e incontrolada de superficies agrícolas, ya sea la quema agrícola o para la regeneración de pastos para el ganado. Además de la piromanía, tala ilegal o litigios. Más del 60% de los incendios forestales en Quito y otras zonas del país son intencionales (El Telégrafo, 2015).
- ❖ Negligencias: las quemas agrícolas no controladas, las colillas y hogueras mal apagadas, quema de basuras, trabajos forestales, uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales.
- ❖ Accidentales: rupturas de líneas eléctricas, accidentes aéreos, automovilísticos y ferroviarios.
- ❖ Naturales: la acción de un rayo o erupciones volcánicas.

Un incendio además posee de 3 fases, como se puede ver en la Figura 1:

- Iniciación: comienzo del incendio, en su mayoría producido por acción del humano.
- Propagación: extensión del incendio, debido a la vegetación cercana.
- Extinción: culminación del incendio, a través de labores de extinción por acción del humano.

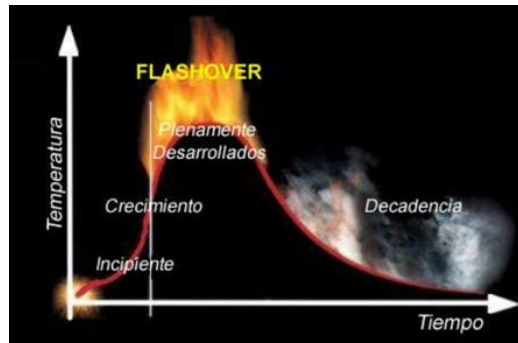


Figura 1. Las tres fases de un incendio.

(Bomberos de Navarra, 2012)

1.2. TEMPERATURA DE LA LLAMA

El valor de la temperatura de una llama se lo puede obtener teóricamente analizando el proceso de combustión en forma específica. Es decir, considerar el sistema de combustión, así como la mezcla de gases inflamables con el aire, y suponiendo que existen condiciones adiabáticas (no hay transferencia de calor desde o hacia el sistema); es posible a través de un balance de calor, calcular la temperatura que alcanzarán los gases en combustión es decir la llama, véase e.g. (Universidad Tecnológica de Pereira, 2014).

La temperatura obtenida será la denominada “temperatura adiabática de llama”, la cual tendrá un valor considerablemente más elevado que la temperatura correspondiente a un incendio real, dado que en éste las condiciones no son adiabáticas, debido a que existen pérdidas de calor y, además, a temperaturas elevadas los productos de reacción se disocian y absorben una parte de la energía (Centre d'Estudis del Risc Tecnològic, 2007).

Durante la temporada de incendios forestales una gran parte del material vegetal (combustible) en un bosque: ramas muertas, hojas de pino, troncos en descomposición, etc. Contienen poca humedad, por lo que se puede incendiar fácilmente. La temperatura necesaria para que se enciendan los combustibles forestales varía entre 260 - 400 °C, aunque esto depende de la humedad que poseen los combustibles.

En la zona de incineración se alcanzan temperaturas sobre los 400 °C. La temperatura varía en la superficie del suelo dependiendo del material

quemado, su naturaleza (hojas, ramas, tallos), grado de humedad, a las condiciones de viento (dirección y velocidad) y las condiciones del suelo (contenido de humus, grado de humedad). La exposición, inclinación y longitud de la pendiente y la superficie quemada son otros factores que influyen en la temperatura que se alcanza en el suelo y el aire. Durante un incendio en la parte más caliente se han registrado temperaturas de 1150 °C (Universidad Autónoma De Nuevo León, 2010).

1.3. FORMAS DE PROPAGACIÓN DEL CALOR

El calor se puede propagar de tres formas. La Figura 2 muestra los tipos de propagación del calor en un incendio forestal (Bomberos de Navarra, 2012):

- Convección: El calor es transportado por el aire y humo, se transmite por fluido en movimiento. Se mueve por la diferencia de densidad (aire caliente sube y aire frío desciende).
- Radiación: El calor se transmite por ondas, del sol y de la llama.
- Conducción: El calor fluye desde un cuerpo a otro a través del contacto con otro cuerpo.

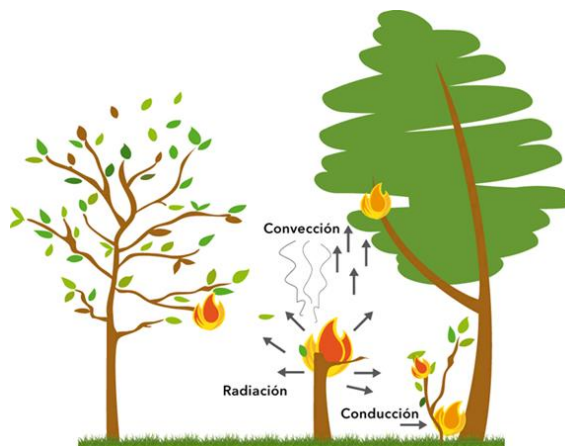


Figura 2. Tipos de propagación de calor.

(Garnica & Flores, 2009)

1.4. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO FORESTAL

La topografía es el conjunto de las características que presenta la superficie o el relieve de un terreno. Todos los incendios forestales se producen bajo la

influencia de tres factores, a la que se denomina como “La Gran Triada” que la integran: combustible, tiempo atmosférico (clima) y la topografía. Siendo la topografía uno de los componentes con mayor influencia en el comportamiento del fuego (Bomberos de Navarra, 2012). Se puede visualizar La Gran Triada en la Figura 3.

La percepción que una persona puede tener de la temperatura es conocida como sensación térmica, la cual es el calor o frío que se puede sentir. Esta sensación depende de dos variables meteorológicas como el viento y la humedad. Donde el viento se asocia a la sensación de frío y la humedad a la sensación de calor. Es decir, cuando el aire se encuentra lleno de humedad, no permite la transpiración con lo que se siente mayor calor.

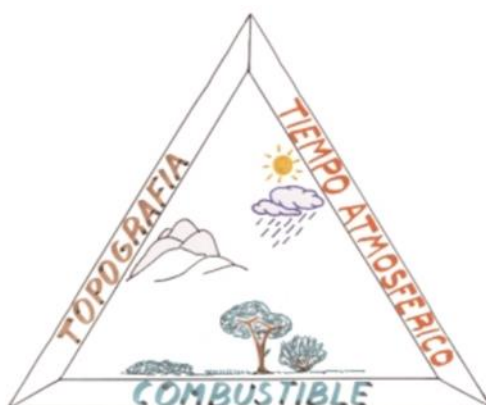


Figura 3. La Gran Triada.
(Garnica & Flores, 2009)

Cuanta más alta sea la temperatura, mayor es la cantidad de humedad que puede mantener el aire.

El punto de rocío es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo una nube o neblina o, en caso que la temperatura sea lo suficientemente baja, produce escarcha.

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, comparado con la máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede mantener a la misma temperatura. Cuando el aire no puede contener toda la humedad, entonces se condensa como rocío. La cual se la calcula de la siguiente manera [1]:

$$\begin{aligned} \text{Humedad Relativa} &= \frac{\text{Presion Vapor de Agua}}{\text{Presion de Saturacion Vapor de Agua}} * 100 \\ &= \frac{\text{Densidad de Vapor de Agua}}{\text{Densidad de Saturacion de Vapor de Agua}} * 100 \end{aligned} \quad [1]$$

A continuación se detalla en tablas las formas y comportamientos del fuego. En la Tabla 1, se trata sobre las temperaturas del fuego, las formas de propagación del calor y el comportamiento del fuego forestal. La influencia de la topografía en el tiempo atmosférico se describe en la Tabla 2. En la Tabla 3, se detalla la influencia de la topografía en las variaciones del tiempo atmosférico durante el día. La Tabla 4, especifica el comportamiento del incendio en base a la topografía. La ultima Tabla 5, expone la influencia climatológica en el comportamiento del fuego.

Tabla 1. Características y comportamiento del fuego forestal.

Formas de Propagación del Calor	<u>Convección:</u> Transportación del calor por medio del movimiento del fluido.	<u>Radiación:</u> Propagación de energía en forma de ondas hacia otro objeto.	<u>Conducción:</u> El calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura en contacto.
Temperaturas	260-400 °C Para encender combustibles	400 °C Mínima para la combustión	1150 °C Máxima de incineración
Comportamiento del Fuego Forestal	La Gran Triada: -Combustible - Topografía -Clima (tiempo atmosférico)		

Los vientos locales, como se indican en la Figura 4 son los que se forman por las diferencias de presión que son generadas por las brisas térmicas, las cuales se deben a la existencia de 2 medios diferenciados con temperaturas contrastadas como: la tierra y el mar o las cumbres y los valles de las montañas.



Figura 4. Influencia del viento en el día y en la noche.
(Organización Panamericana de la Salud, 2009)

Si se tiene una pendiente pronunciada, es el principal factor para que se acelere la propagación del calor por radiación, como se observa en la Figura 5. Las causas principales son:

- Los combustibles están más cerca de las llamas.
- Es más rápido el precalentamiento del combustible.
- Aumenta la velocidad del viento.
- Se produce rápidamente una columna de humo por convección (transporte de calor por medio del movimiento de un fluido).

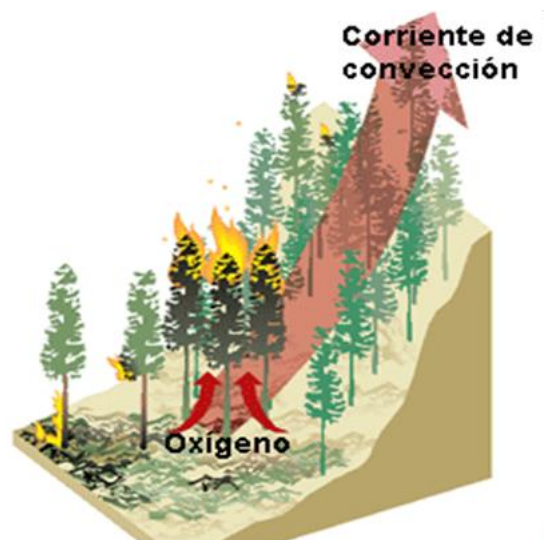


Figura 5. Corrientes de convección que resecan el combustible ladera arriba.
(Bomberos de Navarra, 2012)

Las laderas se dividen en 3 zonas, como se muestra en la Figura 6:

- Tercio inferior, incluye el valle. Las temperaturas son más altas y donde generalmente se encuentra mayor cantidad de combustible. Alta intensidad del fuego.
- Tercio intermedio. Menor cantidad de combustible, pero con posibilidad de formación de un cinturón intermedio.
- Tercio superior. Propagación más lenta por menor disponibilidad de combustible. Resulta a veces la zona más conflictiva porque es donde ocurren cambios bruscos debido al viento.

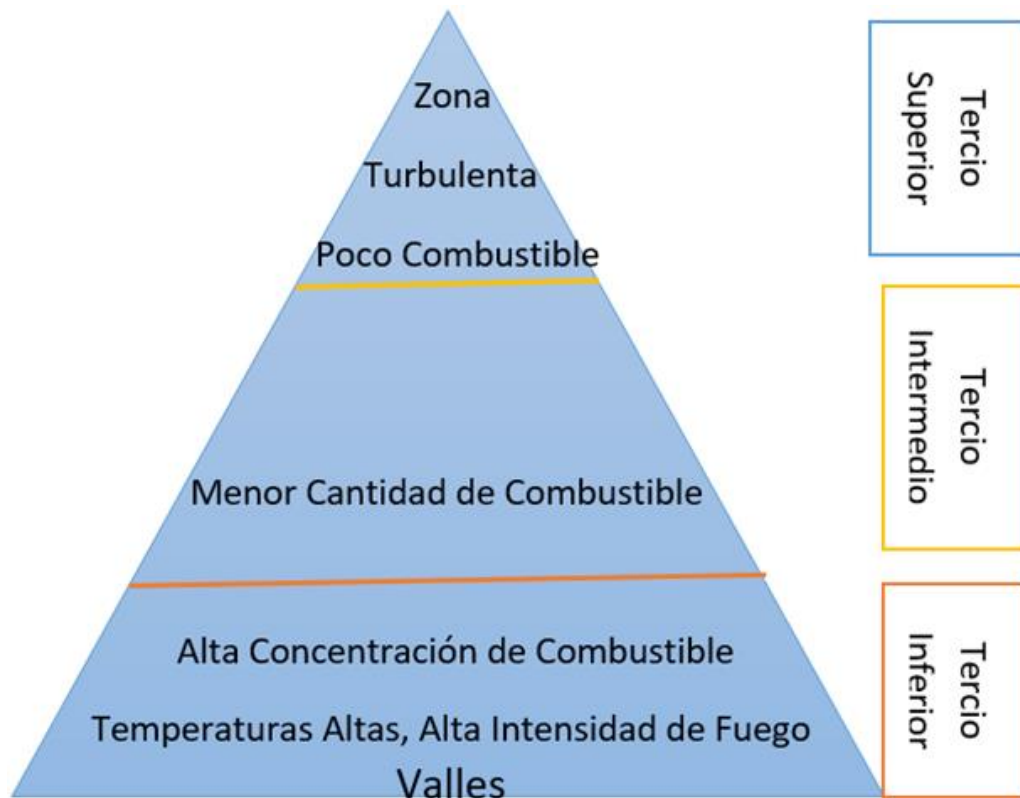


Figura 6. Las tres zonas de una ladera

Tabla 2. Influencia de la topografía en el tiempo atmosférico.

<p>Influencia de la Topografía en el Tiempo Atmosférico</p>	<p><u>Humedad Atmosférica:</u> Mientras más alta es la temperatura, mayor cantidad de humedad se encuentra en el aire.</p>	<p><u>Temperatura:</u> En la parte baja del aire, se encuentra más comprimido, más denso y a mayor temperatura. A medida que aumenta la altura, disminuye la temperatura del aire.</p>	<p><u>Viento:</u> - Viento Local: se forma por la diferencia de presión generada por 2 medios diferentes: tierra y mar, cumbre y valle. - Viento de Foehn: es un viento húmedo que sopla hacia la cordillera y desciende al otro lado de la montaña cálido y seco. -Vientos Ascendentes: 13-19 (km/h). -Vientos Descendentes: 1-8 (km/h).</p>	<p><u>Factores Topográficos y Tiempo Atmosférico:</u> -Altitud: a mayor altitud de la cordillera, mayores precipitaciones. -Exposición: Laderas con orientación solana¹ tienen mayor temperatura, menor humedad relativa y menos cantidad de agua que las laderas con orientación de umbría. -Relieve: terrenos montañosos presentan la máxima fricción a los vientos y obstaculizan su movimiento. -Pendiente: los cañones y chimeneas volcánicas de fuerte pendiente son origen de vientos ascendentes intensos.</p>
--	--	--	---	---

En incendios en fondo de los valles, puede producirse una gran combustión de forma lenta durante la noche a causa de la inversión térmica. Los gases y aire caliente quedan atrapados por el cinturón térmico. Los combustibles se calientan, pero les falta oxígeno para arder. Una ruptura de la inversión térmica a media mañana puede producir una situación explosiva (Bomberos de Navarra, 2012). La Figura 7 muestra la inversión térmica, la misma que es una capa de aire caliente y estática, situada entre 2 capas más frías. La capa más caliente, es la que se denomina cinturón térmico y se suele situar a 2/3 del fondo del valle.

¹ Laderas con mayor exposición al sol, reciben y están orientadas hacia el sol.

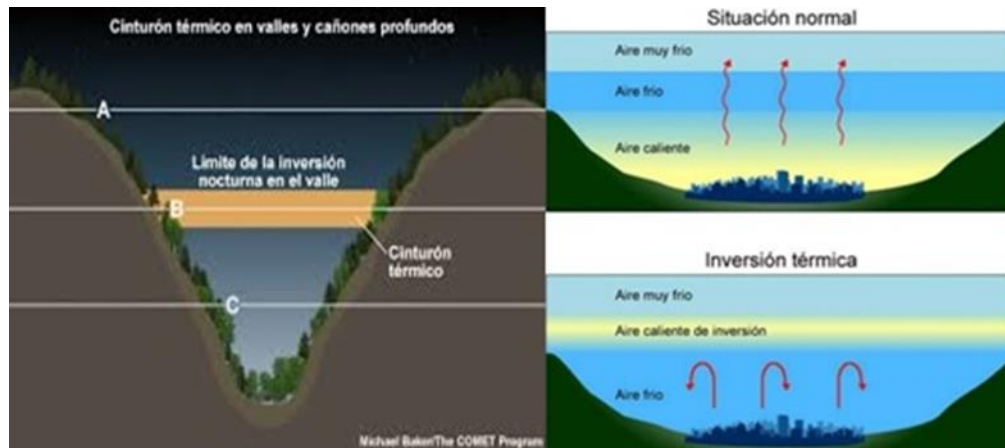


Figura 7. Cinturón térmico e inversión térmica.
(Organización Panamericana de la Salud, 2009)

Tabla 3. . Influencia de la topografía en las variaciones del tiempo atmosférico en el transcurso del día.

