



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMÓTICA INTERACTIVA 3G  
PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO**

**Philip Israel Salvatierra Weston**

Asesorado por el MA. Ing. Eduardo Loukota Castellanos

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMÓTICA INTERACTIVA 3G  
PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**PHILIP ISRAEL SALVATIERRA WESTON**

ASESORADO POR EL MA. ING EDUARDO LOUKOTA CASTELLANOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a. i.)

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMÓTICA INTERACTIVA 3G  
PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 31 de octubre de 2015.



**Philip Israel Salvatierra Weston**



ESCUELA DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO



Escuela de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería

Teléfono 2418-9142/2418-8000 Ext. 86226

Ref. Área de Aplicación y Transferencia Tecnológica

Guatemala, 31 de octubre de 2015

Msc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

Director

Escuela de Estudios de Posgrado

Estimado MSc. Ing. Paiz Recinos:

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Diseño de investigación titulado: **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMOTICA INTERACTIVA 3G PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO"**, del estudiante **Philip Israel Salvatierra Weston**, identificado con número de carne: **200120520** del Programa de **Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**.

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, coherencia con lo establecido en el normativo de tesis y trabajos de graduación tanto en su estructura como en su contenido. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Msc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk  
Coordinador

Msc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk

Coordinador

Escuela de Estudios de Posgrado

cc. archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnología de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento.



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226**

AATT-MTIPP-002-2015

Guatemala, 26 de septiembre de 2016.

Director:

**Francisco Javier González López**  
Escuela de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Philip Israel Salvatierra Weston** con carné número **2001-20520**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Edgardo Loukota Castellanos  
Asesor (a)  
**Edgardo Loukota Castellanos**  
**Ingeniero Electrónico, Colegiado 5,007**

MSc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk  
Coordinador de Área  
Aplicación y Transferencia Tecnológica

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/LA



REF. EIME 62.2016.

Guatemala, 26 de OCTUBRE 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMÓTICA INTERACTIVA 3G PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO** presentado por el estudiante universitario **Philip Israel Salvatierra Weston**, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López  
Director

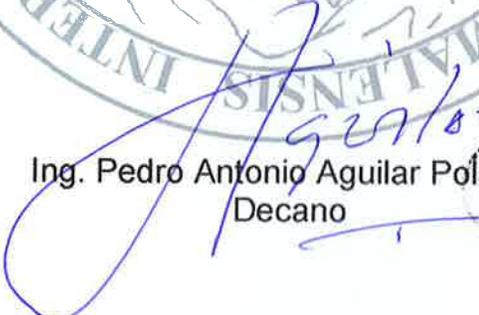
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPO DE ARQUITECTURA DE DOMÓTICA INTERACTIVA 3G PARA AUTOMATIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN, VENTILACIÓN Y ACCESO A UN RECINTO**, presentado por el estudiante universitario: **Philip Israel Salvatierra Weston**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero de 2017

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
INTRODUCCIÓN.....	V
1. ANTECEDENTES.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. OBJETIVOS.....	13
5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	15
5.1. Necesidades a cubrir.....	15
5.2. Esquema de la solución.....	16
5.2.1. Componente DLA o Dispositivo Local Administrador.....	18
5.2.2. Componente SI2 o Sistema de Información de la Infraestructura.....	20
5.2.3. Componente MCD o Monitoreo y Control a Distancia.....	22
6. ALCANCES.....	25
6.1. Perspectiva investigativa.....	25
6.2. Perspectiva técnica.....	26
6.3. Resultados esperados.....	27

7.	MARCO TEÓRICO .....	29
7.1.	Domótica y automatización del hogar .....	29
7.2.	Redes de telecomunicaciones y comunicación 3G .....	30
7.3.	Eficiencia de la energía en clientes móviles para arquitecturas con servidores en la nube .....	32
7.4.	Sensores optoelectrónicos y actuadores electrónicos .....	35
7.5.	Eficacia de la ventilación .....	36
7.6.	Iluminación artificial y natural .....	38
7.7.	Modelos matemáticos y técnicas de agrupación .....	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	43
9.	METODOLOGÍA .....	45
9.1.	Tipo de investigación .....	45
9.2.	Variables e indicadores .....	47
9.3.	Fases .....	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	55
10.1.	Experimentación .....	55
10.2.	Estadística descriptiva .....	55
11.	CRONOGRAMA .....	57
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	61
12.1.	Recursos operativos .....	61
12.2.	Recursos técnicos .....	61
12.3.	Factibilidad económica .....	62
	BIBLIOGRAFÍA .....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de componentes del sistema tecnológico.....	17
2.	El componente DLA .....	18
3.	El componente SI2.....	21
4.	Los componentes MCD.....	23
5.	Procesos del sistema propuesto. ....	46
6.	Fases de la investigación. ....	52
7.	Cronograma de las fases .....	57

### TABLAS

I.	Variables del sistema de sensores (experimental) .....	47
II.	Indicadores del sistema de control (experimental).....	49
III.	Variables del sistema informático y componente móvil.....	50
IV.	Cronograma .....	58
V.	Costo pagado del proyecto .....	63
VI.	Costo real del proyecto .....	65



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la domótica es una rama de estudio en crecimiento con potencial de investigación y de aplicación de tecnologías de la información que permitan el uso de sensores y actuadores distribuidos en recintos habitacionales e industriales, con la finalidad de captar información del entorno y poder retroalimentar al usuario, quien a su vez podrá utilizar esa información para tomar una decisión basada en las necesidades del recinto. Las propuestas de domótica existentes permiten al usuario enviar un comando desde un móvil que ha sido programado en el sistema para encender el alumbrado de una casa, y hasta activar sistemas de irrigación en los jardines a determinadas horas, entre otras cosas, mediante una previa configuración local.

Las diferencias básicas entre los sistemas disponibles son los actuadores y el elemento bajo control. Estos constituyen una forma inteligente de hacer uso de los recursos disponibles para un recinto; sin embargo no se considera a nivel microeconómico la relación entre costo-beneficio como resultado de un sistema de control que permita reducir el gasto de luz en iluminación y ventilación, que es un gasto comúnmente elevado para los recintos habitacionales o donde se establecen pequeñas o medianas empresas.

El problema de la intervención activa del usuario no permite utilizar la información que el sistema está generando y pueden ignorarse tendencias que pudieran dar alertas al sistema, de manera que cambios naturales en la iluminación, ventilación o acceso requeridos en el recinto puedan ser evidenciados por el sistema y así solicitar la intervención del usuario.

Sin embargo es también propuesto que el sistema mismo ejecute el reajuste, evitando la intervención necesaria del usuario, quien deberá actuar únicamente por motivos diferentes a la autorregulación del sistema, es decir porque desee ingresar un cambio por razones distintas a las del sistema. La climatización del recinto estará entonces sujeta a los factores externos e internos, según prioridades en la toma de decisiones con miras a ajustar los desbalances del sistema. La personalización podrá ser ejecutada por el usuario y después de un tiempo este cambio será corregido por el sistema. Todo cambio interno o externo puede ser monitoreado a través de la red 3G, para dar evidencia de la automatización en el control de recursos en un recinto.

La solución analizará información del sistema de control de sensores y actuadores, evaluando los estados iniciales y comparándolos con los estados capturados a través de un sistema informático donde se almacenará la información histórica de uso del sistema, y a partir del análisis se podrán encontrar relaciones entre los modelos de iluminación, ventilación y acceso de la población a un recinto.

A través del presente trabajo se documenta cómo es posible construir una solución como tal desde cero, tomando en cuenta factores internos y externos a un recinto y permitiendo el uso de dispositivos móviles para enviar datos usando la tecnología de comunicación 3G. En el capítulo 1 se destacan las soluciones presentadas por otros autores para utilizar sistemas de control de distintos elementos, desde luz y agua, con distintos presupuestos y destacando la comunicación inalámbrica para envío de información; las fortalezas y limitantes de los diseños se resumen con base en el problema central y las preguntas orientadoras; en el capítulo 2 se establecen las bases que dan la justificación de esta investigación de acuerdo con los objetivos generales y específicos.

En el capítulo 3 se especifica en qué aspectos específicos se busca satisfacer la necesidad identificada en el problema central, y se detalla el alcance del trabajo, identificando las expectativas y límites de la investigación que culmina con la redacción del informe final. El capítulo 4 comprende el desarrollo del marco teórico incluyendo los aspectos de construcción de un sistema de domótica a base de sensores y actuadores, las comunicaciones entre los dispositivos, el uso óptimo de los dispositivos móviles, los parámetros necesarios de verificación para niveles de iluminación y ventilación, modelación matemática derivada del análisis de los datos a través de la estadística y relaciones entre las variables, el uso de algoritmos para validar los datos y la creación de modelos matemáticos para situaciones concretas.