<p>Influencia de la Topografía en las Variaciones del Tiempo Atmosférico en el Transcurso del Día</p>	<p>Al momento que cambia la posición del sol, varía la temperatura, humedad relativa, contenido de humedad de los combustibles y, la velocidad y dirección de los vientos locales.</p>	<p>La Inversión Térmica: es una capa de aire caliente y estática que forma una especie de techo o tapón, situada entre 2 capas más frías, frenando los movimientos ascendentes de la atmosfera. El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando en las noches despejadas, el suelo se enfría rápidamente por radiación. El suelo a su vez enfría el aire en contacto con él que se vuelve más frío y pesado que el que está en la capa inmediatamente superior.</p>	<p>El Cinturón Térmico es la capa más caliente de aire, situada a 2/3 del fondo del valle. Tiene un promedio más alto de temperatura y un promedio más bajo de humedad. Se produce en los días y noches despejadas.</p>
--	--	---	---

Cuando sopla el viento en una sola dirección, el perímetro del incendio se asemeja a una elipse, cuyo eje mayor es paralelo a dicha dirección. Mientras

que cuando el viento es variable, se extiende y varía con la dirección del viento. En la Figura 8 se puede apreciar este fenómeno.



Figura 8. Contorno de un incendio en función de la dirección del viento.
(Bomberos de Navarra, 2012)

La influencia de la humedad en la propagación del fuego tiene efectos más atenuados que los del viento o la pendiente. La Figura 9 muestra vegetales leñosos que tienen la tendencia de buscar el estado de equilibrio de humedad con el medio circundante, teniendo en cuenta que su resistencia a ser quemados se encuentra en función del agua que contienen.

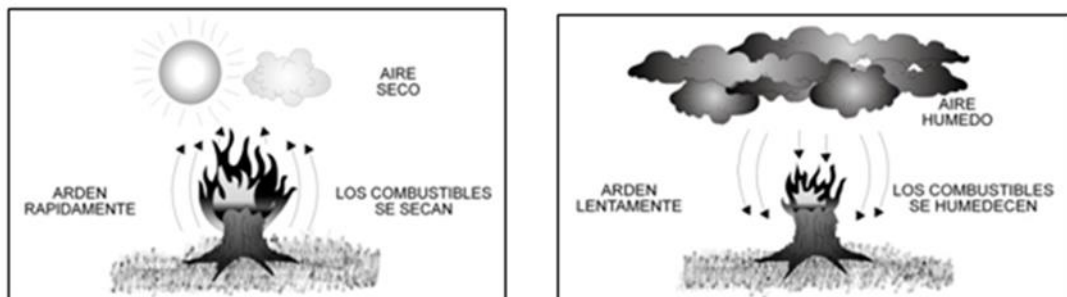


Figura 9. Efectos de la humedad sobre los combustibles.
(Bomberos de Navarra, 2012)

Teniendo en cuenta el proceso de combustión:

- Combustibles secos arden más de prisa dado que pueden pasar más rápido sobre los 200 °C.
- Si el aire es seco, la combustión es más rápida, debido a que absorbe el vapor de agua desprendido por el combustible (Bomberos de Navarra, 2012).

Tabla 4. Comportamiento del incendio como consecuencia de la topografía.

<p>Comportamiento del incendio como consecuencia de la topografía</p>	<p><u>Pendiente:</u> -Los combustibles están más cerca de las llamas. -Mayor rapidez en el precalentamiento del combustible. -Aumenta la velocidad del viento. -Se produce una columna de convección (transporte de calor por medio del movimiento de un fluido).</p>	<p><u>Altitud:</u> Las laderas se dividen en 3 zonas: -Tercio Inferior: incluye el valle, se tienen temperaturas más altas y mayor intensidad de fuego; es el lugar donde se encuentra mayor cantidad de combustible. -Tercio Intermedio: Menor cantidad de combustible pero con posible formación de un cinturón térmico. -Tercio Superior: Puede resultar la zona más conflictiva porque es donde ocurren cambios bruscos debido al viento. Propagación más lenta por menor disponibilidad de combustible.</p>	<p><u>Exposición:</u> Existe mayor propagación en solana que en umbría² debido a la diferente cantidad de combustible y diferencias de humedad.</p>	<p><u>Relieve:</u> -En incendios en el fondo de los valles, se produce una gran combustión de forma lenta durante la noche, a causa de la inversión térmica. Los gases y aire caliente quedan atrapados por el cinturón térmico. Donde los combustibles se calientan, pero les falta oxígeno para arder. -En cumbres con gran pendiente, se puede producir remolinos y turbulencias a sotavento. -Cuando el viento sigue el sentido de las quebradas o cañones, pueden producirse remolinos.</p>
--	---	--	---	---

² Laderas con menor exposición al sol, están orientadas a espaldas del sol, en la zona de sombra.

Tabla 5. Influencia de la climatología en el comportamiento del fuego forestal.

	<u>Influencia de la Temperatura:</u>	<u>Influencia del Viento:</u>	<u>Influencia de la Humedad:</u>
Influencia de la Climatología en el Comportamiento del Fuego Forestal	En los meses de verano, entre el medio día y primeras horas de la tarde, se tiene una temperatura elevada y persistente, lo cual provoca una desecación progresiva de la vegetación que puede alcanzar extremos de sequía y la aparición de corrientes de aire que se elevan desde el suelo caliente.	-Aporta oxígeno a la combustión. -Aproxima las llamas a los árboles que aún no se queman. -Desplaza chispas a zonas del monte, dando origen a nuevos focos.	-Si el aire es seco, la combustión es más rápida, debido a que absorbe el vapor de agua desprendido por el combustible. -Combustibles secos arden más de prisa, dado que pueden pasar más rápido los 200 °C

1.5. NORMATIVA INTERNACIONAL CONTRA INCENDIOS FORESTALES

La normativa utilizada y vigente frente a los incendios forestales, es la impartida por The National Fire Protection Association (NFPA), la cual es la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. Es una organización global sin fines de lucro, establecida en 1896 en Estados Unidos, encargada de crear y mantener las normas frente a la eliminación de muertes, lesiones, propiedad y pérdidas económicas debido al fuego, eléctrico y peligros relacionados, uso de medios de protección contra incendios. Esta normativa es utilizada tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad física de las personas.

Mediante la edición 2016 de la normativa NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code (Codigo Nacional de Alarmas de Incendio y señalización) se ha desarrollado una nueva ruta, designada como circuito “Clase N”, permitiendo el uso de una red de datos y Ethernet para interconectar los componentes de un sistema de alarma contra incendios. Incluye Sistemas de Notificación Masiva, el cual es Mass Notification Systems (MNS), el cual es un

sistema de comunicación unidireccional que difunde información de emergencia en un área, vía audible, visual o mensaje de texto (SMS).

La ruta de "Clase N" tiene el objetivo de compensar los problemas que se pueden presentar con métodos tradicionales de cableados, dado que no se puede cumplir con todos los seguimientos de fallos; es por esto que se emplea el uso de la red Ethernet. Los sistemas de detección y alarma de incendios de acuerdo con la normativa NFPA 70 y 72, deben estar integrados por:

- a) Central de detección y alarma, es el panel de control principal del sistema, el cual debe reflejar la zona afectada mediante señales visuales y acústicas en el caso de activación de uno o más elementos de detección.
- b) En caso de que la central de detección y alarma no se encuentren permanentemente monitoreadas, la central debe situarse en un lugar de riesgo nulo, es decir en el cual se tenga poco peligro en el caso de sabotaje e incendio. De igual manera la central debe transmitir una señal visible y audible a todo el edificio.
- c) Todos los puestos de control fijos deben estar conectados a la central de detección y alarma.
- d) Los detectores deben ser utilizados dependiendo del tipo y el lugar, adicionalmente deben contar con un certificado otorgado por un organismo oficial reconocido.
- e) En caso de un corte energía, el sistema debe permanecer encendido mediante un sistema alternativo al menos 24 horas en modo de espera o stand-by, en estado de alarma debe permanecer encendido al menos treinta minutos.
- f) Las señales que procedan de todos los elementos conectados a la central de detección y alarma de incendios deben diferenciarse independientemente, es decir que cada una enviará una señal que será visualizada en el panel central de detección y alarma (Aguayo, 2015).

1.6. DISPOSITIVOS Y SISTEMAS DE ACCIÓN CONTRA INCENDIOS

El funcionamiento de un sistema de alarma se basa en indicadores como el humo, calor y humedad. Los dispositivos especiales miden e interpretan las señales que son detectadas por los indicadores, proporcionando un pulso eléctrico que permita a un panel central generar una señal de alerta a los usuarios.

Entre los diferentes elementos que comprenden un sistema de alarma y detección de incendios se tienen:

- Unidad matriz de control o central de procesamiento.
- Fuente de energía primaria y secundaria (baterías o generadores).
- Elementos de entrada y activación de alarma (detectores de humo y calor, estaciones manuales, pulsadores de emergencia, detectores de gas, entre otros).
- Elementos de salida (sirenas, luces estroboscópicas, altavoces, aspersores).
- Sistema de comunicación (internet, celular, telefonía convencional).

1.6.1. TIPOLOGÍA DE SISTEMAS

❖ Convencional

Son sistemas que están compuestos por dispositivos que cumplen con características requeridas sin un panel de control que especifique el lugar o la zona (entrada que tiene el panel para colocar uno o varios detectores) donde se genera la alarma. Está constituido por dispositivos iniciadores y anunciadores, puede ser un sistema de alarmas de robo adaptado a sistemas contra incendios.

❖ Inteligente

Es aquel que se halla compuesto por un panel central, el cual permite identificar el lugar o la zona dónde se origina la alarma del incendio. Produce la alarma correspondiente a los dispositivos anunciadores y utiliza dispositivos programables que pueden ser usados para activar bombas, ventiladores, etc. Presentan dos modos básicos de funcionamiento los sistemas inteligentes: modo de programación y modo de operación.

- El modo de programación es el que facilita al usuario para detectar los dispositivos que se encuentran conectados al lazo de comunicación, ya sean iniciadores o anunciadores; luego se guarda la información necesaria sobre la ubicación y relación que exista entre estos dispositivos, es decir indicar si pertenecen a una misma zona de monitoreo o alarma.
- El modo de operación abarca tres posibilidades: alarma, supervisión y problema. El cual se analiza en la Sección 1.6.1.1. Tipos de Señales del presente capítulo.

1.6.1.1. TIPOS DE SEÑALES

Un sistema de alerta de fuego puede proveer de tres tipos de señales: alarma, supervisión y problema.

- Una señal de supervisión o de operación normal, es cuando el sistema no muestra problemas ni alarmas, el cual tiene un indicador visual de que la sistematización se encuentra operando de forma correcta.
- Una señal de alarma durante la operación, es una advertencia de peligro de fuego que requiere una acción inmediata. Se identifica el lugar donde se originó la señal y las zonas afectadas mediante un panel indicador del evento ocurrido.
- Una señal de problema, indica un desperfecto en un componente de un circuito monitoreado del sistema de alerta de fuego, o el desajuste de la fuente de energía primaria o secundaria. (National Fire Protection Association, Inc, 2003). Los problemas que se presentan en un sistema pueden tener distintas causas: daño en el lazo de control, mal funcionamiento de los sensores, error en la comunicación, falta de mantenimiento, etc.

1.6.2. CIRCUITOS EN UN SISTEMA DE ALARMA DE FUEGO

En este tipo de sistemas se cuentan con tres sistemas básicos de circuitos:

- 1) Initiating Device Circuits (IDC), también conocido como Circuitos de Dispositivos de Iniciación, conecta las alarmas de fuego convencionales (no direccionables) y dispositivos de iniciación de supervisión al sistema de unidad de control.

- 2) Notification Appliance Circuits (NAC) conocido como Circuitos de Dispositivos de Notificación, los cuales conectan dispositivos de notificación, ya sean estos audibles o visuales, a la unidad del sistema de control.
- 3) Signaling Line Circuits (SLC) se refiere a Circuitos de Línea de Señalización, se utiliza para definir circuitos sobre los que toman dos vías de comunicación. Esta comunicación puede tener relación entre un dispositivo direccionable y la unidad del sistema de control, o la unidad del sistema de control y la conexión fuera de las instalaciones, como una estación central o una estación remota. Se produce la comunicación entre el panel de control, los módulos de monitoreo direccionables y los dispositivos de control.

1.7. INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El histórico de afectación de superficie comprometida en los incendios forestales como se puede observar en la Figura 10, indica la variación que existe entre los diferentes años analizados, desde el año de 1997 hasta 2014, con relación al número de hectáreas quemadas. Se puede apreciar los picos altos de superficies afectadas en los años 2001 y 2012.



Fuente: Estadísticas CBDMQ – Sala de Situación Metropolitana

Figura 10. Estadística superficial afectada de incendios forestales.
(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

Como noción general hay que tener en cuenta que el fuego tiene una clasificación de eventos registrados, en base a la extensión de superficie afectada, como se indica a continuación (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

- **Quema:** es el fuego que se propaga sin control y/o límite preestablecido, consumiendo combustibles como basuras, elementos de madera, pastos y otros residuos vegetales producidos en actividades agrícolas, pecuarias y forestales.
- **Incendio forestal:** es el fuego que se extiende sin control en terreno forestal afectando a combustibles vegetales. Superficie de afectación Mayor a 0,5 hectáreas.
- **Conato:** fuego que consume material vegetal como combustible principal y la superficie de afectación es menor a 0,5 hectáreas.

Las quemas, los conatos y los incendios forestales, han sido reportados en un 75,7% por la ciudadanía, 17,7% por rutas de vigilancia, 1,7 % por cámaras de video vigilancia, 1,7% por personal de Policía Metropolitana, 1,2 % por brigadas de respuesta para incendios forestales, 1,2% personal del Cuerpo de Bomberos de Quito y 0,9% por torres de observación.

Según el Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015, el tiempo promedio entre la llamada y el despacho es de 0:01:57 minutos y el tiempo promedio entre el despacho y el arribo es de 0:09:00 minutos, teniendo así un tiempo promedio de respuesta de 0:10:57 minutos.

El comportamiento acumulado anual se indica en la Tabla 6, desde el año 2012 hasta la fecha del corte 12 de octubre de 2015, se identifica un alto incremento existente entre el número de eventos durante los planes de prevención y propagación de incendios forestales (PPRIF) frente a los años de estudio 2012, 2013 y 2014. Se debe tomar en cuenta que el año 2012 fue la época considerada de mayor afectación en los últimos años. La Figura 11 muestra el mapa de incendios en magnitud de hectáreas en Quito.

Tabla 6. Comportamiento acumulado anual de eventos.

Mes	2012			2013			2014			2015		
	Numero de eventos	Area quemada		Numero de eventos	Area quemada		Numero de eventos	Area quemada		Numero de eventos	Area quemada	
		Mts ²	Hectareas 2012		Mts ²	Hectareas 2013		Mts ²	Hectareas 2014		Mts ²	Hectareas 2015
Julio	665	2.304.381,00	230,50	508	1.963.295,00	196,33	303	481.440,00	48,15	562	794.763,00	79,48
Agosto	1021	5.621.515,02	562,16	528	1.915.299,44	191,53	599	4.347.045,50	434,71	1361	8.281.635,00	828,16
Septiembre	680	40.824.704,00	4.082,40	509	2.870.933,20	287,10	320	1.319.924,00	132,00	1162	23.596.799,00	2.359,68
Octubre	58	68.221,00	6,83	110	1.932.026,00	193,20	48	199.282,00	19,93	245	202.001,00	20,20
Total	2424	48.818.821,02	4.881,89	1655	8.681.553,64	868,16	1270	6.347.691,50	634,79	3330	32.875.198,00	3.287,52

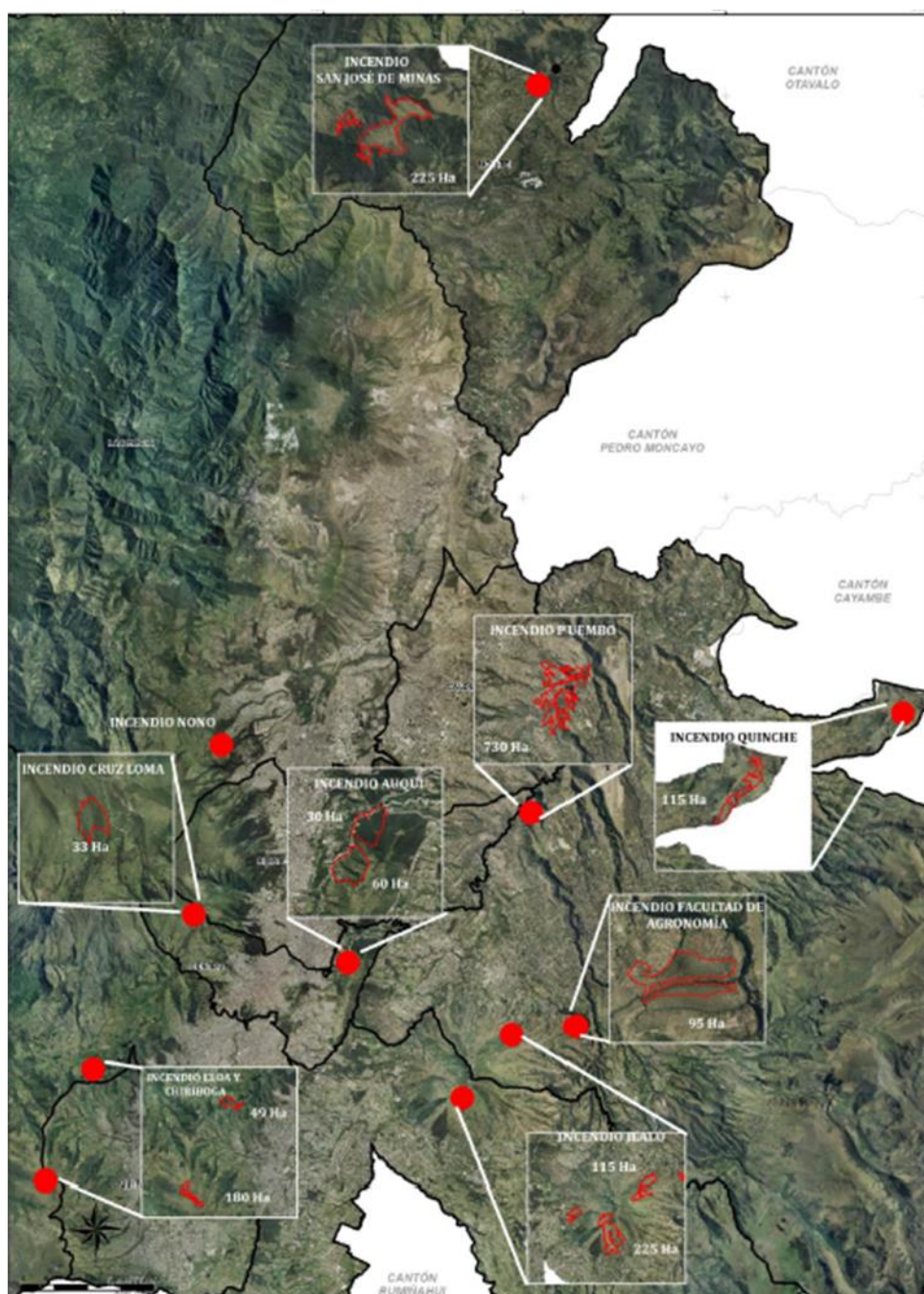


Figura 11. Mapa de incendios de magnitud de hectáreas 2015.
(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

1.7.1. ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE EVENTOS

El escenario climático puede ser resumido por el Índice de Peligro de Propagación de Incendios Forestales (IPPIF) donde se determina la probabilidad de inicio de incendios forestales y el posterior comportamiento del fuego; el cual mide el grado de peligro que incluye las siguientes condiciones:

- Velocidad de viento
- Temperatura
- Días sin lluvias

La Figura 12 muestra los meses con condiciones extremas IPPIF en los años 2012 y 2013, los cuales son los comprendidos entre los meses de junio y septiembre, en donde se puede evidenciar una disminución de las condiciones extremas a partir de finales de septiembre debido a la existencia de precipitaciones.

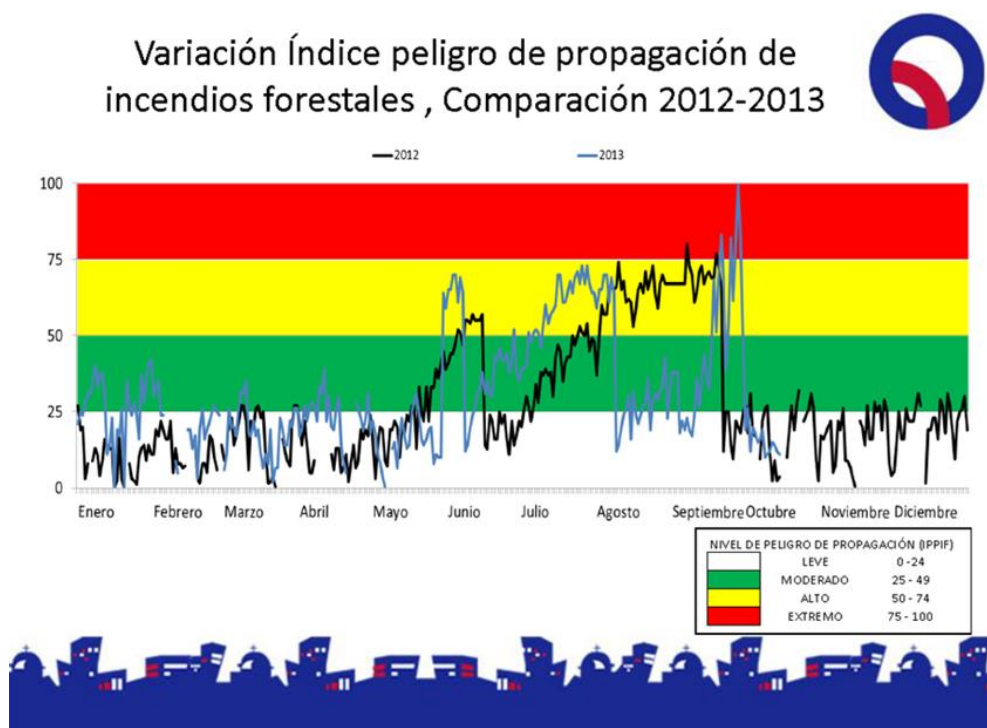


Figura 12. Índice de propagación de incendios forestales 2012-2013.

(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

La incidencia de eventos consiste en la identificación de sectores con acumulación de eventos por cada km² de superficie y se lo realiza a partir de la base de datos con que cuenta la Central de Emergencia (ECU-911).

Se han determinado cuatro niveles de incidencia de eventos de incendios por kilómetro cuadrado y el nivel de peligro de propagación de los incendios (IPPIF) que son:

- Niveles

1 – 2 Eventos/km ² (Leve: 0-24 IPPIF)	
3 – 5 Eventos/km ² (Alto: 50-74 IPPIF)	
6 – 7 Eventos/km ² (Moderado: 25-49 IPPIF)	
8 – 11 Eventos/km ² (Extremo: 75-100 IPPIF)	

Los valores del IPPIF registrados en las estaciones de monitoreo, confirman el incremento antes mencionado, concretamente en los sectores de Carapungo y Belisario el índice alcanzó el nivel “extremo” principalmente debido a la ausencia de lluvias, temperaturas relativamente altas y bajo contenido de humedad en el aire (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

La Figura 13 indica cómo ha sido la variación del IPPF durante los meses del año 2015, donde Carapungo tiene el índice más alto. Mientras que la Figura 14 presenta un reporte de los eventos registrados durante el año 2013.

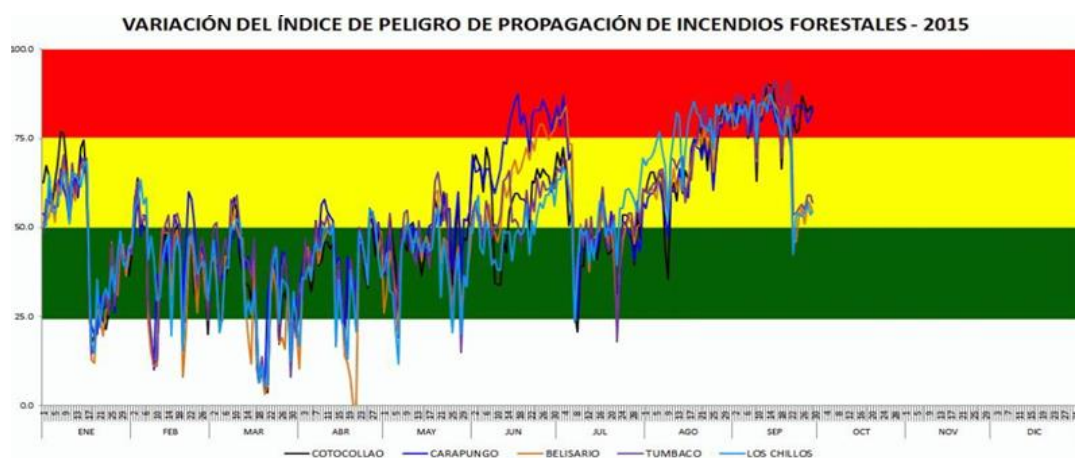


Figura 13. Índice de peligro de propagación de incendios forestales 2015.
(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

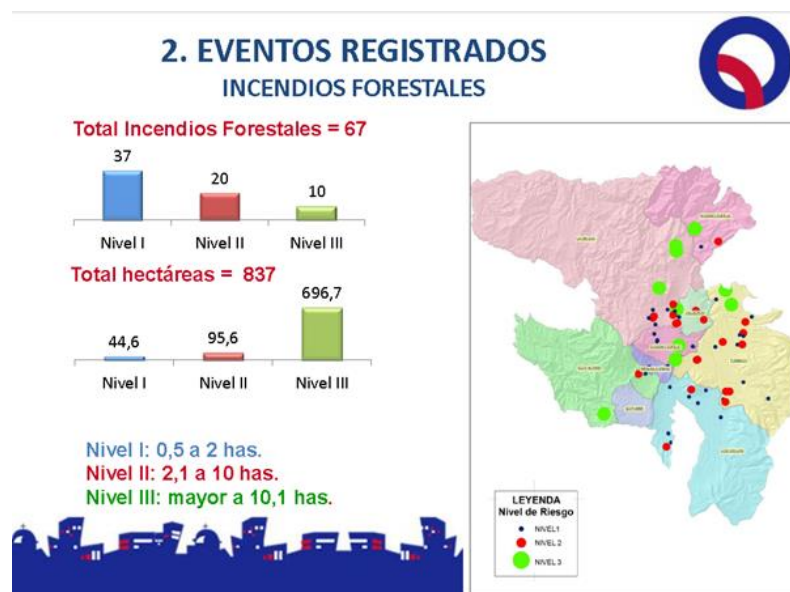


Figura 14. Eventos registrados 2013.

(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

En cuanto al tipo de cobertura vegetal afectada por los incendios forestales se cuenta con un estudio realizado por la Secretaría de Ambiente en el año 2012, donde se identifican claramente los impactos al medio ambiente, siendo los pastos la mayor área quemada con 1.128,10 hectáreas, los arbustos húmedos con 990,91 hectáreas y arbustos secos con 606,33 hectáreas afectadas; como se indica en la Tabla 7 (Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Tabla 7. Cobertura vegetal del DMQ

Tipo de Cobertura Vegetal	Área Afectada [ha]	Superficie de ocupación de la clase en el DMQ	Porcentaje de cobertura vegetal afectada [%]
Arbustos húmedos	990,91	46525	2,13
Arbustos secos	606,33	36690	1,65
Bosques húmedos	492,74	124595	0,40
Bosques secos	16,74	722	2,28
Cultivos	439,03	36687	1,20
Herbazales húmedos	463,89	45211	1,0
Herbazales secos	267,78	2665	0,73
Infraestructura	11,17	24732	0,05
Pastos	1128,10	50425	2,24
Suelos desnudos de origen antrópico	31,83	2210	1,44
Vegetación cultivada coníferas	12,57	1524	0,82
Vegetación cultivada latifoliadas	420,90	7743	5,44
TOTAL	4882,16	-	1,15

(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

1.8. PLAN DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA

El Plan de Prevención y Respuesta para Incendios Forestales del Distrito Metropolitano de Quito 2015 (PPRIF) tiene como propósito afrontar eficientemente la gestión de los incendios forestales, con el fin de reducir la magnitud, frecuencia y efectos negativos que se han presentado en los últimos años.

El PPRIF contempla en su estructura un componente general donde se define el objetivo, marco legal, cobertura y actores que participan en la prevención y respuesta a incendios forestales en el DMQ, además se establecen capítulos que componen el PPRIF como se indica a continuación:

- Componente 1: Análisis de la amenaza de incendios forestales.
- Componente 2: Líneas estratégicas para la prevención, mitigación y preparación ante incendios forestales.
- Componente 3: Líneas estratégicas para el monitoreo y alerta.
- Componente 4: Líneas estratégicas para la preparación de la respuesta.
- Componente 5: Respuesta ante incendios forestales.
- Componente 6: Recuperación.

El PPRIF ha sido elaborado con participación de las instituciones involucradas en la prevención, mitigación, monitoreo, alerta y respuesta a incendios forestales y en coordinación de la Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad del DMQ. Entre las cuales están:

- Cuerpo de Bomberos del DMQ
- Policía Metropolitana del DMQ
- Policía Nacional
- Fuerzas Armadas
- Servicio Aero policial
- ECU-911 Quito
- Dirección Provincial de Salud
- Empresa Pública de Parques y Espacio Público
- Entre otras entidades

Dentro de la información más relevante que se encuentra en el PPRIF se tienen los puntos que se muestran seguidamente:

- ❖ La mitigación consiste en implementar acciones para disminuir el material combustible, controlar la propagación de los incendios forestales y reducir el área quemada, mediante la implementación de acciones tales como el desbroce³, líneas cortafuego.
- ❖ El control preventivo está orientado a contribuir a la generación de un cambio de conducta en la población sobre sus acciones y las consecuencias legales para quienes provocan incendios forestales, sean accidentales o deliberados, a través de la transmisión del marco legal que castiga estas acciones.
- ❖ Se tiene el monitoreo de condiciones climáticas que consiste en el cálculo diario del IPPF, en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito, en base a la lectura de las variables climáticas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) y días con y sin lluvias consecutivos.
- ❖ Definición y manejo de niveles de alerta, se refiere a los niveles de alerta para incendios forestales que se deben declarar en cada sector susceptible, en base a su Índice de Peligrosidad para la Propagación de Incendios Forestales. Estos niveles de alerta definen las actividades humanas que se deben restringir o prohibir para evitar los conatos de incendios forestales.
- ❖ Vigilancia y detección de conatos de incendios forestales, engloba todas las actividades de vigilancia de sectores susceptibles a incendios forestales para la detección temprana y control de conatos de incendios forestales, con el fin de evitar su propagación e implementar las restricciones o prohibiciones de actividades humanas.
- ❖ Organización de la respuesta, consiste en mejorar los mecanismos de organización interinstitucional, capacitación y entrenamiento del

³ Eliminación de la vegetación tales como: maleza, espesura de arbustos y plantas bajas; en terrenos no cultivados o descuidados de un área natural, terreno o camino.

personal de apoyo que en conjunto con el Cuerpo de Bomberos del DMQ, realizará el control y la extinción de incendios forestales.

- ❖ Seguimiento y monitoreo de las operaciones, consiste en establecer una línea de comunicación mediante la frecuencia asignada para las telecomunicaciones operativas. El Centro de Operaciones de Emergencia Metropolitano (COE) a través de la Sala de Situación Metropolitana tiene un protocolo de operatividad a través de un flujo de la información.
- ❖ En el flujo de la información, el proceso de información iniciará con el reporte del incendio a través de una llamada telefónica al ECU-911, o a través de la comunicación vía radio por las frecuencias asignadas para la temporada de incendios forestales (torres de observación, motorizados e instituciones de respuesta), y fluirá como se muestra en la Figura 15.