En el capítulo 5 se establece el marco metodológico, definiendo el tipo de investigación seleccionado para elaborar el trabajo, proponiendo las variables de entrada y salida del sistema, y estableciendo las fases necesarias para la elaboración del prototipo que servirá de referencia y modelo para la evaluación de los resultados de la investigación. Los resultados se presentan y analizan en los capítulos 6 y 7 y a partir de estos se obtienen las conclusiones y recomendaciones esperadas, al concluir la elaboración del trabajo de graduación de la maestría en Tecnologías de la Información y Comunicación.



## 1. ANTECEDENTES

En los últimos años, los sistemas de domótica y automatización de controles en el hogar han visto un rápido crecimiento en términos de tecnologías y soluciones de bajo costo. De acuerdo con el internet de las cosas, el uso de identificadores de radio-frecuencia (RFID), *stacks* de direcciones IP reservadas para servidores y clientes web, y la aparición de objetos cotidianos inteligentes para capturar información del entorno, pueden llegar a realizar y gestionar distintos tipos de tareas cotidianas (Mattern y Floerkemeier, 2012).

La tecnología RFID puede contar el número de objetos “sensibles” cercanos a un “lector” a través del código o ID de radiofrecuencia, según la resonancia eléctrica en pequeños circuitos en cada objeto. Estos se han utilizado ampliamente en situaciones controladas, por ejemplo en el supermercado y en los predios de autos para controlar qué tipos de objetos salen del área de control. Los datos obtenidos pueden identificar al objeto e incluso contener información adicional sobre el objeto en términos del negocio. Esta tecnología no permite las consultas de datos del objeto fuera del área de control, dificultando la comunicación de información en áreas remotas al recinto.

Según Dietrich (2009), se entiende como automatización a la utilización de cualquier tipo de control de procesos y de la retroalimentación para el autoajuste o autorregulación. En sus inicios se asociaba más que todo a procesos mecánicos de motores y válvulas que reemplazaron las acciones manuales en ciertos procesos. A partir de controles eléctricos a distancia, se permitía operar estos aparatos electromecánicos, según fuere necesario.

Con el avance de la tecnología este pensamiento netamente industrial comenzó a tomar una nueva ruta hacia el reemplazo de los controles mecánicos en la industria automotriz, por ejemplo, por sistemas más flexibles y precisos de automatización por medio de sistemas de computación y actuadores electrónicos.

Los sistemas de domótica buscan recortar los costos derivados de gastos en recursos energéticos, generando consciencia de la utilización irresponsable de los mismos, al concebir lo invaluable e irremplazable que pueden llegar a ser estos recursos.

Las observaciones de Watson et al. (2010) sobre la utilización de recursos de manera irresponsable, los lleva a proponer un sistema teórico y general de control integrado del uso de la energía eléctrica resumido a continuación: el usuario debe conocer a detalle el consumo generado por un objeto del sistema en particular, y el proveedor del recurso deberá colocar un sistema de objetos sensibles que devuelvan la información necesaria para identificar picos o patrones de alto consumo, con la finalidad de optimizar el uso de los recursos en un sistema.

La propuesta requiere ciertos pasos: coleccionar datos de los sensores en la red, transmitir la información capturada para cambiar los valores de variables del entorno, alimentar esta información a un conmutador o administrador, monitorear los estados de cada objeto sensible, y retroalimentar la información que permita los cambios necesarios para la optimización del sistema.

Estos conceptos aplicados dan como resultado que el costo derivado de la utilización de un recurso por cada objeto sensible, en un ambiente donde el usuario y el proveedor colaboran abiertamente, identifican la información crítica

para incrementar la eficiencia del uso compartido de los recursos, pero no indican un patrón para la ejecución de los conceptos. La utilización de métodos específicos y tecnologías existentes combinadas ha sido documentada para comunicación entre el sistema y los objetos sensibles, con la finalidad de reducir costos de implementación y revelar deficiencias en la puesta en marcha.

Madan y Reddy (2012) establecen una exhaustiva comparación entre diferentes sistemas de control de dispositivos periféricos con bajo costo de implementación y que utilizan tecnologías de comunicación IR, Zigbee, Internet, Bluetooth y GSM, agregando la descripción de las unidades centrales de control y detallando el tipo de microcontrolador, memoria EEPROM, módulos de comunicación a las tecnologías usadas, detallando los costos de incluir un sistema de computación e indicando las razones para reducir el total de costos de un sistema de control, detallando los sensores utilizados para capturar iluminación entre otros, a través de dispositivos periféricos que interconectan los sensores y retroalimentan la información proveniente de los mismos para monitoreo de los valores nominales de las variables del entorno.

Ellos resumen que todas los sistemas de control cumplen su función y destacan un sistema versátil que utiliza tanto Bluetooth y GSM para la comunicación de la siguiente manera: a través de GSM recibe comandos y envía alertas a personas remotas y lejos de la unidad de control, pagando costos del operador de la red; por medio de Bluetooth pueden enviarse datos al detectar que estas personas están cercanas a la unidad de control, pues cuenta con ambos módulos conectados a la unidad central de control.

El sistema informa al usuario cuando la información de los sensores supera el límite configurado de la iluminación al momento de ser capturada por sensores infrarrojos y predispone el sistema para la recepción de acciones

correctivas enviando mensajes DMTF con el teclado del teléfono celular del usuario; sin embargo este sistema supone que el usuario memorizará los comandos y el número de los actuadores, a fin de enviar los comandos que dan un contexto técnico o de administrador al encargado de enviarlos, ya que por la tecnología GSM no puede monitorearse la información en tiempo real.

En un caso similar, Huang et al. (2010) proponen un sistema de bajo consumo de energía eléctrica acoplando tecnologías WSN y GSM. El sistema utiliza un microprocesador de 8 bits que requiere transformar valores de análogo a digital por medio de un circuito adicional (a pesar de que existen microcontroladores que contienen estos módulos A/D). Tanto la PC como un móvil son utilizados para la comunicación, lo que incrementa el costo total del sistema, en comparación con otros que no utilizan o dependen de estos accesos a la red de internet, sin embargo permiten control en tiempo real a través de WSN.

El ancho de banda utilizado limita el área de recepción a únicamente el recinto (WSN), mientras que la información enviada por GSM puede ampliar la distancia de recepción en redes que aún utilicen GSM como tecnología de comunicación para la información enviada por los sensores; además, carece de un sistema informático para aprovechar la arquitectura de comunicación entre servidores y clientes, y no puede analizar la información del sistema para optimizar el control de los sensores y actuadores.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, el uso de las tecnologías de comunicación difundido a través de las compañías de telecomunicaciones tiene el potencial para ser utilizado en domótica del hogar o del sector privado, a fin de reducir el consumo energético; por ejemplo al mantener luces encendidas por algún motivo o incluso por cuestiones de seguridad. “El internet de las cosas prevé incluir la interacción entre múltiples objetos cotidianos inteligentes que capturen datos y los utilicen para ejecutar acciones que apoyan la manera de vivir” (Mattern y Floerkemeier, 2012).

Las tecnologías de comunicación deben permitir que aplicaciones de domótica envíen datos de voz, video y otros para facilitar la vida y apoyar al monitoreo y regulación del uso de recursos compartidos.

“La automatización inicia con la sustitución de procesos netamente manuales o mecánicos por procesos eléctricos que son accionados desde una unidad de control remota; estos datos se comparan con valores de un modelo de estado y a partir de ahí se accionan cambios a través de actuadores para ajustar el estado al modelo esperado” (Dietrich et al., 2009). Los procesos mecánicos son reemplazados por completo debido a la alta flexibilidad y precisión de los sistemas de automatización computarizados.

El reemplazo de la necesidad del operador en cualquier sistema por máquinas autogestionadas es el resultado del diseño presentado por Conte y Scaradozzi (2005) para regular el consumo de agua fría, agua caliente y electricidad entre aparatos electrodomésticos que los requieren.

La comunicación es a través de las líneas de potencia de la casa, usando un protocolo especial con adaptadores WESA (*Wrap Enabled Smart Adapters*), que codifican información de la carga eléctrica consumida por un aparato en un determinado momento. Esto permite que se evalúen reglas globales de consumo de energía, asignando prioridades del consumo energético (y por ende de los recursos compartidos). Las deficiencias de este sistema son el alto costo de implementación y la poca o nula escalabilidad de tecnología de comunicación inalámbrica novedosa y más reciente, para monitoreo remoto del sistema.

Madan y Reddy (2012) proponen un sistema que utiliza Bluetooth y GSM para comunicación inalámbrica de corto y largo alcance, respectivamente. El resultado inmediato es la reducción de costos de utilización de la red GSM nacional, por medio de Bluetooth, al estar dentro del rango de la tecnología (unos cuantos metros). Estos sistemas retroalimentan la información de los sensores y están capacitados para enviar alertas del monitoreo.

El sistema procesa datos en bruto sin analizar a fondo la información, donde la función de automatizar o autorregular el sistema no queda claramente definida. El sistema resultante es reactivo a las necesidades de reajustes según los valores devueltos por los sensores.

Un problema adicional es la utilización de circuitería de soporte (microcontroladores, memorias EEPROM, convertidores A/D) entre los sensores y la unidad central de control que limitan la capacidad de almacenamiento de datos. El almacenamiento reducido no permite el acceso a registros históricos de uso de los sensores para tareas administrativas y de control, pues los datos una vez son utilizados por retroalimentación al sistema, salen del mismo y quedan truncados.

El uso de tecnologías 2G para la implementación de estos sistemas de control resulta una limitante para nuevos requerimientos de propuestas que dependan de inmediata disponibilidad de la red, tasas mayores de envío y recepción de datos, y reducción de los cargos de la red aplicados de acuerdo con el volumen de datos enviados (Inamura et al., 2003). Tecnologías como GSM limitan la velocidad de transmisión de datos a 10-20 kbps de subida o bajada a través del switch 2G, para las comunicaciones digitales.

La velocidad de transmisión y el uso del espectro de comunicación de GSM pueden tener un impacto negativo en un sistema que requiera el uso de calidad del servicio (QoS), envío de datos, voz y *streaming*, por mencionar algunas características de servicios que pueden ser incluidos en el sistema de control interactivo de acuerdo con los requerimientos de comunicación.

Por esta razón se hace la siguiente pregunta:

¿Es posible implementar una arquitectura tecnológica de domótica interactiva por medio de la red 3G nacional para monitoreo y control de la iluminación, ventilación y acceso a un recinto en viviendas de nivel medio guatemaltecas?

Asimismo, se evalúan las preguntas auxiliares para poder responder la pregunta principal:

- ¿Qué configuración puede integrar los dispositivos del sistema de control a la red 3G para envío de datos que ofrezcan características innovadoras de monitoreo y control a distancia?

- ¿Qué diseño de arquitectura tecnológica interactiva permite un óptimo procesamiento de datos y alto rendimiento en análisis de información?
- ¿Qué algoritmo de agrupación puede obtener el mayor porcentaje de exactitud en predecir los cambios naturales en las variables críticas (ventilación, iluminación y población) según modelos de estados?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de graduación corresponde a la línea de investigación de Tecnologías de la Información y la Comunicación para apoyo al desarrollo humano nacional porque desarrolla un prototipo de arquitectura tecnológica de domótica interactiva que permite implementar un sistema de control del uso de recursos energéticos en viviendas de nivel medio, así como en pequeñas y medianas empresas en Guatemala.

Existen sistemas de control que permiten controlar desde iluminación hasta uso del agua entubada; sin embargo estos sistemas no pueden representar ni ejecutar una verdadera automatización de los controles. La verdadera automatización se debe buscar a través del análisis de información tomada de los sensores, y la ejecución de algoritmos para agrupar y predecir los ajustes necesarios en el sistema, el cual debe contar con una interfaz de usuario final simple y precisa, siendo esto un campo con alto potencial para la innovación en el manejo y monitoreo de un sistema de domótica automatizado a través de la red 3G nacional.

Los sistemas tradicionales permiten que un administrador tenga a cargo la reducción de costos energéticos; se construyen con un presupuesto moderado, dando como resultado variadas formas de ser aplicados, pero únicamente a través de técnicas de análisis de la información se podría llegar a tener modelos matemáticos de los distintos usos que sean permitidos en el sistema, y utilizando algoritmos de agrupación que determinen si el cambio más reciente puede clasificarse bajo alguno de los modelos de estado esperados o pone en desbalance el sistema.

El prototipo será regido por valores de las variables del sistema, alimentadas por los sensores de iluminación y ventilación dentro de los límites configurados. De acuerdo con el tipo de algoritmo que sea utilizado, el sistema puede requerir personal encargado de calibrar los controles y de hacer pruebas de funcionamiento para obtener datos que serán incluidos en el análisis, permitiendo una herramienta de automatización eficiente y de mejora continua.

Para realizar esto es necesario incorporar una arquitectura de sistemas al sistema de control electrónico o electromecánico, para permitir que la información enviada al sistema de control alimente la base de datos a través de dispositivos de comunicación 3G, que en su mayoría tendrán potencia limitada estando sujetos a la carga en la batería. Cada nodo podrá comunicarse hacia el sistema central a través de la red operante del país, ejecutar las tareas necesarias para análisis, y devolver un comando para los actuadores en los nodos, reduciendo el costo de potencia para procesar la información localmente, haciendo más eficiente el uso de potencia en los dispositivos de comunicación.

El concepto del internet de las cosas identifica la captura de datos propios de un ambiente, almacenando información de cambios percibidos en los modelos de estado, y utilizando algoritmos sobre la información. El gobierno del flujo de información permite que se trate a la información como el bien más crítico del cliente, bajo el marco de la iniciativa privada, lo que resultará en acuerdos de confidencialidad, mayor eficiencia en el manejo de datos, en la arquitectura del sistema de control, y analizando la dependencia tecnológica resultante.

Los resultados pueden apoyar la investigación en el campo de domótica y automatización de controles en el hogar o en empresas pequeñas y medianas.

Es también importante subrayar el tema de dependencia tecnológica que pueda generar este tipo de productos, considerando el impacto actual de fallas reportadas en el servicio eléctrico por ejemplo.



## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Implementar una arquitectura tecnológica de domótica interactiva por medio de la red 3G nacional para monitoreo y control de iluminación, ventilación y acceso a un recinto en viviendas de nivel medio guatemaltecas.

### **Específicos**

1. Integrar dispositivos del sistema de control a través de la configuración de los módulos 3G para envío de datos entre el sistema, ofreciendo características innovadoras de monitoreo y control a distancia.
2. Diseñar la arquitectura tecnológica para el procesamiento óptimo de los datos y alto rendimiento en análisis de información.
3. Seleccionar el algoritmo de agrupación que obtenga el mayor porcentaje de exactitud en predecir los cambios naturales en las variables críticas (ventilación, iluminación y población) según modelos de optimización de recursos.



## **5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

### **5.1. Necesidades a cubrir**

A nivel nacional se pretende cubrir la escasa oferta de soluciones tecnológicas novedosas que permitan automatizar el control de diferentes aplicaciones que consumen energía de manera regular o irregular en las casas y recintos de trabajo, específicamente en iluminación y ventilación, apoyando la sustentabilidad de los recintos para viviendas y la rentabilidad de negocios y del propio sistema de control.

La regulación automática de insumos a través de la administración y análisis de la información recolectada por el sistema propuesto, puede apoyar al uso inteligente de los recursos y minimizar los costos de operación, aun agregando el costo de la tecnología en comunicación necesaria, envío de datos desde los sensores a la unidad de control; pudiendo impactar positivamente en la economía de los hogares guatemaltecos, así como en pequeñas y medianas empresas que deseen gestionar el uso de recursos compartidos.

El prototipo podrá ser evaluado en el desempeño de acciones que puedan contribuir a la reducción del costo de energía eléctrica utilizado en un recinto, según el histórico de gastos en energía eléctrica. La iniciativa privada y los inversionistas pueden hacer las evaluaciones necesarias para validar el mercado y ofrecer una gama de productos, a fin de comercializarlos y encontrar el retorno de la inversión en un tiempo óptimo.

El sistema de control propuesto no intenta atraer a inversionistas para ser comercializado, pues deja las bases para la creación de varios productos que puedan ser utilizados en un futuro, para encontrar relación entre calidad y costos en la construcción de viviendas y negocios con esta tecnología, en donde se puedan utilizar los resultados de la presente investigación y cuyo resultado sean sistemas de control integrales con el recinto y totalmente automatizados.

## **5.2. Esquema de la solución**

Los sistemas de control integrales para el hogar carecen en su gran mayoría de un sistema informático central que permita guardar y analizar la información, funcionando como espina dorsal en una arquitectura de sistemas, donde la unidad central de procesamiento ahora reemplaza al microcontrolador y memorias EEPROM de bajo costo, que sin embargo operaban con capacidades reducidas de procesamiento y almacenamiento a largo plazo.

El sistema de domótica propuesto provee de esta forma almacenamiento virtualmente ilimitado de la información, tanto aquella recibida por los sensores como la que es enviada hacia los actuadores, sin dejar afuera la que contenga los comandos que puedan ser enviados desde la unidad móvil, usando protocolos óptimos de transmisión de datos para mejorar los tiempos de retroalimentación del sistema.