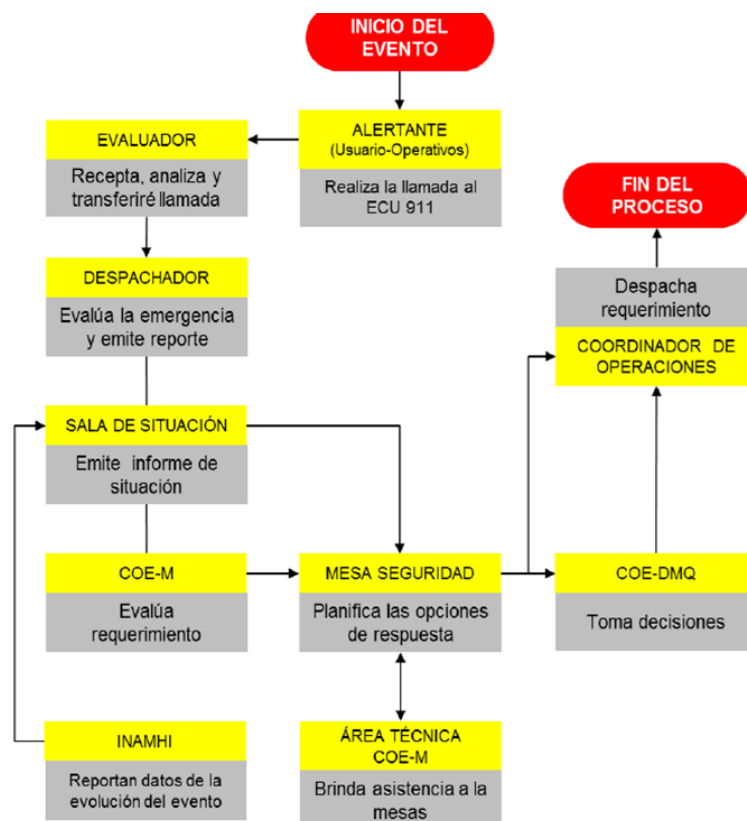


Figura 15. Flujo de la operación ante un evento.
(Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

La metodología de diseño de sistemas utilizada para describir la integración completa entre los sistemas mecánicos, electrónicos, de control e ingeniería informática. En esta metodología se tiene un enfoque interdisciplinario en sinergia para el diseño en ingeniería. La Figura 16 muestra la metodología a seguir.

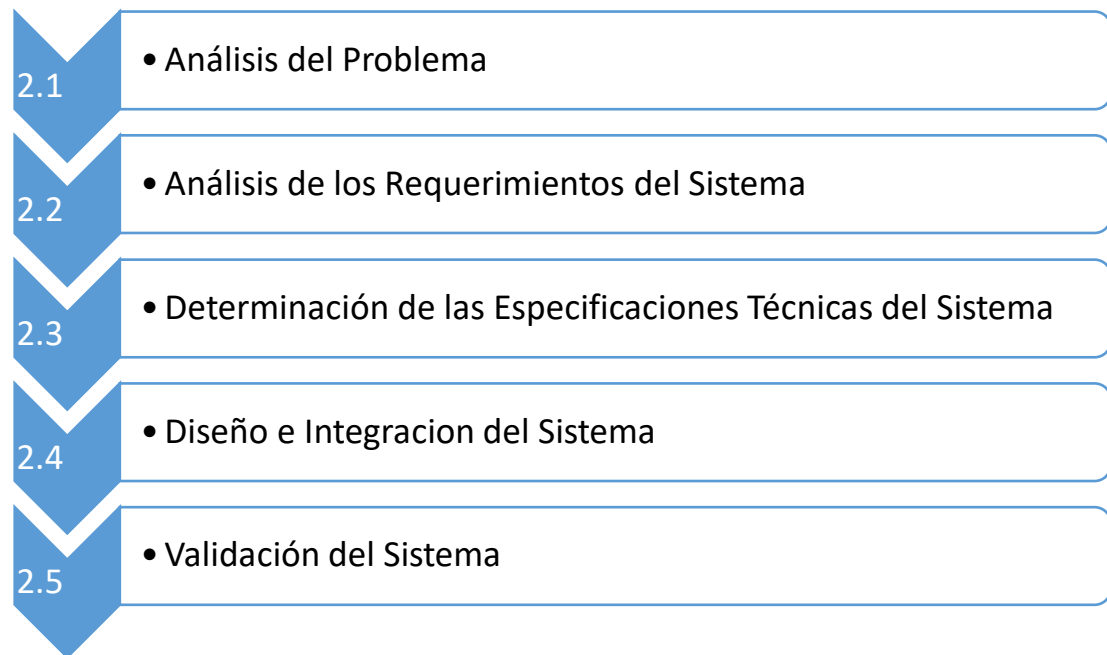


Figura 16. Metodología seleccionada para el proyecto.

Primero se inicia con la investigación bibliográfica sobre los incendios, partiendo desde un análisis del problema y las necesidades del proyecto. De acuerdo con los objetivos planteados y el alcance propuesto, se detallan los requerimientos que debe tener el sistema. A continuación, se procede con las especificaciones técnicas, donde se describen las características físicas y conceptuales del mismo. Posteriormente, se lleva a cabo el diseño e integración del sistema, donde se describen la arquitectura del proyecto, así como la integración entre los distintos componentes. Finalmente, se realiza la etapa de validación, mediante pruebas que permiten verificar las prestaciones del prototipo implementado.

2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Dado a que los mecanismos y sistemas de alerta contra incendios en la ciudad de Quito, no son del todo efectivos a la hora de generar una alerta temprana sobre el flagelo, se decide realizar este modelo de prototipo, con el fin de tener una respuesta eficaz ante estas incidencias.

El análisis para el diseño se aplica a un caso de estudio en la Universidad Tecnológica Equinoccial. El lugar de estudio consiste en una superficie del bosque del campus occidental de la universidad, como se puede apreciar en la Figura 17. El bosque contiene una superficie de 10.710 m² aproximadamente.



Figura 17. Superficie bosque campus occidental.

(Google Inc., 2017)

Como se menciona anteriormente, este y los demás bosques en general, tienen un riesgo bajo de poder iniciar un flagelo por acción natural; debido a la vegetación, y a las condiciones climáticas en las que se encuentran. Razón por la cual se requiere de la acción humana para que pueda ocurrir un evento.

Sin embargo, no se puede tener la certeza de qué momento puede ocurrir un incendio, por lo que se requiere realizar seguimiento y monitoreo de las variables físicas de temperatura y humedad.

2.2. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

A través del monitoreo de las variables en tiempo real, el sistema debe estar compuesto por:

- ❖ Unidad central de control.
- ❖ Pantalla de monitoreo de las variables de temperatura y humedad.
- ❖ Sensor de temperatura con rango de medición de 0 °C hasta los 80 °C.
- ❖ Cuatro unidades periféricas con procesamiento de datos y sistema inalámbrico de envío y recepción de datos.
- ❖ Detector de humo, sensor de humedad y temperatura por cada unidad periférica.
- ❖ Resistente a la lluvia bajo la certificación IP11⁴. (International Electrotechnical Commission, 2017).

En la Figura 18 se indica la arquitectura general del sistema a ser diseñado. El sistema se compone de una unidad central de control a la que van conectadas 4 centrales periféricas de control, así en caso que una central periférica se dañe, el sistema puede seguir operando y sensor las variables en otros puntos mediante las demás centrales. Cada una de las centrales periféricas de control consta de un sensor de temperatura, uno de humedad y un detector de humo. Cabe mencionar que la unidad central de control cuenta con un dispositivo de radio frecuencia y un circuito para el control de potencia para activar los actuadores que en este caso son la sirena y luces estroboscópicas, para comunicarse y visualizar los datos en una pantalla táctil.

⁴ Código IP (Ingress Protection) de International Electrotechnical Commission (IEC). IP11 quiere decir protección contra el polvo con cuerpos mayores a 50mm de diámetro y protección contra gotas de agua que caen verticalmente.

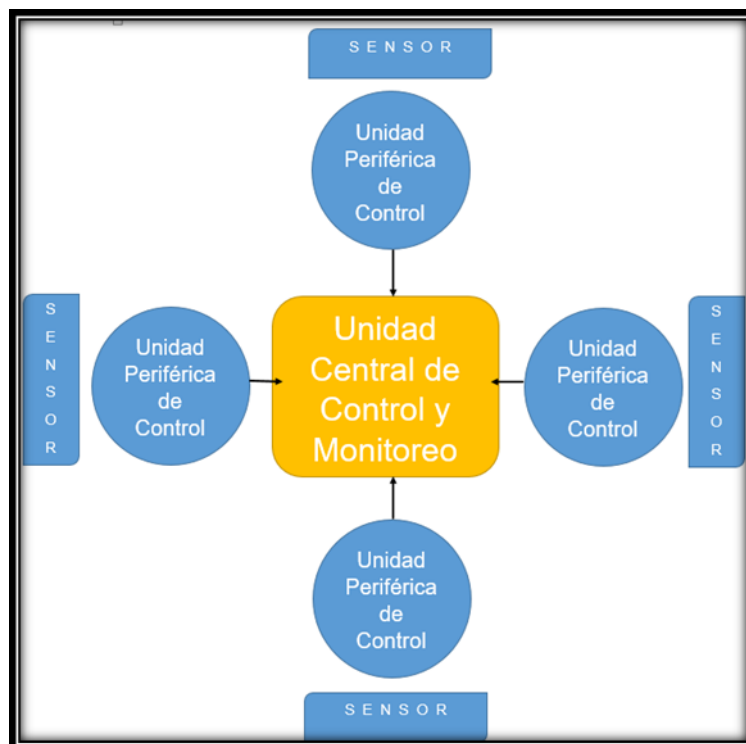


Figura 18. Arquitectura general del sistema.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA

De acuerdo con el Cuerpo de Bomberos, una de las zonas más propensas en Quito donde se han registrado una gran cantidad de los incendios forestales debido a la acción humana, se conciben en las faldas del volcán Pichincha. El bosque del campus occidental UTE se encuentra en las faldas del Pichincha, por lo que es ideal para aplicar el diseño del sistema prototipo de alerta temprana contra incendios forestales, y para que en un futuro se lo pueda aplicar a mayor escala en sectores montañosos en la ciudad de Quito.

2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Para las especificaciones técnicas del sistema, se basa en un fragmento de área del bosque del campus occidental UTE, para el caso de estudio, se realizaron mediciones donde se considera una superficie circular de 22 m de diámetro, con un área de 380,13 m². Debido a que de manera circular se tienen todos los puntos de la circunferencia equidistantes del centro; razón por

la cual se presentan mejores condiciones para realizar el monitoreo de la superficie puesto que se tiene mayor área cubierta por los sensores.

Una superficie de aproximadamente 380m² es suficiente para que pueda ser un modelo escalable. En la Figura 19 se muestra la superficie del caso de estudio. El tipo de cobertura vegetal que se tiene, en las faldas del Pichincha se encuentra mayoritariamente: pastos, eucaliptos, arbustos húmedos y arbustos secos.



Figura 19. Muestra tomada bosque campus occidental

El flujo de la información para el diseño del sistema consiste en el momento de inicio del evento, el sistema alerta de la existencia de un flagelo, luego un agente de seguridad del campus se comunica con el ECU-911 para alertar sobre el hecho ocurrido.

2.3.2. NIVELES DE AFECTACIÓN

El diseño del sistema se basa en los niveles de alerta y emergencia. El cual se fundamenta en los niveles de emergencia 1 y 2, que indican que son eventos de complejidad baja-media y alta, lo que indica que se suscitan de 1 a 2 eventos/km², que requieren de una coordinación interna de la administración zonal del DMQ. Además, se fundamenta en niveles de alerta general Blanca (no existen emergencias, ni factores predisponentes) y Amarilla (presencia eventual de emergencias e incremento de factores predisponentes).

2.3.3. HISTÓRICO DE TEMPERATURAS Y VIENTOS EN QUITO

Existen casos que se tienen vientos secos y cálidos, y al aumentar la temperatura es probable que inicie un flagelo. Por esto, el funcionamiento del sistema de alerta se basa en mayor medida e importancia, en los sensores de temperatura.

De acuerdo con las tablas proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se conoce que la temperatura más alta que se ha tenido en los últimos 15 años en la ciudad de Quito es de 31°C aproximadamente. Con una velocidad de viento máxima de 9.1 m/s (INAMHI, 2017). La humedad del aire varía en función de la temperatura, cuando aumenta la temperatura del aire aumenta también la cantidad de vapor de agua que puede contener. Lo opuesto ocurre cuando la temperatura del aire desciende, pues baja la capacidad de contener vapor de agua. Considerando que la temperatura del aire disminuye conforme aumenta la altitud, el vapor de agua en zonas altas se condensa formando nubes (meteorITo, 2017).

Razón por la cual, se considera como motivo de alerta de incendio, si se tiene: velocidades de viento próximos a los 9 m/s, si existen cambios bruscos en el aumento de temperatura y además un valor de temperatura fija superior a los 31°C.

La Tabla 8 indica las cifras históricas de los últimos 15 años, mínimas y máximas, de la temperatura y velocidad del viento en la ciudad de Quito. Así se puede establecer los valores que se pueden esperar por épocas durante cada mes del año. Si se sobrepasa estas cifras, seguramente existe un riesgo y se tiene un indicio de alarma.

Tabla 8. Promedio histórico de temperatura y velocidad del viento en Quito.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp [°C]:	6 - 30,7	2,2 - 29,5	5 - 29,5	2,5 - 28,9	6 - 28,8	3 - 30,4	4,1 - 29	1 - 30,3	2 - 30,7	2,5 - 29,8	3,5 - 29,8	2,8 - 29,5
Viento [m/s]:	2,5 - 5,9	2,8 - 5,9	2,6 - 5,6	2,4 - 6,4	2,4 - 6,5	3,5 - 9,1	4,5 - 7,9	4 - 6,7	3,4 - 6,5	2,7 - 6,2	2,5 - 6,3	2,8 - 6,4

En las Figuras 20 y 21 se puede apreciar de mejor manera las temperaturas y velocidades mínimas y máximas en la ciudad de Quito con respecto a la Tabla 8.

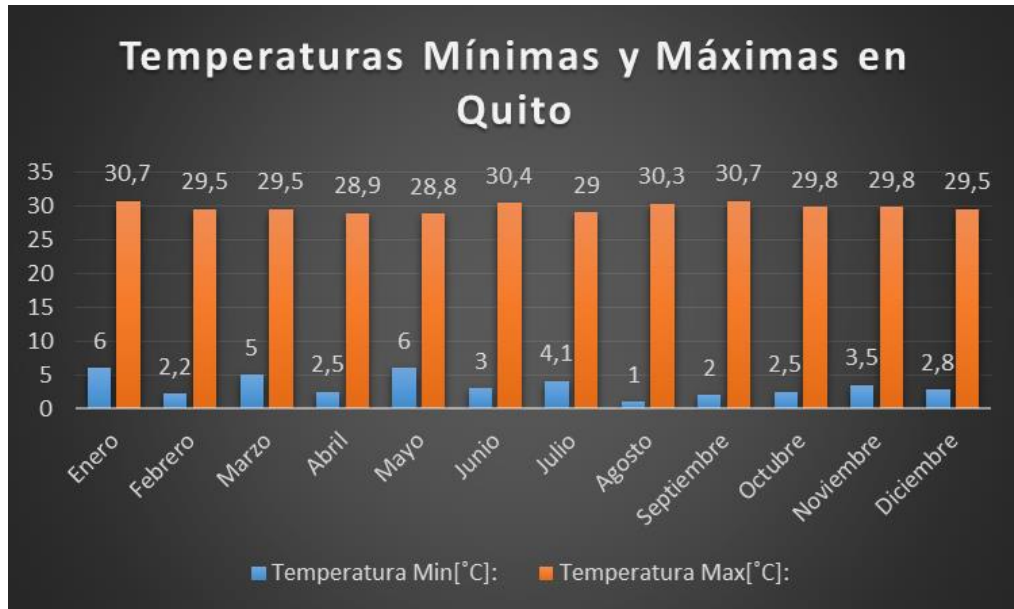


Figura 20. Temperaturas históricas en Quito.

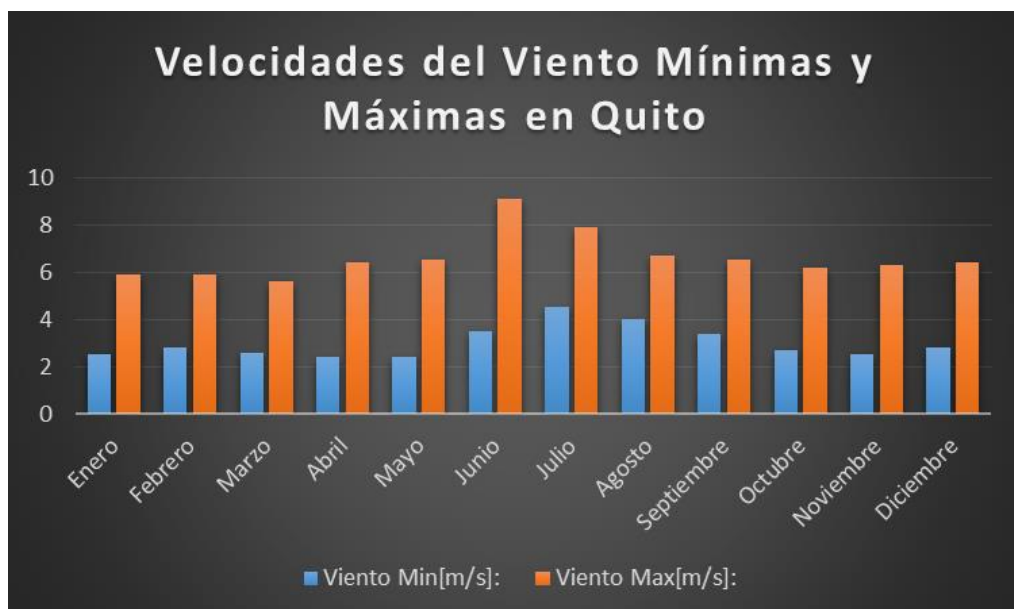


Figura 21. Velocidades del viento históricas en Quito.