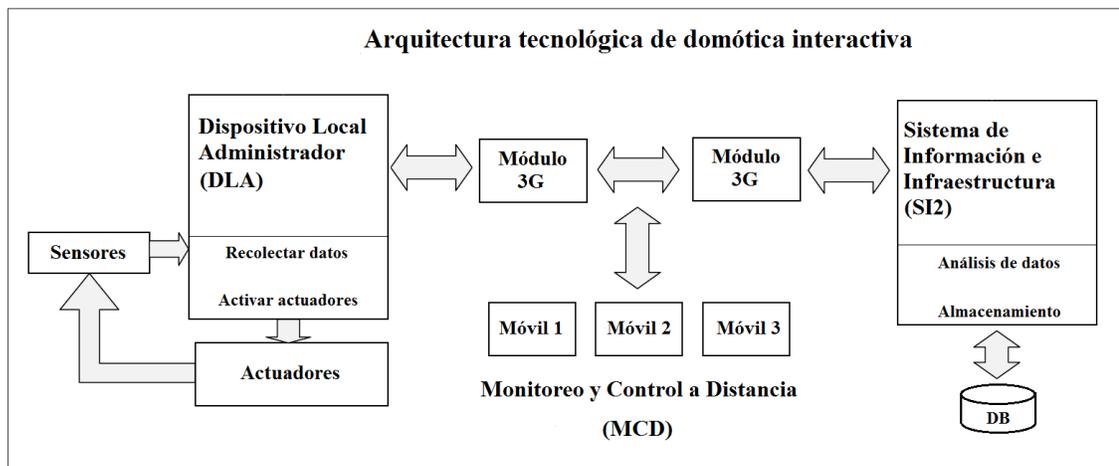
Se definirán modelos de estados predefinidos de valores iniciales, máximos, y mínimos, así como modelos promedio obtenidos de las variables del entorno que apoyen la identificación de puntos de desbalance del sistema, debido a cambios naturales o por resultado del clima exterior al recinto, ajenos

al usuario y administrador, o aquellos cambios propios al haber ejecutado la instrucción de un comando recibido por el sistema central.

Estos puntos de desbalance permitirán que las rutinas de ajuste puedan modificar el estado actual de ciertos actuadores, cuyo resultado final es restablecer el balance del recinto, según los modelos de estados predefinidos que puedan variar de acuerdo con la hora, las condiciones climáticas externas u otros factores que a su vez garanticen la permanencia de los individuos dentro del recinto, al mismo tiempo que se optimizan los recursos para reducir los costos de la energía eléctrica.

Este esquema requiere que un sistema de control automatizado y de bajo costo pueda almacenar y dar análisis a la información obtenida en la interacción entre componentes, ilustrado en la figura 1.

Figura 1. **Diagrama de componentes del sistema tecnológico**



Fuente: elaboración propia, utilizando el Microsoft Paint.

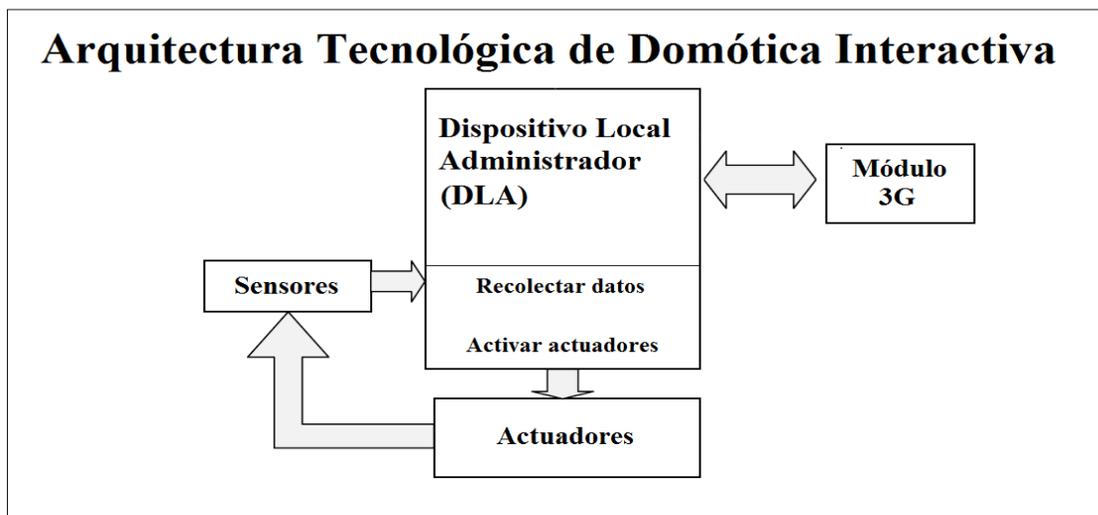
No existe límite para el número de componentes DLA o MCD interconectados al componente central SI2, debido a esto el sistema resultante puede llegar a escalarse tecnológicamente a dimensiones mayores.

Queda fuera del alcance de este trabajo identificar los límites de operación debido a múltiples componentes en particular el componente DLA. Sin embargo, parte del esquema de la solución es hacer un detalle de la tecnología utilizada para la construcción de los componentes del sistema, a fin de garantizar su funcionamiento independiente de los otros componentes.

### 5.2.1. Componente DLA o Dispositivo Local Administrador

Equipo de control local dentro el recinto con capacidad de interconectar sensores y actuadores al módulo 3G para transmisión de los datos de estado al componente principal del sistema. En la figura 2 se detalla la tecnología que involucra el componente DLA.

Figura 2. El componente DLA



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Paint.

Dependiendo de las dimensiones del recinto, pueden ser necesarios dos o más de estos componentes para conectar a los sensores y actuadores, eficientemente. Cada componente DLA reporta independientemente los datos recibidos de sus sensores y actuadores al componente central SI2.

La interacción entre actuadores y sensores se da al tener un sensor en la cercanía de un actuador en posición específica, por ejemplo, captar el haz de luz de una lámpara específica y corresponder a un estado encendido o apagado. El trabajo del sensor es transformar la cantidad de luz captada y retroalimentarla al bloque del DLA. Este es en esencia un microprocesador que utiliza módulos integrados, entre ellos el módulo convertidor análogo-digital que muestra y convierte señales analógicas a bits, que luego son transmitidas al módulo 3G a través de un módulo RS-232 de comunicación serial.

Esto requiere de una memoria temporal I que se utilizará como *buffer* para los datos convertidos de análogo a digital por los sensores. En algunos casos no se requiere convertir de análogo a digital por tratarse de variables discretas (encendido o apagado).

En síntesis, el componente DLA es un circuito elaborado con un microprocesador que envía los datos a través del módulo 3G, que se conecta a través de un módulo RS-232 a fin de normalizar el flujo de datos a ser enviados a través de la red 3G. Por otro lado, no existe una conexión directa entre actuadores y sensores, sin embargo un actuador puede tener uno o varios sensores que permitan captar los cambios de estado de los actuadores.

Existen varios modos de posicionar sensores que permita monitorear a los actuadores. Algunos sensores no estarán directamente colocados en cercanías

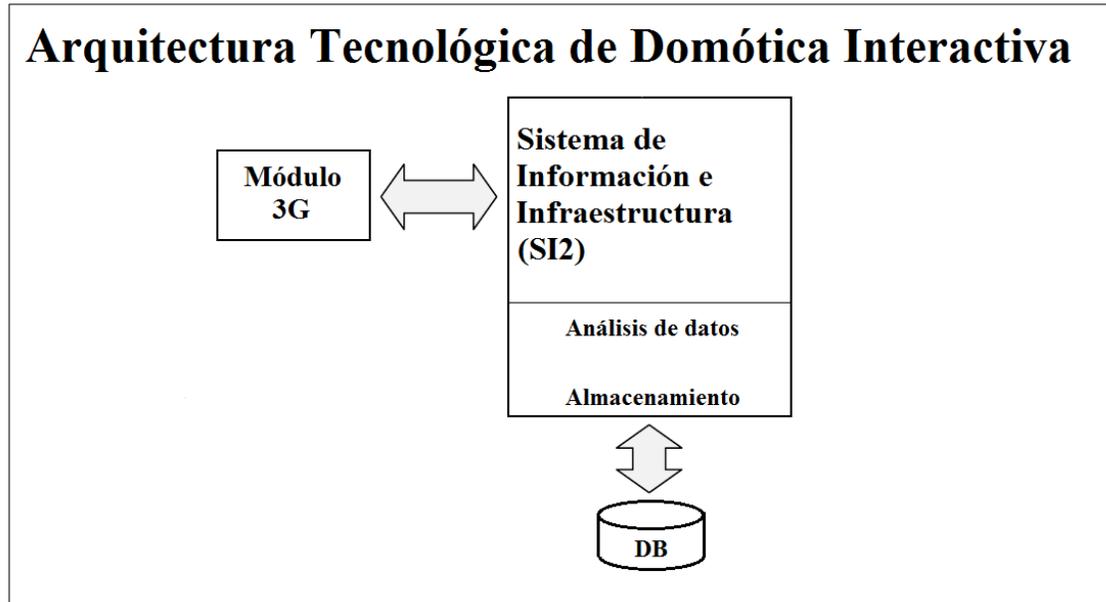
de un actuador, sino que también pueden ser ubicados estratégicamente para medir iluminación, ventilación y acceso al recinto indicado. Este circuito deberá ser construido en su totalidad para validar el fundamento de tecnología aplicada debido a motivos de la modalidad de evaluación, evitando de ese modo los costos de tarjetas prefabricadas con microprocesadores y conexiones de periféricos con características similares.

### **5.2.2. Componente SI2 o Sistema de Información de la Infraestructura**

Es el componente principal que almacena, administra y analiza la información proveniente de sensores y actuadores (DLA), ejecutando análisis de los estados de los sensores y actuadores por medio de los datos provistos, utilizando algoritmos para obtener resultados que permitan al usuario realizar los ajustes a través de alertas, y darle al sistema la capacidad de autorregular los desbalances encontrados en el sistema (exceso de luz, aire o bloqueo innecesarios de accesos, entre otros), a través de la ejecución de comandos y rutinas que habiliten a los actuadores para regular las variables del sistema.

En la figura 3 se detalla la tecnología utilizada dentro de un componente SI2. En contraste con el componente DLA, se compone de un sistema informático avanzado, teniendo un subcomponente de base de datos para almacenar la información que provenga de los sensores y tener datos históricos de los comportamientos de estas variables. Al mismo tiempo que almacena datos, puede efectuar análisis y obtener resultados con base en hipótesis de comportamientos esperados. Esto puede llevar al sistema a autorregularse siempre que las variables confirmen los estados esperados. También se encarga del procesamiento de las solicitudes de reportes y comandos por medio de los usuarios del sistema.

Figura 3. El componente SI2



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Paint.

El componente central del proyecto no almacena únicamente el historial de valores de las variables de ambiente (iluminación, ventilación y acceso) y de los sensores que monitorean los actuadores, sino que también va creando índices y variables de salida con base en los datos almacenados. Además la información es almacenada en una base de datos relacional, cuidando de no establecer relaciones muy complejas entre tablas que puedan impactar el uso de recursos del sistema, al momento de ejecutar algoritmos que involucren barrido de las tablas.

Se debe instalar el manejador de la base de datos en servidor y contar con una interfaz al módulo 3G, incluyendo la opción de tener un servidor en la nube,

lo que facilitaría la conexión a la red 3G a través de una dirección IP del proveedor del servicio de dicho servidor.

Estos detalles se contemplan a fondo en las secciones siguientes, en particular los algoritmos de predicción y agrupación a utilizar, los paquetes y librerías de software necesarios para la ejecución del análisis y presentación de los resultados.

### **5.2.3. Componente MCD o Monitoreo y Control a Distancia**

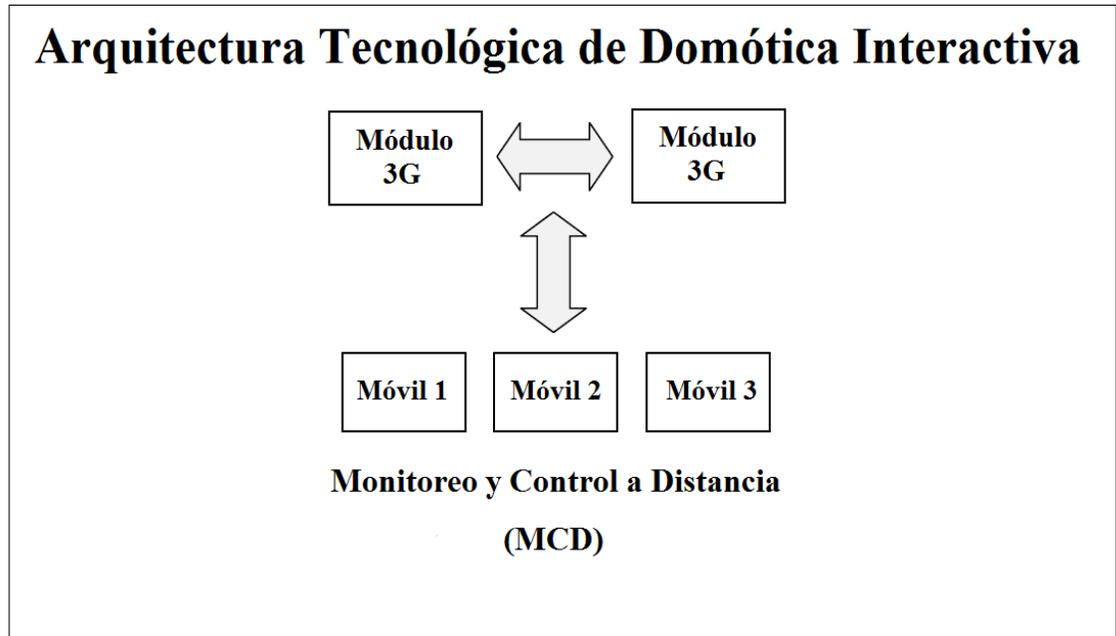
Dispositivo móvil con capacidad de ingresar al sistema y monitorear los estados de cualquier sensor y actuador en el sistema, con capacidad de control para iniciar rutinas de instrucciones específicas que estén almacenadas en el componente central.

Al tener varios usuarios entra en acción el uso compartido del ancho de banda, haciendo necesaria la implementación de las capacidades de la tecnología 3G en los módulos 3G conectados a los demás componentes, para optar a calidad del servicio (QoS) u otros, a fin de permitir una interfaz potente y de fácil uso para el usuario respectivo.

El modo en el cual un dispositivo móvil con tecnología 3G, llamado componente MCD, accede al sistema, está mostrado en la figura 4.

El componente de monitoreo y control a distancia es capaz de aprovechar el uso compartido del ancho de banda entre los componentes del sistema a través de los módulos 3G. Cada componente y dispositivo cuenta con un ID dentro de la base de datos, así como un ID del proveedor de servicio de la red telefónica, la cual establece los costos de operación del servicio asociado al uso de datos (envío y recepción).

Figura 4. **Los componentes MCD**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Paint.

En particular, se debe instalar un software en los componentes MCD, a través del cual se obtenga información de la base de datos que sirva para generar reportes y ejecutar rutinas que permitan modificar la posición o intensidad de los actuadores de iluminación, ventilación y acceso al recinto. Nuevamente la funcionalidad para motivos del prototipo es limitada, sin embargo se deja abierto para desarrollo y potencial máximo del software en cada móvil.

La etapa de desarrollo de los componentes MCD dentro del proyecto está orientada a encontrar una interfaz sencilla entre usuario final y los controles de iluminación, ventilación y acceso en cuanto a modelos de estado predeterminados, y también a situaciones no esperadas o personalizadas.

En general, un teléfono móvil con una aplicación de interface sencilla puede acceder al sistema y este deberá permitir el acceso mediante un código o contraseña asociado al número de ID en la red como medida de seguridad mínima.

A través del móvil podrán verse reportes de acuerdo con el perfil de usuario determinado por el componente central y modificarse los valores de las variables de ambiente, con el fin de reducir el impacto del clima, entre otros factores, en el consumo de energía eléctrica derivado de lámparas e iluminación en general, ventilación o calefacción (en su defecto) y acceso o restricción del mismo para un recinto.

## **6. ALCANCES**

### **6.1. Perspectiva investigativa**

A través del prototipo de arquitectura domótica se podrán investigar distintos temas de interés para el desarrollo del proyecto. Estos puntos relevantes se centran en los objetivos específicos establecidos, lo cual mantiene la unión entre las tareas de evaluar variables de iluminación y ventilación y los requerimientos de acceso a un recinto, de acuerdo con factores necesarios para completar los objetivos. Por lo tanto se debe investigar la interacción entre los componentes de un sistema de control y su integración, utilizando características de la red 3G que permitan el monitoreo y control a distancia, con base en criterios innovadores.

Los criterios tomarán en cuenta características del recinto en particular, como la hora y fecha en cuestión, con miras a modelar las variables de entrada y condicionando el valor de las variables de salida en rangos esperados. De igual manera se investigará el diseño de arquitectura tecnológica para el óptimo procesamiento de información proveniente del sistema de control, y para el análisis de dicha información. Dicho diseño incluirá el rendimiento del sistema informático al momento de guardar información, la cual podrá ser analizada a través de la ejecución de diversos algoritmos de agrupación.

Se podrá calcular la exactitud en las predicciones o agrupaciones realizadas, tomando como base aquellos datos que no se utilizaron para el entrenamiento del algoritmo. Por último, se calculará el tiempo de respuesta del

módulo de control a distancia y se buscará optimizar la respuesta del sistema a través de los módulos 3G.

De los cálculos de exactitud y rendimiento, así como de los resultados obtenidos en los resultados de las pruebas con distintos algoritmos, se podrá investigar qué método o algoritmo es el que predice de mejor manera los cambios del sistema de control, a tal punto que pueda autorregular el sistema por medio de ajustes que busquen el equilibrio natural de las variables de iluminación, ventilación y acceso en un recinto.

## **6.2. Perspectiva técnica**

Se propone un prototipo de arquitectura para el análisis de información, la comparación de estados muestreados con modelos predefinidos, y la ejecución de algoritmos que determinen la automatización de los controles a partir de la información colectada por los sensores y actuadores. Esto lleva a definir las tecnologías que se aplicarán de manera tal, que en un recinto se permita detectar la falta de luz, de aire fresco, la sobrepoblación y otros factores que faciliten la interacción del sistema para regular las necesidades del entorno. Todo esto se realizará a través de los siguientes puntos:

- Integrar la circuitería de los sensores y actuadores a un microprocesador y módulo 3G Huawei EM770W, el cual enviará inalámbricamente hasta un módulo USB Huawei HSDPA, o directamente al servidor en línea, adaptando los componentes del sistema de control.
- Configurar un servidor en línea para guardar la información de manera ordenada, verificando si es necesario ampliar los recursos de operación del servidor en cuestión.