2.4. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Para poder generar la transmisión o intercambio estructurado de datos resulta importante conocer la selección de los componentes, su respectiva conexión, y el funcionamiento de cada elemento; la cual tendrá un efecto directo significativo sobre el funcionamiento del sistema.

2.4.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se realiza la selección de los componentes en base a los requerimientos del sistema, la funcionalidad del prototipo y a la elección de las implicaciones en cuanto al costo. Dado que se trata de un modelo prototipo y que es un punto de inicio para nuevos diseños de sistemas de alerta contra incendios en el país, se seleccionan los elementos que cumplan con aquello y que se encuentren disponibles en el mercado; teniendo en cuenta que si se posee de capital para una mayor inversión, se pueden seleccionar elementos de mayor calidad y precisión mejorando aún más las prestaciones del diseño.

2.4.1.1. Sensor de Temperatura y Humedad DHT22

El sistema se va regir por las variaciones de temperaturas dentro de un período de tiempo. Si existe un cambio brusco, es una señal de alerta. Además, se deberá considerar que a temperaturas mayores a los 31°C, la alerta será activada de manera inmediata.

El sistema se rige por los siguientes rangos de temperatura en grados centígrados, con lo cual se tiene una serie de condiciones de funcionamiento del sistema. Estas condiciones se describen en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Operación del sistema en función de la variación de temperatura.

Variación de temperatura (ΔT)	Acción del Sistema
1 a 2 [°C/30min]	Alarma inactiva
2,1 a 2,9 [°C/30min]	Alerta de posible riesgo
3 en adelante [°C/30min]	Alerta con indicador de incendio

El valor promedio más alto de las temperaturas máximas en Quito, que se tiene entre los meses del año es de 28,2°C. Si se divide el valor promedio más alto para los 12 meses del año se obtiene una variación de temperatura del valor de 2,35°C. Si se realiza la toma de medidas cada 15 minutos, se puede

tomar en consideración que la variación de 3°C por cada 30 minutos, es una variación considerable que afecta al entorno y al medio ambiente.

Tabla 10. Rangos de temperatura funcionamiento del sistema.

Temperatura Grados Centígrados	Acción del Sistema
$0^{\circ}\text{C} < T < 29^{\circ}\text{C}$	Alarma inactiva
$29,1^{\circ}\text{C} < T < 30,5^{\circ}\text{C}$	Alarma inactiva con indicador de posible inicio de incendio
$30,6^{\circ}\text{C}$ en Adelante	Alarma encendida con indicador de incendio

El sensor utilizado es DHT22 como se muestra en la Figura 22, el cual es un sensor de la familia DHT (Digital-output relative humidity & temperature sensor/module) de temperatura y humedad.

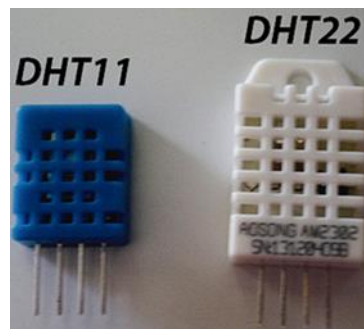


Figura 22. Sensor de humedad y temperatura DHT.
(Panama Hitek, 2014)

Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Se utiliza este sensor debido al bajo costo, y dado que se pueden realizar mediciones de temperatura y humedad en fracciones decimales. Además de un rango de precisión en la temperatura de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y una precisión de humedad relativa de $\pm 2\%$ HR, visto que son variables de gran consideración para el sistema de alerta como se indicó en la Sección 1.4.

2.4.1.2. Detector de Humo

El detector de humo utilizado corresponde a un sensor de tipo fotoeléctrico, dado que es importante detectar el humo de forma inmediata y se aplica en áreas donde pueda ocurrir fuego.

Entre las características técnicas de funcionamiento que tiene son las que se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Características técnicas detector de humo.

Parámetros Técnicos	
Voltaje de Operación	DC 9V – 35V
Corriente Inactiva	≤100 μA
Corriente de Alarma (Operación)	70 – 90 mA (DC 24V/h)
Indicador de Alarma	LED Rojo
Temperatura de Operación	-10 °C - +50 °C
Ambiente de Humedad Relativa	≤ 95%
Área de Cobertura	80 m ² (Altura del Espacio: 6m – 12m) 60 m ² (Altura del Espacio: ≤ 6m)
Dimensiones	104 mm (diámetro) x 49 mm (alto)

Se seleccionó este tipo de detector de humo fotoeléctrico debido a que tienen menor cantidad de falsas alarmas. Además, el detector fotoeléctrico responde efectivamente a tipos de fuegos rápidos y fuegos lentos en un corto lapso de tiempo; mientras que el detector iónico responde a fuegos de pequeñas partículas (fuegos rápidos o de llamas) en corto tiempo, pero a fuegos de grandes partículas (fuegos lentos) en un tiempo comparativamente mayor.

2.4.1.3 Display LCD TFT

La selección de la pantalla se basa en función del tamaño, resolución de pantalla, tipo de sistema táctil, velocidad de procesamiento de imágenes, tipo de comunicación, consumo, voltaje de operación, memoria Flash y RAM. La Tabla 12 muestra una comparación entre dos modelos de pantallas: SainSmart y Itead.

Se decide seleccionar una pantalla para la interfaz HMI (Human Machine Interface) Touch Screen LCD de 3.2" basada en tecnología TFT. Este dispositivo puede ser utilizado en conjunto con cualquier microcontrolador que posea comunicación serial. Se selecciona el modelo de pantalla NX4827T043 del fabricante ITEAD como se muestra en la Figura 23. La relación costo-beneficio es favorable debido a que incorpora un propio software, el cual es mucho más rápido para ponerlo en marcha frente a otras pantallas TFT de comunicación en paralelo. Además, tiene un menor consumo de energía, lo que ayuda en el ahorro de energía en lo que respecta a la autonomía de la batería.

Tabla 12. Características pantallas TFT.

Fabricante	SAINSMART	ITEAD
Modelo	20011D49	NX4827T043
Color	65536	65K colores
Resolución	480x272 pixeles	480x270 pixeles
Tipo de Comunicación	Paralela de 16 bits	Serial
Controlador del Display	SSD1963	MD070SD
Controlador Touch	XPT2046	XPT2046
Tamaño	3.5 pulgadas	3.2 pulgadas
Corriente de Operación	300 mA	250 mA
Voltaje de Operación	3.3 V	5 V
Taza de Baudios para Comunicación	No posee	115200 max.
Temperatura de Trabajo Ideal	25 °C	25 °C
Memoria Ram	No posee	2048 bytes
Memoria Flash	8 MB	16 MB
Editor Grafico	No posee	WYS/WYG

(ITEAD, 2015) ; (SainSmart, 2015)



Figura 23. Display LCD TFT.

(ITEAD, 2015)

2.4.1.4. Módulo de Comunicación

Se requiere obtener comunicación entre la unidad central y las unidades periféricas. Para obtener los datos que se sensan, desde las unidades periféricas ubicadas en el bosque a la unidad central y viceversa, se lo hace de una manera inalámbrica en base a tecnología WIFI.

La Tabla 13 muestra las principales características de dos módulos de comunicaciones que se hallan en el mercado.

Tabla 13. Especificaciones técnicas ESP8266 y NRF24L01.

Módulo	ESP8266	nRF24L01
Protocolo WiFi	802.11 b/g/n	-
Rango de Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz
Bus Periférico	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control GPIO/PWM	SPI
Velocidad	250Kbps	2 Mbps
Rango de Alcance	20m – 2km	20m – 1.5 km
Voltaje de Operación	3.3V	3.3V
Corriente de Operación	80 mA	15 mA

Se utiliza un modelo de comunicación punto a multipunto debido a que varios nodos remotos se comunican con el nodo central.

El módulo para la comunicación inalámbrica seleccionado es el modelo ESP8266 que se puede apreciar en la Figura 24 del fabricante Espressif Systems. Entre sus características utiliza protocolo TCP/IP y capacidad MCU (Micro Controller Unit), es de bajo costo y consumo, al acceso inalámbrico a internet se le puede añadir cualquier diseño basado en microcontroladores con una conectividad simple (SPI/SDIO o I2C/UART interfaz). Además, integra una antena switch, dispositivo RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo nivel de ruidos, requiere mínimo de circuitos externos, y está diseñado para ocupar un área mínima de PCB.

La Plataforma de Conectividad Inteligente de Espressif Systems (ESCP) tiene un sistema de sofisticadas características, tales como: conmutación rápida de contexto sueño/despertar (sleep/wake) para bajo consumo de energía, procesamiento de señales avanzadas, y características de coexistencia de radio frecuencia con celular, Bluetooth y LCD.

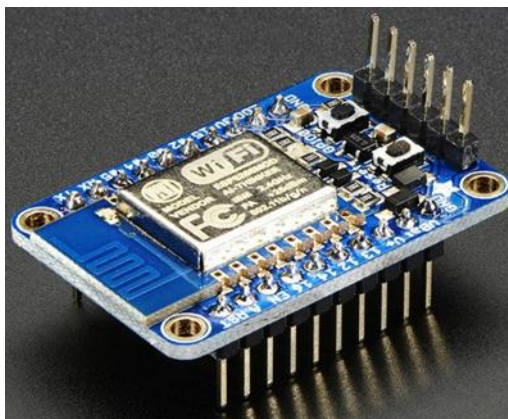


Figura 24. Módulo ESP8266.

(Espressif Inc, 2016)

2.4.1.5. Unidad de Control

En base a la memoria interna, la velocidad de reloj, a la capacidad de procesamiento, y en base a las características de los periféricos de comunicación, entre otras características, para dos tipos de microcontroladores (ATmega 2560 y PIC 16F877A) se hallan resumidas en la Tabla 14.

La elección del controlador se realizó en conjunto a las características como la memoria interna que posee, la capacidad de adquisición de datos, la velocidad de reloj, y en base a las características de los periféricos de comunicación.

Tabla 14. Especificaciones técnicas microcontrolador ATmega 2560 y PIC 16F877A.

Microcontrolador	ATmega 2560	PIC16F877A
Voltaje de Operación	5V	5V
Pines Digitales Entradas/Salidas	54	-
Pines Analógicos Entrada	16	8
Salidas PWM	15	2
Corriente DC por Entrada/Salida	40 mA	20 mA
Memoria Flash	256 KB dedicada para las aplicaciones	8 KB
SRAM	8 KB	-
EEPROM	4 KB	256 Bytes
Velocidad del Reloj	16 MHz	20 MHz
Tipo de Comunicación en Periféricos	I2C, SPI, UART	I2C, SPI, UART

Se utiliza el controlador Arduino Mega 2560, el cual contiene el microcontrolador de procesamiento ATmega 2560, como se muestra en la Figura 25. Este controlador cuenta con 54 pines digitales que pueden ser entradas o salidas, 15 pines los cuales pueden ser salidas PWM (Pulse Width Modulation). Tiene mayor memoria EEPROM, 16 entradas analógicas y 4 puertos seriales UARTs, entre algunas ventajas que se pueden mencionar.

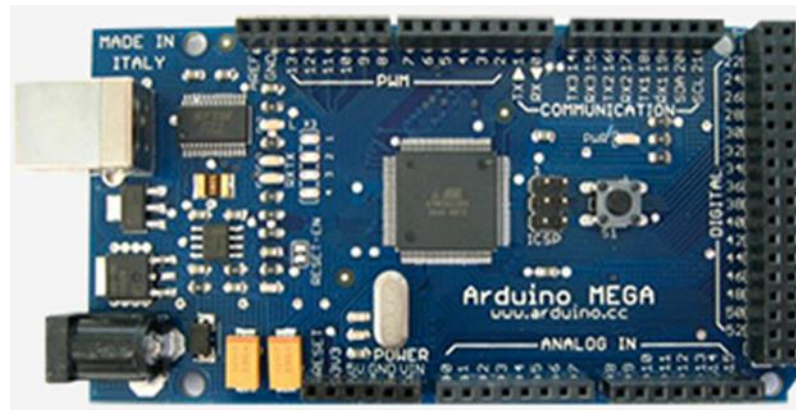


Figura 25. Arduino Mega 2560.

(Arduino, 2017)

2.4.1.6. Cables Resistentes al Fuego

Los cables resistentes al fuego (AS+) cumplen con la normativa de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). En la cual se tiene el documento normativo UNE 211025 “Cables con una resistencia intrínseca al fuego destinados a circuitos de seguridad”. Donde se clasifican como PH 90, es decir mantienen la continuidad de la señal o el suministro de energía eléctrica, como mínimo durante 90 minutos (Top Cable, 2017).

2.4.1.7. Anemómetro

En meteorología, se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, el cuál es una especie de diminuto molino de tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma). Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas de viento desvirtúan la medida, de manera que la medida más acertada es el valor medio de medidas que se tomen a intervalos de 10 minutos (Infoagro Systems, 2017).

El anemómetro seleccionado debido a que la señal de salida es digital y la facilidad de conexión que tiene con otros equipos, es el anemómetro de molinete NRG#40H. Su bajo momento de inercia y la salida lineal que presenta, resultan en la industria un anemómetro estándar a nivel mundial. Entre sus características técnicas son las que se detallan a continuación (ProViento S.A. Energías Renovables Ecuador, 2007):

- Rango de medición: 1 a 96 [m/s].
- Rango de operación de temperatura: -55 a 60 [°C].
- Rango de operación de humedad: 0 a 100% [HR].
- Voltaje de operación: 5 a 24 DC [V].
- Corriente de operación: 9 [mA].
- Precisión: $\pm 1\%$

2.4.2. CONEXIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Los diferentes elementos que componen el sistema deben ensamblarse de manera que garanticen el comportamiento adecuado del prototipo según se ha diseñado. Se debe tomar en consideración las limitaciones constructivas, aspectos de montaje, entre otras características. Estas variables se analizan en forma conjunta e integral.

2.4.2.1. Sensor de Temperatura y Humedad DHT22

Este sensor tiene una salida de señal digital calibrada, utiliza una técnica exclusiva de captura de señal digital y tecnología de detección de humedad, asegurando su fiabilidad y estabilidad. Cuenta con una resolución de datos de 8 bits. Es de tamaño pequeño y bajo consumo, con una larga distancia de transmisión de 20m.

Para la conexión se recomienda utilizar una resistencia de pull-up de 5 K Ω , así como las conexiones de alimentación en los pines, como se muestra en la Figura 26.

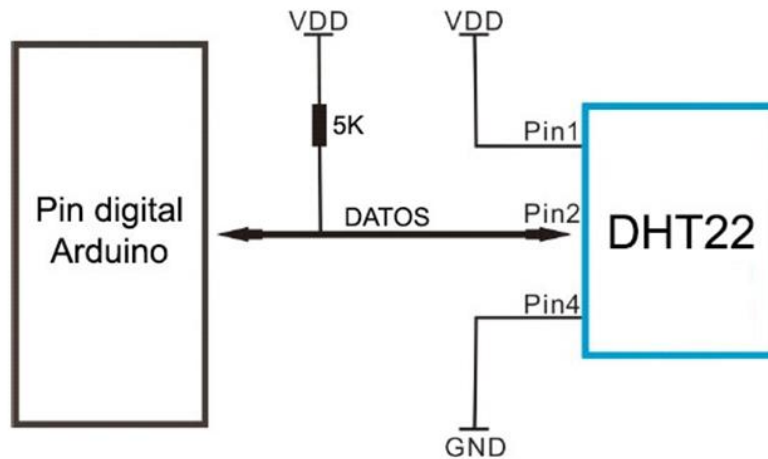


Figura 26. Conexión sensor DHT22
(Arduino, 2017)

2.4.2.2. Detector de Humo

Es un sistema sensible que capta la presencia de las partículas de combustión ("humo") dispersas en el aire y cuando el valor de este fenómeno sobrepasa un umbral pre-establecido se genera una señal de alarma que es transmitida a la central de control. Cuenta con una alta sensibilidad y detección fotoeléctrica. En la Figura 27 se muestra su composición.