- Hacer distintas pruebas con algoritmos y validar los resultados de análisis de información, determinando la exactitud de los resultados y subrayando algunos factores que puedan influir positiva o negativamente en los ajustes que serán regulados por el sistema.

Para implementar un sistema informático se deberá instalar un gestor de base de datos NOSQL llamado MongoDB, así como el software necesario para la ejecución de los algoritmos. El software a instalarse sobre el móvil es Mongo Explorer, el cual permite la visualización de datos y reportes enviados desde la base de datos; se pueden hacer cambios manuales en las variables que controlan los sensores y actuadores de iluminación, ventilación y acceso. La interfaz es segura, simple e intuitiva, lo cual se acopla a los fines del proyecto.

En cuanto a los valores recopilados en la base de datos, se deben establecer muestreos de valores de estado durante distintas horas y sucesos que puedan observarse en el recinto; esto a su vez dará como resultado la obtención de modelos de estado para escenarios específicos.

A partir de estos modelos se podrán determinar los límites naturales de iluminación, ventilación y población, tales como iluminación deficiente/fuerte, aire fresco/viciado, acceso permitido o acceso restringido por saturación, que sean correspondientes al recinto en particular.

### **6.3. Resultados esperados**

El resultado del proyecto es la entrega de un prototipo interactivo con capacidad de autorregulación debido a los siguientes puntos:

- La eficiente integración de los componentes del sistema de control a distancia a través de la tecnología inalámbrica 3G.
- El diseño de una arquitectura tecnológica para procesamiento de información y alto rendimiento en análisis de la información.
- La obtención de un modelo de optimización de los recursos limitados, adaptado al recinto en cuestión bajo criterios de alto rendimiento en la ejecución de algoritmos.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Domótica y automatización del hogar

Una arquitectura domótica interactiva requiere de una interfaz amigable con el usuario, que pueda realizar ajustes con base en comandos recibidos. El desarrollo de la automatización se puede dividir en los siguientes componentes (Dietrich et al., 2009):

- Sensores que miden parámetros físicos del proceso y los convierten en señales eléctricas.
- El componente que convierte las señales eléctricas de ciertos tipos de sensores, en datos que pueden enviarse por la red. Este componente también maneja los actuadores.
- La unidad de control que recibe y almacena la información y puede enviar comandos a los actuadores según análisis de los datos colectados, para comparar con modelos abstractos del proceso.
- Los actuadores que reciben los comandos de la unidad de control y los transforman en acciones físicas, consecuentemente afectan el proceso para alcanzar valores de una condición física deseable.

Las variables de iluminación y ventilación adquieren valores a través de los sensores del módulo LAM, los cuales se modifican al percibir cambios propios de retroalimentación del sistema.

Una vez se inicie la medición de valores se pueden definir modelos de estado de los actuadores, para clasificar cambios en el sistema de control con base en estos modelos. Las variables de iluminación y ventilación dependen de factores iniciales, y deberán mantener valores mínimos y máximos para accionar el reajuste necesario, en caso de encontrarse en estos límites.

## **7.2. Redes de telecomunicaciones y comunicación 3G**

En Guatemala existen regulaciones del espectro de frecuencia que permiten la libre utilización de las bandas derivadas de las tecnologías implementadas en la red nacional. Esto permite la utilización de módulos 3G para la comunicación entre sensores y el sistema de control y/o el uso de la red, pagando los costos al operador. Para comunicación de punto a punto entre módulos 3G, existen prácticas mejores que buscan mantener la comunicación estable, minimizando problemas asociados al ancho de banda y tiempos de retransmisión, haciendo necesario configurar el remitente y receptor para optimizar la comunicación 3G por medio del protocolo TCP (Inamura et al., 2003):

- Ventana variable: 3G puede soportar tamaños de ventanas TCP apropiadas basadas en el producto del retardo ancho de banda (BDP) de la ruta de punto a punto. La especificación de TCP limita el tamaño de la ventana del receptor a 64 KB. Si se espera que el BDP-punto a punto sea mayor a 64 KB, la opción de escala de ventana se debe utilizar para superar esta limitación. Muchos sistemas operativos usan de forma predeterminada los *buffers* TCP pequeños para recibir y enviar datos de 16 KB. Por lo tanto, aunque el valor de BDP esté por debajo de 64 KB, el ajuste de tamaño de *buffer* se debe aumentar en el emisor y en el receptor para permitir una ventana suficientemente grande, a fin de

optimizar la transmisión de paquetes de acuerdo con el producto del retardo ancho de banda BDP.

- *Timestamps*: debido que TCP pierde una muestra en tiempo de retransmisión (RTT) por cada ventana de datos, se puede subestimar el efecto de RTTs, incrementando tiempos de espera no esenciales en transmisiones donde el plazo de transmisión de paquetes domina a RTT. Conexiones TCP, con grandes ventanas, se pueden beneficiar de muestras más frecuentes RTT que tengan marcas de tiempo (*timestamps*) para una adaptación más rápida a las condiciones cambiantes de la red. La opción TCP *timestamps* proporciona esta capacidad, permitiendo que el emisor TCP pueda medir RTT en todos los segmentos que reconoció. El uso de *timestamps* en el escenario mencionado conduce a un temporizador más conservador de retransmisión TCP y reduce el riesgo de desencadenar los tiempos de espera no esenciales.

El paquete de transmisión a ser enviado por la red 3G puede tener el siguiente esquema que incluye los campos para datos enviados desde los sensores en tiempo real, siguiendo el modelo presentado al utilizar módulos 3G para transmisión de datos GPS, entre otros en automóviles, minimizando el tamaño del paquete y optimizando el envío de datos (Jyong et al., 2009):

- Número de sensores activos: N
- Valor de variable de medición 1
- Valor de variable de medición 2
- Valor de variable de medición 3
- Valor de variable de medición N
- Comando recibido (si existe)

- Número del móvil (si existe)

Los paquetes se codifican por medio de un *encoder* diseñado para integrar los datos con información del sistema total, desde el sensor 1 hasta el sensor N, agregando al final la información opcional del comando recibido y número del móvil que lo envió; lo que resulta en el formato de transmisión según los lineamientos definidos. Suponiendo que hay 3 sensores activos y que todas las variables tienen un rango de valores de -10 a 10, el paquete resultante puede tener una forma como la siguiente:

3, -3, 5, 0, COMANDO AUMENTAR SENSOR #2, 55550505

El módulo 3G utilizado para la operación es el modem USB Huawei HSDPA, con capacidades de red hasta 3.5G y compatibilidad con sistemas operativos desde Linux, que cuenta con soporte a partir del kernel 2.6.20, e incluso Windows 7, tomando en cuenta características de diseño como la conexión por USB y no precisando detalles de otros módulos 3G disponibles.

Para la integración directa con la circuitería se puede utilizar el método de transmisión inalámbrica utilizado por Aini (2015), a través de un circuito de comunicación con el EM770W de Huawei, el cual soporta la comunicación WCDMA, TCP/IP *stack* u otros estándares y mejores prácticas como las mencionados en esta sección inicialmente.

### **7.3. Eficiencia de la energía en clientes móviles para arquitecturas con servidores en la nube**

En cuanto a la eficiencia de la energía utilizada por los dispositivos móviles, es necesario definir una línea de base que sirva para balancear el uso de procesamiento local y en la nube, según requerimientos del diseño para

reducir el impacto de energía en cada cliente móvil, en relación con el costo de uso de ancho de banda y procesamiento en la nube, así como de factores inherentes del sistema en cuestión, como la carga de trabajo, patrones de la tecnología 3G sugerida anteriormente y las implicaciones para el diseño y la ingeniería de soluciones eficientes para el consumo de energía de clientes móviles con servidores en la nube (Miettinen y Nurminen, 2010).

El enfoque es reducir al mínimo el procesamiento de datos a nivel local, cambiándolo por procesamiento en la nube para extender la vida de los clientes móviles que operan a baterías, excluyendo aquellos clientes que no estén en la nube y que operen con una fuente de voltaje continua como una computadora portátil o un microcontrolador conectado a un sistema de iluminación o ventilación, activado a través de circuitería dedicada.

De esta manera se alargará la vida útil de los equipos móviles en un sistema, mientras se mantengan bajo valores estimados los costos de acceso a la red 3G, más los costos de procesamiento en la nube.

El costo inherente de la transferencia de los datos desde la unidad móvil hacia la nube, supera al costo y tiempo que usualmente se calcula para transferir cantidades masivas de datos desde un ordenador en una empresa hacia la nube; en esta diferencia abismal del enfoque con muy pocos ejemplos se puede evaluar el rendimiento del sistema.

De acuerdo con lo anterior, se define el acceso al sistema de control a través de una arquitectura centralizada en la nube a donde accederán los dispositivos móviles con las características mencionadas, coincidiendo con el esquema de la solución planteado con anterioridad.

El acceso al sistema de control se realiza a través de:

- Arquitectura:
  - Servidor con base de datos en la nube (ISI)
  - Acceso por 3G desde clientes dispersos en la configuración del sistema de control (LAM)
  - Acceso por 3G del móvil autorizado para envío de comandos (MMC)
  
- Interface:
  - La conexión entre el servidor en la nube y los clientes de aplicación debe ser configurada para TCP por medio de 3G.
  - La aplicación en el móvil debe apuntar al servidor en la nube de preferencia al puerto 443 (HTTPS).

Requerimientos técnicos del servidor en la nube:

- Amazon Web Service: Linux server con 2-4 GB de RAM, manejador base de datos MySQL, Java Oracle y disco duro de 50-100 GB.
  
- Aplicativos móviles de los sensores y actuadores con acceso por 3G al internet para comunicación con servidor en la nube.

Estos requerimientos fueron configurados en la capa gratuita de Amazon, que permite la utilización del servidor sin costo por la duración de 1 año calendario, desde la activación del servicio en línea.

#### **7.4. Sensores optoelectrónicos y actuadores electrónicos**

Los sensores son dispositivos físicos que miden cantidades físicas, tales como distancia, luz, sonido, olor, temperatura, entre otros. El objetivo de los sensores es recibir información desde el mundo que los rodea, proceso que les permite interactuar con el medio. En un caso patentado (Hegyi, 1994) la luz que es emitida por un LED no refleja sobre un fotodetector, estando en contraposición confrontante en una superficie transparente, hasta que las condiciones exteriores a dicha superficie (agua, suciedad u objetos que proyectan su sombra) permitan que se oscurezca la superficie que iniciará a actuar como espejo, haciendo que la luz del LED sea captada por el fotodetector.

La intensidad de la señal capturada puede disparar una acción, por ejemplo encender el limpiabrisas o la calefacción. Este principio básico de detección de luz gracias a un agente externo permite, según el autor, capturar condiciones de luz e incluso humedad externa a un recinto.

La utilidad de dicho sensor puede aplicarse a la oscuridad propia de objetos en proximidad, de manera tal que la luz emitida por el LED llegue al fotodetector, teniendo la presencia de un objeto o persona en un lugar determinado. La luz del ambiente puede calcularse teniendo inactivo el LED y haciendo la medición para luego activar el LED y medir nuevamente, y sustraer los valores de luz percibidos por el sensor a distintas horas. Puede ser importante tener en consideración para elegir los sensores, los aspectos a continuación se describen:

- Campo de vista o de acción.
- Rango de operación.

- Exactitud y resolución.
- Velocidad de operación (tiempo real para periodo de muestreo).
- Requerimientos de circuitos o computacionales.
- Potencia, peso y tamaño.
- Robustez (redundancia).
- Sensibilidad (grado de cambio de la señal de salida del sensor en función del cambio de la señal física medida).
- Costo unitario.

Los actuadores corresponden dispositivos de mecanismo que permiten ejecutar una acción. Ejemplos de actuadores eléctricos son motores (servomotores, de paso, de corriente continua), sin embargo hay actuadores en forma de cilindros neumáticos y cilindros hidráulicos.

Los motores generan el movimiento del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Deben considerarse las siguientes propiedades:

- Potencia
- Exactitud de control
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Costo y mantenimiento

### **7.5. Eficacia de la ventilación**

Medir la eficacia de la ventilación permitirá sustituir el aire en el ambiente interior del recinto y accionar el dispositivo que suministre aire fresco, por medios mecánicos. Según Casado et al. (2000) la eficacia de la ventilación

requiere de metodología investigativa. La ventilación es diferente de acuerdo con el mobiliario, temperatura del ambiente, cambios climáticos, geometría del recinto y la configuración del sistema de impulsión y retorno. Para esto se puede utilizar la Dinámica de Fluidos Computacional, o CFD por sus siglas en inglés, que resuelve ecuaciones del movimiento del aire dentro de un recinto. Los pasos a seguir, detallados por varios autores, son los siguientes:

- Especificar la geometría del recinto.
- Elaborar un mallado del volumen geométrico donde se desea calcular todas las variables.
- Imponer las condiciones de contorno.
- Introducir las condiciones iniciales.
- Especificar las propiedades del fluido.

La utilización de esta herramienta ahorra costes de ensayo experimental de nuevas configuraciones y soluciones en ventilación y lo que es más importante, permite ajustar el caudal de aire a aportar, con mucha más precisión que en la actualidad.

Además Molina, Obregón y Salvo (2005) confirman que la ventilación depende, entre otros factores, de la orientación de las aberturas respecto del flujo principal que rodea el recinto. Es esta disposición la que determina la circulación del aire en el interior, de manera que se pueda conocer el movimiento del aire en el interior, así como de la pérdida o ganancia de energía. A través de un modelo de simulación la transferencia de calor puede ser controlada de acuerdo con técnicas iterativas para resolver un sistema de ecuaciones.

La turbulencia generada al interior del recinto debido al flujo incidente, tiene impacto y relación en la determinación de la viscosidad. En pocas palabras se tiene que al encontrar una abertura, el flujo incidente podrá lograr tal turbulencia, que la viscosidad del aire se irá reduciendo hasta que se hayan eliminado en un gran porcentaje los contaminantes que dieron lugar a la ventilación, acondicionando el hábitat para los habitantes.

Se concluye que la disposición de las aberturas y la incidencia del flujo de aire tienen un impacto grande en la circulación del aire viciado en un recinto. De la viscosidad se indica que si se desea tener un recinto que tenga cierta eficiencia respecto de las pérdidas de calor, se pueden incluir más de dos recintos continuos y el flujo impacta directamente a un recinto, mientras que no lo hace al continuo.

## **7.6. Iluminación artificial y natural**

El método utilizado consiste en el desarrollo de mediciones de iluminancia horizontal ( $E_h$ ) e iluminancia vertical ( $E_v$ ) sobre una grilla de 155 puntos configurada en torno a cinco ejes en el sentido longitudinal del recinto (Endrizzi et al., 2000). Cada uno de estos está separado del contiguo cada 4 m. Se trazan ejes transversales posicionados cada 3 m en un plano horizontal perpendicular a las luminarias, que representa la organización de luces a considerar en un recinto.

De esta manera las condiciones de iluminación artificial están altamente relacionadas con la construcción del recinto, la presencia de sombras de otros edificios y/o de la fuerte presencia del verde urbano. Haciendo analogía de estos conceptos, la iluminación artificial puede ser controlada por el número de luces dentro de un recinto y controlar cuáles son los horarios de uso de las

luces. Esto significa que se deberán hacer pruebas y mediciones de acuerdo con distintos puntos a través de sensores de iluminación para tal efecto y hacer anotaciones de los valores obtenidos a lo largo del período de pruebas.

### **7.7. Modelos matemáticos y técnicas de agrupación**

Un sistema informático que permita realizar análisis de la información requiere de varias etapas desde recopilar y preparar los datos, hasta coordinar para implementar un análisis de acuerdo con los datos que se tengan y la presentación de los resultados e interpretación para volver a analizar los datos bajo nuevos parámetros y/o anotar relaciones encontradas de los mismos (Myatt, 2007, p.17-35).

Los algoritmos de agrupación de datos se eligen de acuerdo con el problema por resolver y comprenden métodos de evaluación de similitudes, análisis de árboles de decisión y redes neuronales para determinar  $k$  grupos con características similares dentro de una muestra de valores obtenidos de una población. Destaca que la selección del algoritmo y modelo para el problema propuesto debe seguir un proceso analítico específico, el cual requiere de un grupo de personas conocedoras de las distintas áreas que pueda abarcar un proyecto, para evitar retrasos en la planificación.

Algunos autores han dado solución a problemas de *clustering*, documentando las instancias donde existe ordenamiento de elementos en una clase, separados ampliamente de elementos de  $k$  clases predefinidas; concluyendo que se puede utilizar el algoritmo de Lloyd para evaluar un nuevo elemento que entra al *cluster*, asociándolo a una de las  $k$  clases en un *cluster* con alto volumen de datos (Ostrovsky et al., 2012). El enfoque presentado es la

iteración necesaria debido al nuevo elemento, que da como resultado la sedimentación probabilística de Lloyd.

La calidad del resultado requiere de volumen alto de datos para efectuar las operaciones necesarias, consumo alto de recursos para procesamiento de los datos e impacto en el rendimiento del sistema. Las técnicas de modelado requieren de una preparación de datos de un modelo experimental, utilizando un conjunto de modelos para diferentes estados del sistema, agregando combinaciones descriptoras de distintos puntos de vista, con base en parámetros del modelo (Myatt, 2007, p.166).

La construcción y evaluación de modelos matemáticos que mejor se adapten al experimento, requieren de análisis de la información para tipificar los mismos, la separación de modelos de prueba y modelos de entrenamiento, relacionando los descriptores de entrada con los resultados de salida, incorporando métodos de utilización de técnicas de agrupación que mejor puedan utilizarse.