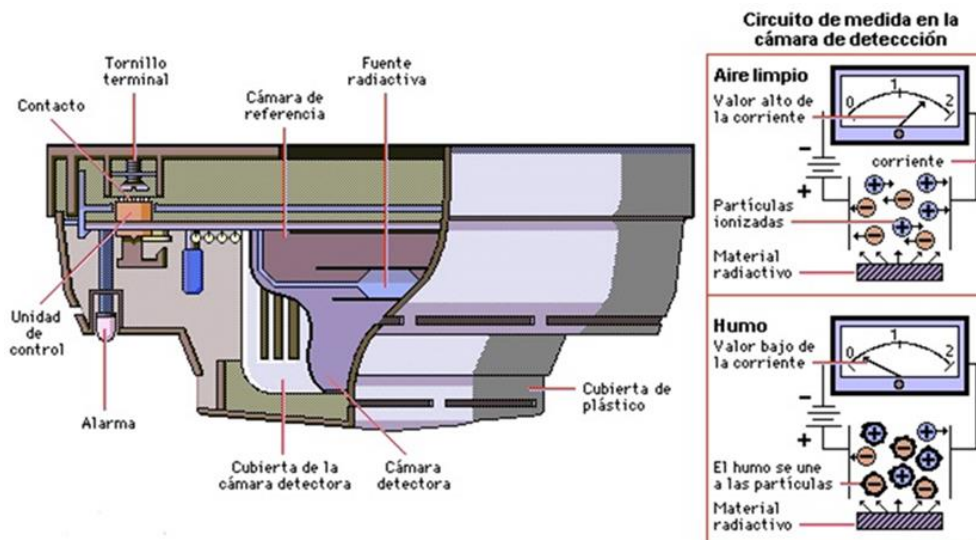


Figura 27. Composición detector de humo fotoeléctrico.
(Domótica y Automatización S.L., 2013)

Este se activa al momento que sobre pasa un valor de partículas de humo del tamaño de 4 a 5 micras y si la concentración de humo alcanza de 1,5 a 3% del aire receptado por el detector; con lo que se activa la alarma de incendio.

Mientras que en la Figura 28 se indica la conexión de alimentación de un circuito normalmente abierto.

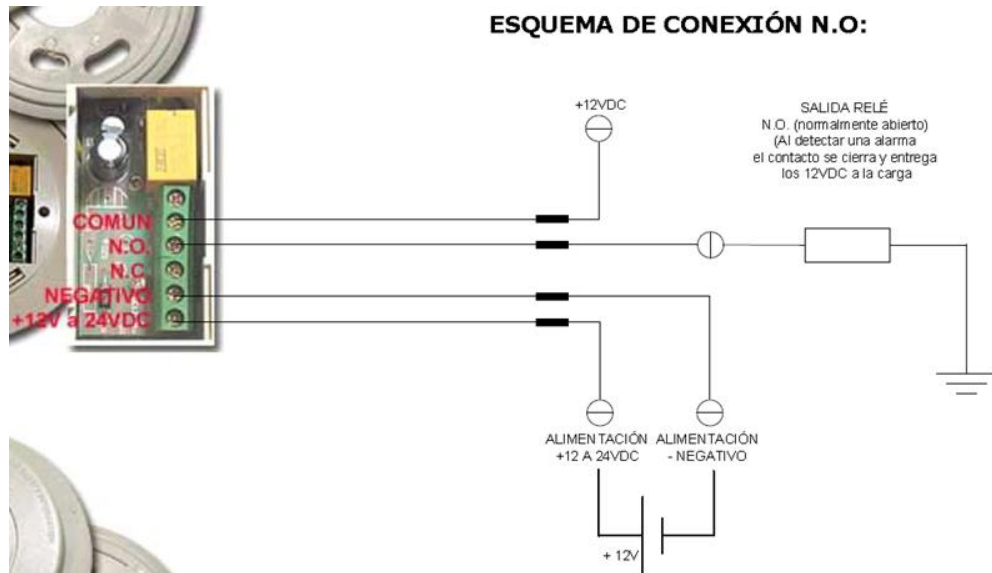


Figura 28. Conexión de alimentación normalmente abierto.
(Domótica y Automatización S.L., 2013)

En la Figura 29 se indica la conexión de alimentación del circuito normalmente cerrado.

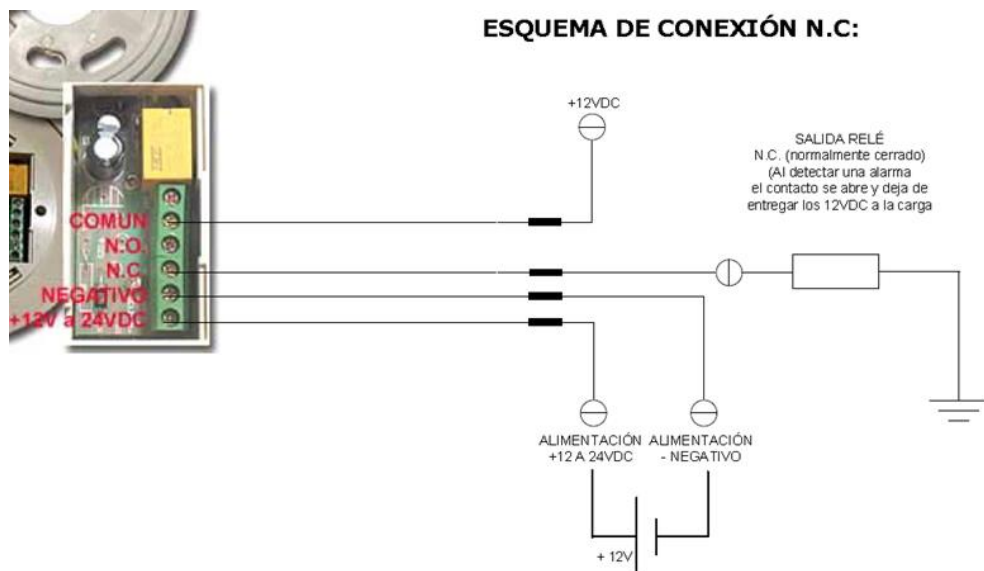


Figura 29. Conexión de alimentación normalmente cerrado.
(Domótica y Automatización S.L., 2013)

2.4.2.3. Display LCD TFT ITEAD 3.2"

Consta de una resolución de 320x240 pixeles, con un panel táctil y además utiliza el bus SPI para comunicación. El tamaño de la pantalla es de 3.2" Módulo de Pantalla a Color TFT, utiliza un bus de 16 bits en paralelo, y consta del driver SSD1289. Se utiliza un Shield Pantalla TFT 3.2 Touch, el cual permite conectar pantallas LCD TFT touch al Arduino Mega. La Figura 30 muestra la conexión del display.

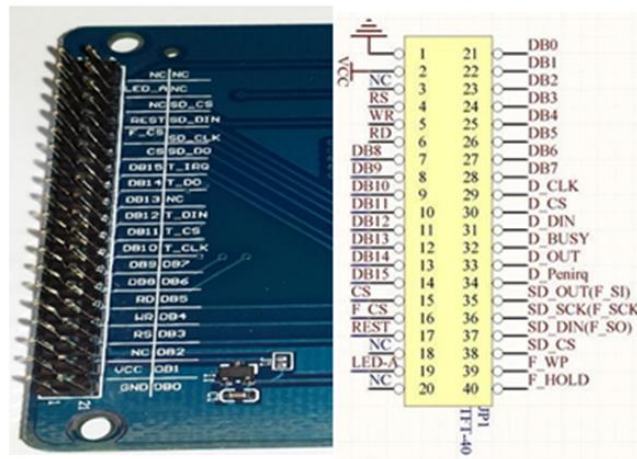


Figura 30. Conexión display TFT ITEAD 3.2".

(Arduino, 2017)

2.4.2.4. Módulo de Comunicación ESP8266

El módulo permite una configuración mediante el uso de comandos AT (lenguaje estándar de comandos para configurar y parametrizar módems por la compañía Hayes Communications).

La conexión es sencilla se conectan los pines Rx y Tx del módulo, a los pines RC y TX del Arduino. El pin marcado como RST se lo alimenta a los 3.3V del controlador. Para la alimentación del módulo se puede requerir de una fuente externa de 3.3 V, y GND a la fuente externa o a uno de los pines GND del Arduino. Este módulo incluye un pequeño procesador interno que se podría programar para funcionar de modo autónomo e incluso dispone de un par de puertos GPIO (General Purpose Input Output) para su uso como activador de alguna entrada o salida. Las Figuras 31 y 32 indican los pines y la conexión del módulo.

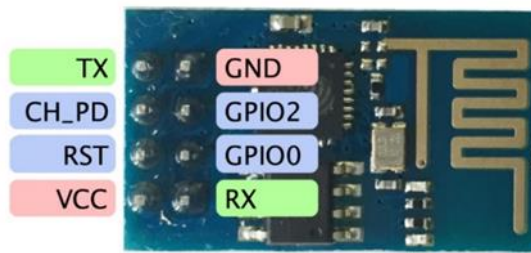


Figura 31. Pines de conexión módulo de comunicación ESP8266.
(Arduino, 2017)

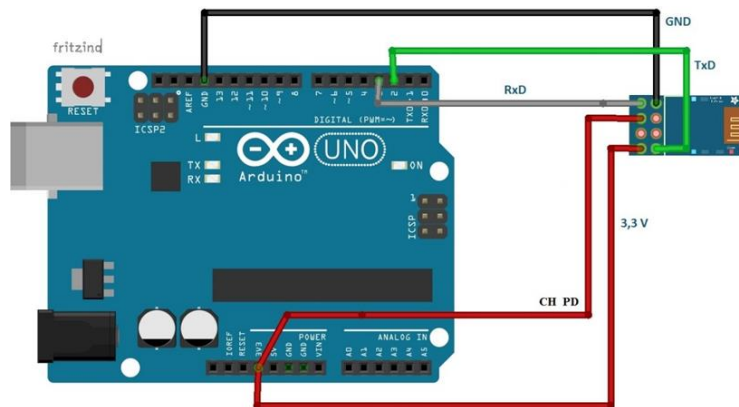


Figura 32. Conexión módulo de comunicación ESP8266.
(PROMETEC, 2017)

2.4.2.5. Unidad de Control Arduino Mega 2560

Además del adaptador para la alimentación, Arduino Mega posee algunos pines para la alimentación del circuito, como se puede apreciar en la Figura 33, donde:

Vin: A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.

5V: Desde este pin se puede obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA.

3.3V: Se puede obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.

GND: El ground (0V) de la placa.

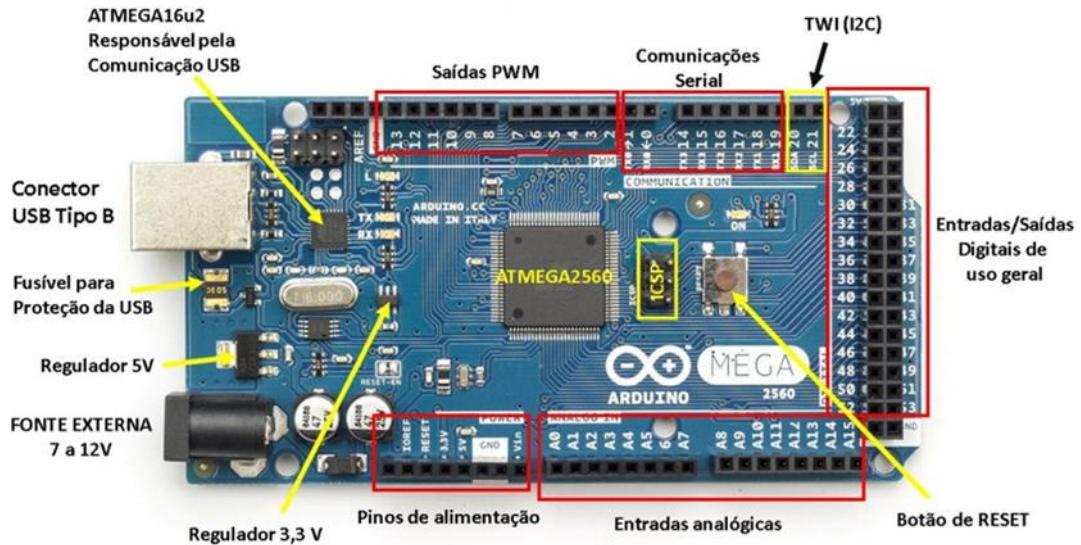


Figura 33. Conexión Arduino Mega 2560.

(Arduino, 2017)

2.4.2.6. Librerías Arduino

Para el monitoreo del sistema se utiliza el display TFT, el cual tiene una interfaz táctil que se debe configurar para ponerla en marcha. Para esto se requiere del uso de las siguientes librerías de Arduino:

- ❖ UTFT: Maneja aspecto gráfico del módulo TFT. Se utiliza esta librería para:
 - Inicializar la pantalla LCD y su orientación vertical o horizontal: (InitLCD(orientación)).
 - Escritura en la pantalla, tamaño de fuente de la pantalla, colores de fondo de las letras y colores de fondos de letras: [print(texto, x, y, ang)]; setFont("SmallFont", "BigFont"); myGLCD.setColor(R,G,B); myGLCD.setBackColor(R,G,B).
 - Mostrar una imagen en la pantalla: [drawBitmap (x, y, sx, sy, data)].
 - Obtener posición en eje "X" y "Y": [getDisplayXSize()] [getDisplayYSize()].
 - Limpiar la pantalla y color fondo de la pantalla: [clrScr()]; fillScr(R,G,B).
 - Mostrar una imagen en la pantalla: [drawBitmap (x, y, sx, sy, data)].
 - Dibujar botones, cuadros y colocar colores: drawRoundRect(x1,y1,x2,y2);fillRoundRect(x1,y1,x2,y2); setColor(R,G,B).

- ❖ UTouch: Habilita el módulo Touch del display TFT, con lo cual se puede manejar la interfaz HMI. Se utiliza esta librería para:
 - Inicializar el modo táctil (Touch Screen) con coordenadas especificadas en la librería UTFT: (myTouch.dataAvailable()).
 - Obtener las coordenadas de la posición en “X” o “Y” leídas del modo táctil: [getX();] [getY();]
- ❖ UTFT_Buttons: Uso y manejo de botones en el display TFT, se utiliza esta librería para:
 - Crear una clase principal, la cual contiene los botones a usar. Se requiere usar conjuntamente con las librerías UTFT y UTouch: UTFT_Buttons(UTFT, UTouch).
 - Borrar todos los botones que se muestran en pantalla: deleteAllButtons().

2.5. ARQUITECTURA Y MODO DE OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO

Como se mencionó en la Sección 2.2, el diseño consta de 1 pantalla TFT conectada a 1 unidad central de control y está enlazada a 4 centrales periféricas de control. En cada una de estas unidades periféricas se adquiere la medición de las variables de humedad, temperatura, viento y detección de humo.

El prototipo está conformado por los siguientes elementos:

- ❖ Fuentes de poder independientes con un regulador de voltaje LM317 para alimentar Arduino Nano y Arduino Mega.
- ❖ Anemómetro
- ❖ Sensor DHT22
- ❖ Detector de Humo
- ❖ Arduino Nano para la adquisición de datos
- ❖ Arduino Mega para la recepción de datos.
- ❖ Shield de Arduino para enlazar Arduino Mega con el display.
- ❖ Display TFT para el monitoreo de las variables.

- ❖ Pulsador de emergencia.
- ❖ Luces Led para visualizar la alerta
- ❖ Sirena y luz estroboscópica accionadas mediante un relé para permitir la conmutación de una línea eléctrica a través de un circuito electrónico.

En el Anexo 1, se muestra un esquema con todos los componentes electrónicos del diseño que constituyen el prototipo final. Las relaciones entre los componentes del sistema es el que se indica a continuación:

- 1) El detector de humo, el anemómetro y el sensor DHT22 se encuentran en constante funcionamiento midiendo las variables del exterior (velocidad del viento y dirección, humedad, temperatura y detección de humo).
- 2) Esta información se obtiene a través de la adquisición de datos que se realiza con el controlador Arduino Nano.
- 3) El módulo WIFI Esp8266 es el encargado de transmitir los datos de adquisición a la unidad central de procesamiento, sin la necesidad de cableado eléctrico.
- 4) Arduino Mega2560 es el encargado de recibir la información de las variables medidas y mostrarlos mediante un shield, en una pantalla.
- 5) El monitoreo de las variables se lo realiza en un display TFT, donde se visualiza en tiempo real la temperatura y humedad. En caso que el sistema no cumpla con las condiciones de funcionamiento correcto a través de las variables mencionadas y además exista de la detección de humo; se genera de forma inmediata una alerta de alarma, audible y visual.
- 6) Se tiene un pulsador de emergencia, para prevenir posibles riesgos y daños.
- 7) La sirena y las luces estroboscópicas son las encargadas de generar la alerta audible y visual por parte del sistema.

En este punto se presenta una ilustración de la arquitectura completa del sistema prototipo, como se indica en la Figura 34.

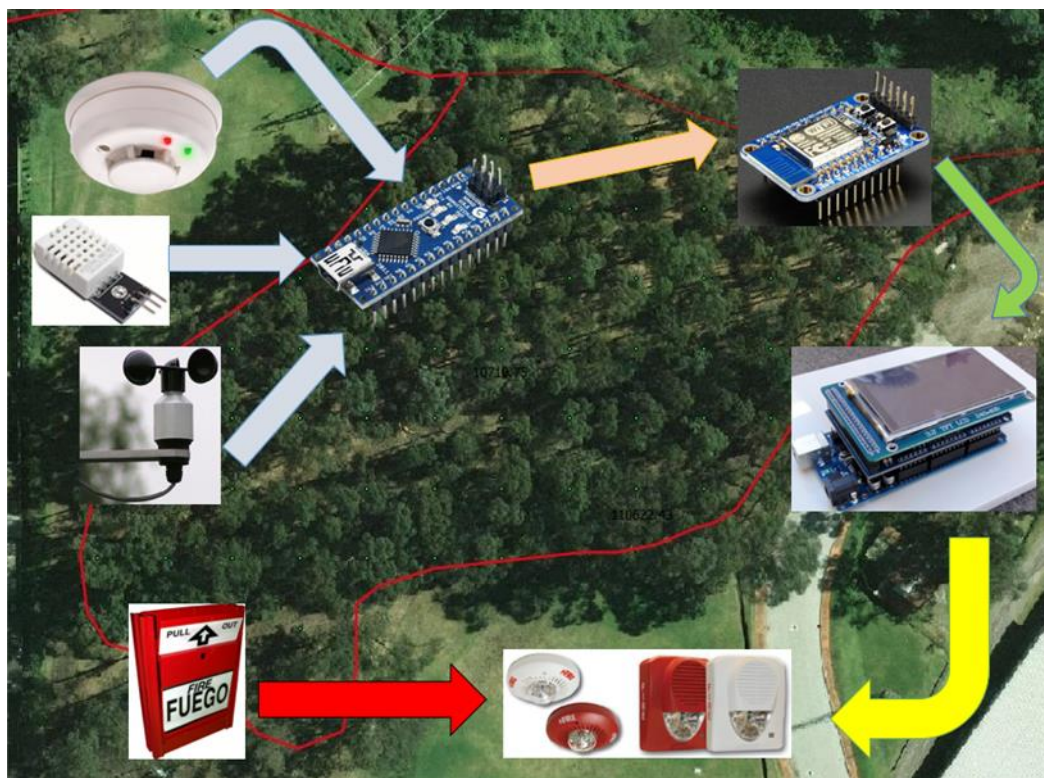


Figura 34. Arquitectura completa del prototipo.

2.5.1. FUNCIONAMIENTO DE LAS ALARMAS DEL SISTEMA PROTOTIPO

El funcionamiento de las alarmas del diseño prototipo es el que se indica a continuación basado en los elementos que se indica en la Sección 2.5. Estas alarmas están acorde en base a los datos históricos que se indican en la Sección 2.3, con el fin de tener un monitoreo preciso.

Dado que el sensor DHT22 soporta una temperatura de 0 °C hasta 80 °C, se tienen las siguientes alertas:

- Para Alarmas con valor fijo pre-establecido:
 - ❖ Si la temperatura es mayor a los 31 °C se genera: ALARMA ACTIVADA. Esto debido a que los registros históricos de temperatura máxima en Quito en la Sección 3.3. es de 31 °C.
 - ❖ Si la temperatura se encuentra entre los valores de 28 °C y 31 °C se genera: ALERTA RIESGO. Dado que son valores numéricos altos de temperaturas, próximo a las temperaturas críticas de riesgo, lo que puede generar un inicio de incendio.
 - ❖ Si la temperatura es menor a 28 °C se genera: ALARMA INACTIVA. Puesto que se encuentra bajo los parámetros pre-establecidos.

- Para Alarmas en función de la variación de temperatura (ΔT) medidas cada 10 minutos:
 - ❖ Si se tiene una variación de 1 a 2 °C, se tiene una señal de supervisión o de operación normal, lo cual genera una ALARMA INACTIVA, dado que se tiene un incremento lento de temperatura.
 - ❖ Si se tiene una variación mayor a 2 °C y menor a 3 °C, se tiene una señal de alarma durante la operación, lo que provoca una ALERTA DE RIESGO, debido a que se tiene un incremento constante de temperatura.
 - ❖ Si se tiene una variación de temperatura superior a 3 °C, se tiene una señal de problema, que indica una ALARMA ACTIVADA, puesto que existe un incremento riesgoso de temperatura.

2.5.2. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Con el fin de poder realizar pruebas de funcionamiento y operatividad del prototipo, donde el principal requerimiento es monitorear constantemente las variables de temperatura en un rango de 0 a 80°C y humedad en un rango de 0 a 100% HR; se realiza un sistema para validar el sistema, considerando únicamente algunos de los elementos establecidos del diseño prototipo. Se realizan pruebas experimentales con los siguientes elementos: sensor de humedad y temperatura (DHT22), Arduino Mega, shield del arduino, display TFT, y se utiliza un Buzzer y Leds para simular la alerta sonora y visual del prototipo.

Con esto se logra visualizar y comprobar el funcionamiento del sensor, el monitoreo de la adquisición de datos en el display, y la operación de alerta de alarma sonora y visual. Pudiéndose validar el funcionamiento del diseño del prototipo.

La valoración general del proyecto ha resultado satisfactoria, aunque se tuvieron diversos inconvenientes en la realización de las pruebas de validación de monitoreo de la temperatura y humedad del sistema, se pudieron solucionar y concluir con las pruebas como se tenía previsto. El display táctil TFT ha sido más que complejo de poner en marcha y visualizar la adquisición de las variables en la misma, dado que requiere el uso de dos librerías: la librería propia de la pantalla para visualizar los distintos menús y

submenús de las variables medidas, y por otro lado la librería con respecto al aspecto táctil del display. Por lo que su realización ha sido bastante laboriosa.

2.5.3. OPERACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO REALIZADO A TRAVÉS DE PRUEBAS

Al momento de realizar las pruebas para validar el funcionamiento y operación del sistema con los elementos descritos en la Sección 2.5.2, el diagrama de flujo de operación que se indica en la Figura 35, muestra el menú y submenú que se tiene cada vez que se inicia la pantalla. Con lo cual, se tiene autonomía al elegir visualizar los datos de temperatura o datos de humedad. El funcionamiento es el siguiente:

En el menú principal se puede visualizar en tiempo real los datos adquiridos tanto de temperatura como de humedad. Además, consta de 2 botones (temperatura y humedad) donde se puede ingresar a cada submenú para visualizar en detalle solo los datos de temperatura o solo los datos de humedad.

Mientras que en el submenú temperatura se puede visualizar en tiempo real los datos de temperatura adquiridos, la variación de temperatura que se ha generado entre cada muestra almacenada y además cuenta con un registro histórico de cinco muestras almacenadas de temperatura.

En el submenú humedad se puede mirar en tiempo real los datos de humedad adquiridos, así como el registro histórico de cinco muestras almacenadas de humedad.

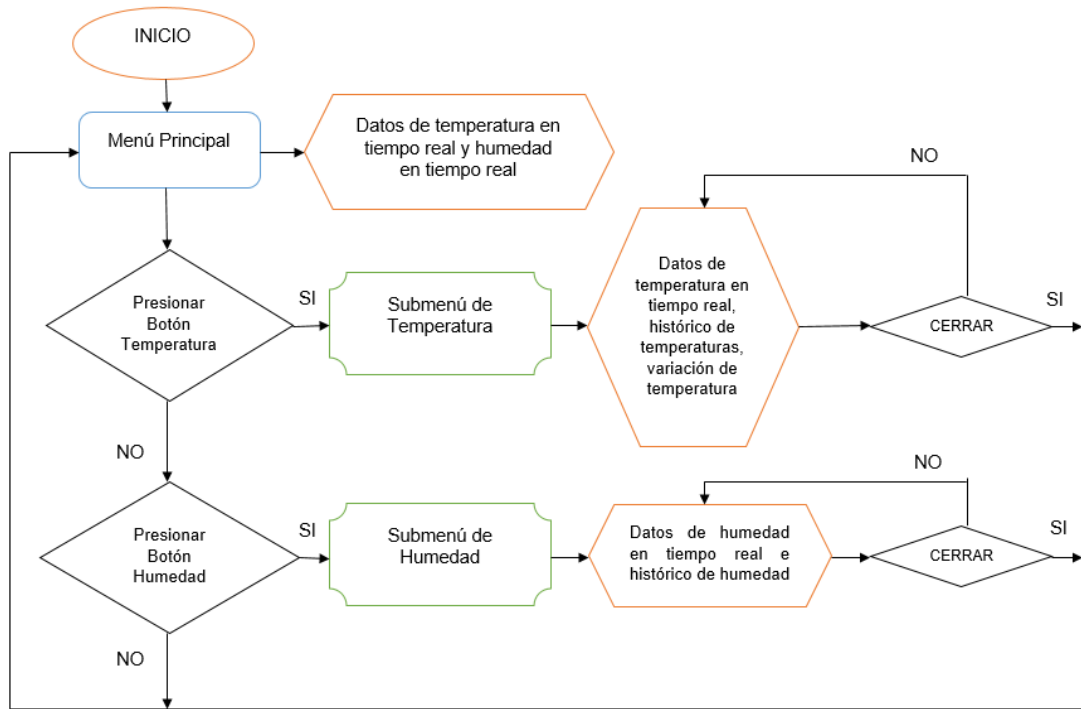


Figura 35. Diagrama de flujo de operación general del sistema de monitoreo.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los pasos para la verificación de las pruebas realizadas son:

- Encendido del sistema, incluye display TFT, sensor, leds, buzzer.
- Verificación de la adquisición de datos (temperatura y humedad).
- Revisión del funcionamiento de los botones de temperatura y humedad.
- Activación de las alarmas visuales y audibles.

Para la validación de las pruebas se ha realizado:

- Se tomaron 23 muestras de la medición de temperatura para realizar las Tablas 16 y 17.
- Validación de temperatura en rangos de medición de 0 a 40°C.
- Validación de humedad en rangos de medición de 0 a 70% humedad relativa.

PRUEBAS REALIZADAS EN EL PROTOTIPO SIMPLIFICADO

Una vez que se ha definido los requerimientos y especificaciones del sistema se procedió a realizar pruebas, donde se verificó únicamente, el monitoreo de la humedad y temperatura por medio del uso de un display TFT, dado que indican una tendencia previsible en los factores climatológicos con lo cual se puede alertar de forma temprana de un flagelo; debido a esto se puede validar el funcionamiento de este prototipo simplificado a través de las pruebas realizadas con el monitoreo de humedad y temperatura. El sistema con el que se realizaron las pruebas de monitoreo de las variables mencionadas, consistió de los siguientes elementos como se puede apreciar en la Figura 36:

- ❖ Display TFT 3.2".
- ❖ Shield Arduino Mega pantalla TFT.
- ❖ Arduino Mega 2560.
- ❖ Sensor DHT22.
- ❖ Buzzer.
- ❖ Leds.
- ❖ Cables de Conexión.

En las pruebas de validación de monitoreo del prototipo, el display TFT consta de un menú principal como se puede observar en la Figura 37, donde se

visualiza la temperatura en tiempo real y su variación (ΔT). Además, se muestra la medición de la humedad en tiempo real; así mismo, el menú principal consta de 2 botones, para ver los registros históricos tanto de humedad como de temperatura. Una vez que se presiona sobre el botón temperatura, se ingresa al submenú respectivo como se puede apreciar en la Figura 38, donde se visualiza: la temperatura en tiempo real, la variación de temperatura (ΔT) que ha existido entre cada muestra tomada y un registro histórico de almacenamiento de las cinco últimas muestras. La Figura 39 indica el despliegue del submenú de humedad, una vez que se presionó sobre el botón humedad; se puede visualizar: la humedad en tiempo real y un registro histórico de cinco muestras almacenadas de la misma variable.



Figura 36. Sistema de validación del monitoreo de temperatura y humedad.

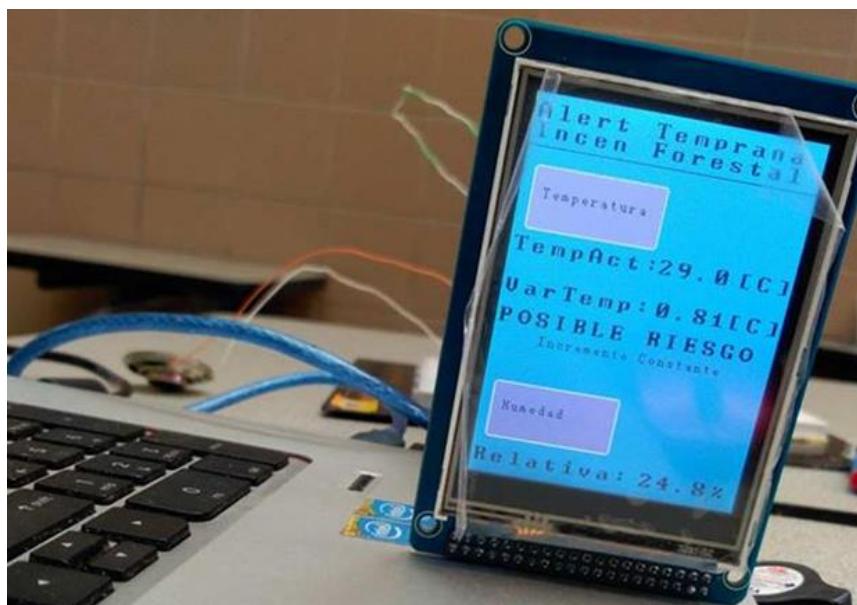


Figura 37. Menú principal monitoreo pruebas de validación.



Figura 38. Submenú temperatura monitoreo pruebas de validación.



Figura 39. Submenú humedad monitoreo pruebas de validación.

La operación del sistema en las pruebas de validación del monitoreo consiste en lo siguiente:

- ❖ Se generan alarmas de alerta por una alta variación de temperatura (ΔT)
- ❖ Se generan alarmas por un valor fijo pre-establecido de temperatura, si sobrepasa dicho valor se activa la alarma.
- ❖ Se tiene alertas visuales en el display TFT y mediante el uso de Leds.
- ❖ Se tiene alerta sonora mediante un buzzer en el momento que se genere un alto incremento de variación de temperatura (ΔT).

La Tabla 15 y la Figura 40, muestran el comportamiento de la temperatura durante el día. Esto se pudo realizar en base a un registro real de medición de 23 muestras de temperatura tomadas el día miércoles 16 agosto del 2017 desde las 8h20 hasta las 15h40. Como se puede analizar, existe un incremento significativo de la temperatura durante la mañana. Se tiene a partir de las 12h00 hasta las 15h20 el pico más alto de temperatura durante el día, obteniendo temperaturas de hasta 23,7 °C. A partir de las 15h30 empieza el decremento de temperatura durante el día.

Tabla 15. Registro temperaturas durante el día miércoles 16 agosto 2017.

Muestra	Hora	ValorTemp	ΔT
1	8:20	16,1	0°C
2	8:35	16,6	0,5°C
3	8:45	16,8	0,2°C
4	9:00	17,1	0,4°C
5	9:05	17	- 0,1°C
6	9:15	17,6	0,6°C
7	9:20	17,8	0,2°C
8	9:35	18,2	0,4°C
9	10:30	19,3	1,1°C
10	11:35	20,3	1,0°C
11	11:40	20,6	0,3°C
12	12:05	22	0,4°C
13	12:10	21,8	-0,2°C
14	12:15	22,4	0,6°C
15	12:20	22,6	0,2°C
16	12:35	22,4	-0,2°C
17	12:40	22,6	0,2°C
18	12:55	23	0,4°C
19	13:45	23,1	0,1°C
20	14:10	23,2	0,1°C
21	15:20	23,7	0,5°C
22	15:30	23,3	-0,4°C
23	15:40	22,8	-0,5°C

En función de los valores que se indican en la Tabla 15, considerando que la temperatura máxima que se obtuvo aquel día fue de 23,7°C y la mínima de 16,1°C, con motivo de simular y comprender el comportamiento de activación de las alarmas del sistema se muestran las siguientes Figuras 41 y 42, donde indican la disposición de operación del prototipo bajo los parámetros que se manifiestan en las Tablas 16 y 17. En las tablas mencionadas, se representan valores numéricos para poder visualizar las alarmas que se producen dado: un valor numérico establecido de temperatura y una variación de temperatura; representando en el sistema: alarma inactiva, alerta de riesgo y alarma activada; con valores de 0, 5 y 10, respectivamente; puede ser con cualquier valor numérico pero se lo realiza con estos valores para hacer más sencilla la comprensión de la simulación.

- Los valores para las alarmas por valores establecidos de temperatura son los que se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores simulación alarmas por valores establecidos de temperatura.

VALORES NUMÉRICOS TEMPERATURA	TIPO DE ALARMA	REPRESENTACIÓN EN EL SISTEMA
0 – 21 [°C]	ALARMA INACTIVA	0
21.1 – 22.8 [°C]	ALERTA RIESGO	5
22.9 [°C] en adelante	ALARMA ACTIVADA	10

- Los valores para las alarmas por variación de temperatura (ΔT) son los que se presentan a continuación, en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores simulación alarmas por variación de temperatura.

VARIACIÓN DE TEMPERATURA (ΔT)	TIPO DE ALARMA	REPRESENTACIÓN EN EL SISTEMA
0 – 0.4 °C	ALARMA INACTIVA	0
0.5 – 0.9 °C	ALERTA RIESGO	5
1.0 °C en adelante	ALARMA ACTIVADA	10

Cabe destacar que a través de las pruebas de validación de monitoreo del prototipo simplificado, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La velocidad de respuesta de la pantalla táctil TFT es de 2 segundos. Al igual que el cambio de pantallas entre los distintos menús y submenús.
- El sensor DHT22, la velocidad de adquisición de datos es de 2 segundos de que toma la medición de la temperatura y humedad.
- El uso de Leds y buzzer son indicadores para las alertas del sistema.
- La interfaz gráfica resulta visible y comprensible. Separando por partes e indicando cada variable que se ha medido.

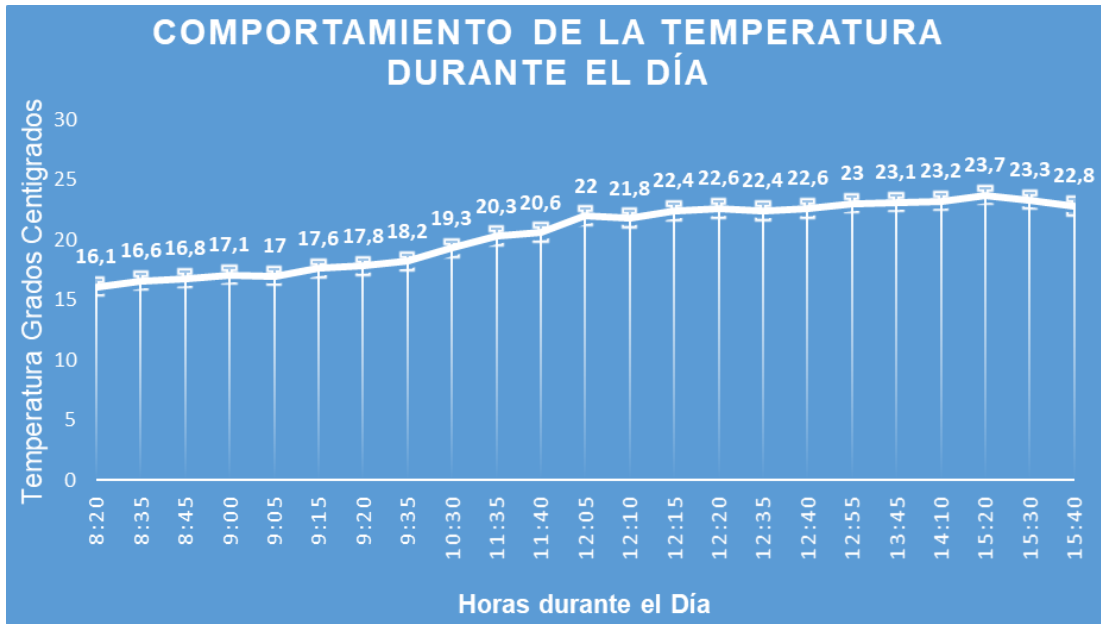


Figura 40. Comportamiento de la temperatura durante el día.

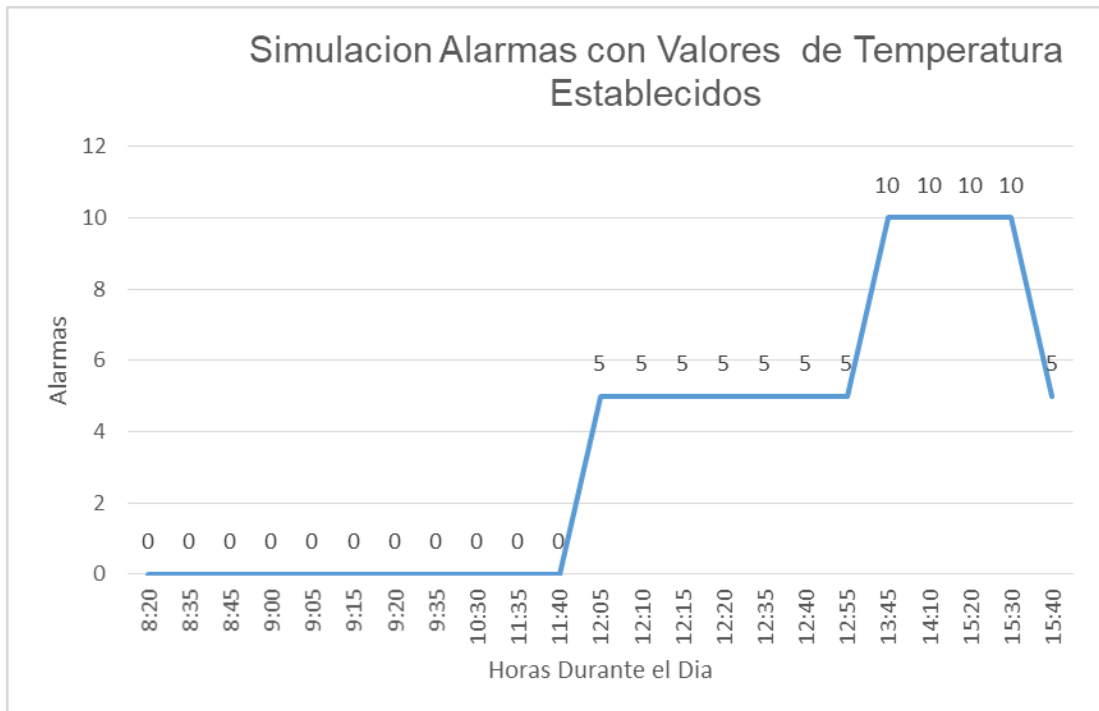


Figura 41. Simulación alarmas por valores establecidos de temperatura.

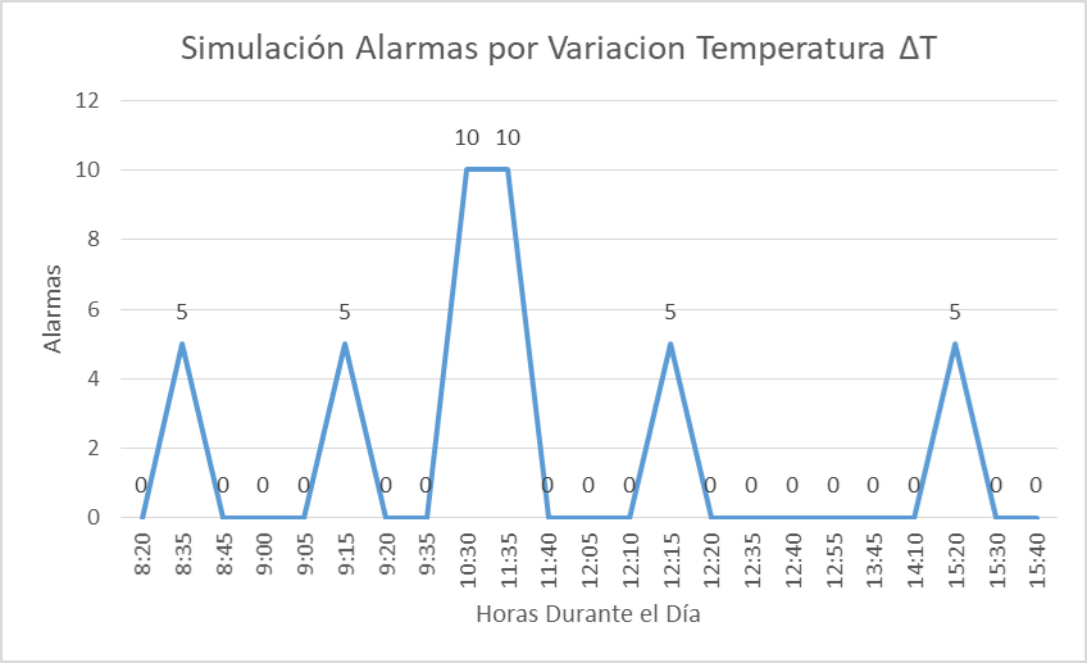


Figura 42. Simulación alarmas por variación de temperatura.

En las Figuras 41 y 42 se visualiza el funcionamiento de las alarmas durante las muestras tomadas en la Tabla 15. Se indica el comportamiento de operación del sistema en base a las Tablas 16 y 17.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- El establecimiento de los requerimientos del diseño, resultó una parte importante para el diseño del sistema, puesto que fue el punto de partida para establecer los elementos y operación del sistema. El desarrollo del proceso de diseño, se cumplió de manera satisfactoria dado que a través del análisis del problema y de los requerimientos del sistema, permitió seguir una planificación para el desarrollo del mismo. La integración de los distintos elementos electrónicos, permitió una comparación entre varios elementos del mismo tipo, para así seleccionar el más adecuado acorde al funcionamiento que requiere el sistema. Las especificaciones técnicas del prototipo, resultaron apropiadas para establecer la operación del sistema, la activación de las alarmas y el monitoreo de las variables.
- Se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto al monitoreo de la temperatura y humedad, el sistema funciona y se aconseja para alertar de manera temprana el inicio de un flagelo.
- Dado que no existen herramientas o sistemas técnicos de alerta temprana contra incendios forestales, resulta ser un prototipo de gran utilidad para monitorear las variables bajo parámetros establecidos. Además del beneficio funcional y de operatividad.
- Aunque tiene mayor relevancia el monitoreo de la temperatura sobre la humedad, debido a que tiene mayor relación con el fuego, resulta sumamente importante el monitoreo de la humedad en el ambiente; con el fin de conocer si se presenta en el entorno aire seco o aire húmedo, teniendo en cuenta que si el aire es seco resulta más propenso a generarse un incendio y principalmente tiende a mantenerse por más tiempo el fuego encendido.
- Considerando que no se encontró en el mercado sensores termovelocimétricos, se puede configurar al sensor DHT22 para que funcione como uno de ellos; se ejecutaría una doble función de alarma sobre el control del ambiente:

- Cuando se tiene una velocidad de aumento de la temperatura que excede un cierto valor durante un tiempo determinado (por variación de temperatura ΔT).
- Cuando la temperatura del ambiente excede un valor determinado durante un tiempo establecido.

RECOMENDACIONES:

- Dado que la temperatura y humedad en 30 minutos puede variar de forma brusca, se considera como un tiempo recomendable de monitoreo para el sistema, de mínimo 5 y máximo 10 minutos. Así se puede tener un control preciso sobre el ambiente.
- Se recomienda utilizar una caja o protección para el sensor y el sistema completo, donde se tiene una cobertura que sea de material plástico contra incendios. Puesto que así se evita la corrosión que poseen los metales y además se protege del calor y humedad que afectan durante los días más calurosos. El material PVC (Cloruro de Polivinilo) es de gran ayuda para proteger a los elementos del sistema frente al ambiente exterior y al fuego, puesto que es un material de baja inflamabilidad y auto-extinguible, es decir no propaga la combustión y se extingue.
- Resultan ser parte integral de los riesgos urbanos del DMQ los incendios forestales. Las problemáticas de estos eventos revelan que este tema se debe incluir en las agendas de reducción de riesgos, como parte integral de la gestión urbana.
- Aunque el tamaño de la pantalla TFT de 3.2" con una resolución de 240x320 RGB, se recomienda utilizar una pantalla de mayores dimensiones y resolución, para una visualización detallada de las variables de medición.
- Se recomienda poner a los sensores en un lugar que no queden expuestos a la luz solar directa, puesto que la irradiación afecta en la medición de las variables.

- El uso de cámaras térmicas y de monitoreo sobre las áreas o bosques que se desea supervisar, harían más eficiente el sistema en la detección de alerta temprana de un incendio forestal.
- Se recomienda el uso de baterías secundarias para los controladores, en caso de ausencia de energía eléctrica.
- Se requiere de mayor capacitación y culturización en la sociedad, para crear conciencia de los riesgos, pérdidas y desastres que ocasionan estos flagelos. Puesto que una inversión ayudaría a reducir los gastos que se tienen por pérdidas en base a los incendios forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, R. (2015). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para el control de incendios en las bodegas de la empresa federick store cia. Ltda.* Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Alcalde, P. (2017). *Reglamento electrotécnico para Baja Tensión.* Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A., 2017. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=-2kpDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Arduino. (2017). *Arduino.* Obtenido de <https://www.arduino.cc>
- Bomberos de Navarra. (2012). *Asociación deportiva y cultural Bomberos de Navarra.* Obtenido de <http://www.bomberosdenavarra.com/>
- Castell, R. (2012). *Bomberos de Navarra.* Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiB3KuJnp3UAhUBUyYKHZNaC5lQFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.navarra.es%2Fappsext%2FDescargarFichero%2Fdefault.aspx%3FCodigoCompleto%3DPortal%40%40%401_Parte_Incendios_
- Centre d'Estudis del Risc Tecnològic. (2007). *Estudio de la temperatura de llama en incendios forestales.* Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93747/05CAPITULO3.PDF?sequence=5&isAllowed=y>
- Cuerpo de Bomberos Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Plan de Prevención y Respuesta para Incendios Forestales del Distrito Metropolitano de Quito.* Quito: Municipio.
- Domótica y Automatización S.L. (2013). *DOMAUT.* Obtenido de http://www.domaut.com/Alarmas_tecnicas.htm

- El Telégrafo. (Septiembre de 2015). *El Telégrafo*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/1/el-60-de-los-incendios-forestales-en-quito-y-otras-zonas-del-pais-es-intencional>
- Espressif Inc. (2016). *Espressif Systems*. Obtenido de <https://espressif.com>
- Estructplan. (Noviembre de 2006). *estructplan*. Obtenido de <http://www.estructplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1930>
- Garnica, J., & Flores, G. (2009). *Incendios Forestales*. Mexico: Mundiprensa 1 ed.
- Google Inc. (2017). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps>
- INAMHI. (2017). *Informacion historica de temperaturas y vientos máximos y mínimos en Quito*. Quito: INAMHI.
- Infoagro Systems. (2017). *Infoagro*. Obtenido de http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_anemometro_velocidad_viento.asp?k=80
- INTEF. (2017). *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado*. Obtenido de <http://educalab.es/intef>
- International Electrotechnical Commission. (2017). *IEC*. Obtenido de <http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:6:0##ref=menu>
- ITEAD. (2015). *ITEAD*. Obtenido de https://www.itead.cc/wiki/Nextion_HMI_Solution
- ITEAD. (2017). *ITEAD*. Obtenido de <https://www.itead.cc/>
- Labcenter Electronics Ltd. (2017). *Proteus*. Obtenido de <https://www.labcenter.com>
- meteorITo. (2017). *meteorITo*. Obtenido de <http://www.meteorito.mx>
- Microchip. (2017). *Microchip Technology Inc.* Obtenido de <http://www.microchip.com/>

- National Fire Protection Association. (2016). Obtenido de <http://www.nfpa.org>
- National Fire Protection Association, Inc. (2003). *Operation of fire protection systems*. Massachusetts: Omegatype.
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. Obtenido de www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_1.html
- Panama Hitek. (8 de Febrero de 2014). *Panama Hitek*. Obtenido de <http://panamahitek.com/dht22-sensor-de-humedadtemperatura-de-precision-para-arduino/>
- PROMETEC. (2017). *PROMETEC*. Obtenido de <http://www.prometec.net/>
- ProViento S.A. Energías Renovables Ecuador. (2007). *ProViento*. Obtenido de <http://www.proviento.com.ec/anemometros.html>
- Raza, L. (2009). *Diseño y construcción de un sistema de detección y alarma contra incendios*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- SainSmart. (2015). *SainSmart*. Obtenido de <https://www.sainsmart.com/>
- Santamaría Germán, C. O. (2009). *Electrotecnia*. Madrid: EDITEX. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=lnJQF6oEhkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sebastian, T., & Juan, G. (2013). *Instalaciones de Distribucion*. Madrid: EDITEX.
- System Sensor. (2015). *System Sensor*. Obtenido de <http://www.systemsensorla.com/>
- Top Cable. (2017). *Topcable*. Obtenido de <http://www.topcable.com/blog-electric-cable/los-cables-sz1-k-as-y-rz1-k-as-son-equivalentes/>
- Universidad Autónoma De Nuevo León. (Enero de 2010). *Incendios Forestales*. Obtenido de <http://incendiosfcf.blogspot.com/>

- Universidad Tecnológica de Pereira. (2014). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2014/04/temperatura-adiabatica.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1.

Esquema del circuito electrónico del sistema prototipo