La técnica de agrupación jerárquica sobre frecuencias de las modas puede extraer categorías o clases, basándose en similitudes de los registros y las modas de los grupos conformados (Bolaño y Quintero, 2005). De manera general, se pueden caracterizar y obtener modelos de la información procesada.

Los resultados finales muestran una selección de pocas características por categoría cuyas diferencias son significativas. Según el autor se utilizó una técnica de agrupamiento jerárquico de agrupación basado en las frecuencias de las modas a dos bases de datos constituidas con información referente a cinco aspectos considerados importantes en la educación de estudiantes en edad

extraescolar. Indicó que algunas variables fueron extraídas de la base de datos al aplicar el algoritmo porque su frecuencia era muy alta, no aportando algún factor de diferencia entre las muestras.

Rodríguez et al. (2014) exponen el uso de un modelo propuesto que permite ahorrar tiempo y esfuerzo a los docentes al momento de crear los contenidos educativos al seleccionar objetos de aprendizaje -OA- de manera semiautomática y al realizar un proceso de prefiltrado de los repositorios que contienen estos OA. Esto permite tener un repositorio de contenidos distribuidos de fácil acceso para construir unidades académicas bajo ciertos criterios y poco tiempo. Además se logra facilitar el proceso de búsqueda, recuperación y organización de los contenidos educativos.

Se propone un modelo para la organización semiautomática de contenidos recuperados de repositorios abiertos desarrollados por medidas de similitud, que luego es calibrado por medio de expertos en el área (docentes) que evalúan los contenidos resultantes. Con un valor de  $k = 3$ , el porcentaje de coincidencias entre el modelo y los expertos es de 75 %. A pesar de estos resultados, la cantidad de recursos que mapea un objetivo educativo (OE) específico suele ser muy baja y no termina de caracterizar sino a la materia cuando en muchas ocasiones se prefiere caracterizar al estudiante.

Por último, Xavier Colomé (2012) explica cómo resolver un problema de *K-means* usando el algoritmo de Lloyd, técnica que permite agrupar  $n$  objetos en  $k$  clases para calcular la aproximación al reajuste automático de centroides en sistemas de estimación, agrupación y clasificación de elementos, según el centro de gravedad más cercano. Concluye que los centroides de cada grupo se van recalculando sin contar con información previa sobre los objetos en cada conjunto, evidenciando aprendizaje no supervisado.

A través del algoritmo de Lloyd se pudieron clasificar los nuevos objetos en  $k$  clases y demostrar que al ser agregados, cada objeto nuevo es clasificado dentro de una de las  $k$  clases existentes, al encontrar el centroide más cercano. Una vez el elemento es clasificado, todas las clases recalculan sus respectivos centroides y quedan en espera de otro nuevo elemento.

Este modelo de predicción de clases para el tratamiento de nuevos elementos en un *cluster* es sin lugar a dudas muy útil, aunque puede ocasionar impacto en el rendimiento del sistema donde sea ejecutado.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES
2. JUSTIFICACIÓN
3. ALCANCES
4. MARCO TEÓRICO
  - 4.1. Domótica y automatización del hogar
  - 4.2. Redes de telecomunicaciones y comunicación 3g
  - 4.3. Eficiencia de la energía en clientes móviles para arquitecturas con servidores en la nube
  - 4.4. Sensores optoelectrónicos y actuadores electrónicos
  - 4.5. Eficacia de la ventilación
  - 4.6. Iluminación artificial y natural
  - 4.7. Modelos matemáticos y técnicas de agrupación
5. METODOLOGÍA
  - 5.1. Tipo de investigación
  - 5.2. Variables e indicadores

5.3. Fases

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Integración de módulos 3g en el sistema de control

6.2. Diseño de arquitectura tecnológica

6.3. Algoritmo de agrupación óptimo para análisis e información en un sistema de control

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

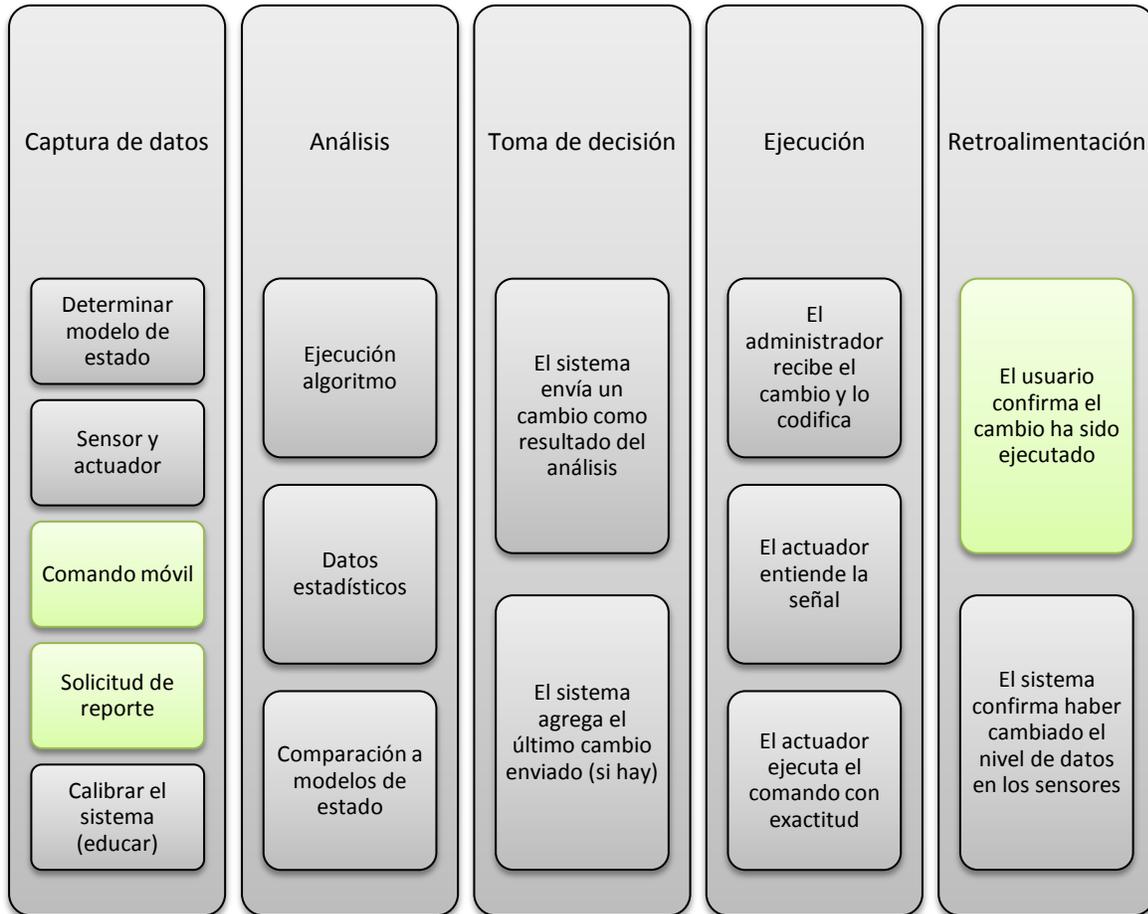
### 9.1. Tipo de investigación

Se hará uso de investigación experimental y cuantitativa para cuantificar los valores emitidos por los sensores, así como la respuesta de los actuadores a través de comandos, en primer lugar por medio de controles locales y luego a través de la red 3G. Se podrá determinar una vez se tengan datos qué modelos de estado son apropiados para la interacción del sistema, es decir se calcularán muestras en distintas horas del día y en distintos escenarios. a fin de encontrar valores promedio, máximos y mínimos que servirán de modelos de estado.

Los procesos requeridos de análisis de la información en una arquitectura de domótica indicarán el funcionamiento del sistema. Esto se ilustra en la figura 5, donde la mayoría de procesos son realizados por el sistema, y una minoría (resaltada) donde el usuario ingresa información al sistema en pocas partes del proceso de administración del mismo.

El usuario o administrador normalmente podrá ingresar un comando para validar que sea ejecutado por el sistema, y podrá solicitar ver un reporte de la información actual. El cambio deberá ser ejecutado sin ser cuestionado por el sistema, una vez se haya solicitado por el administrador quien lejos de ser el centro de operación, es solo una variable más, cuyas instrucciones se ejecutan, pero que son luego analizadas y en caso necesario se autorregulan. El trabajo de captura de datos, análisis, toma de decisión, ejecución y retroalimentación dependen por completo de la arquitectura tecnológica de domótica y la comunicación optimizada por 3G entre los componentes.

Figura 5. **Procesos del sistema propuesto**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

Luego de la captura de datos, esta se analiza a través de estadísticas, ejecución de algoritmos, predicción de valores y comparación con los modelos de estado. Con base en los resultados del algoritmo de agrupación se deberá encontrar el grado de balance o desbalance del sistema, lo que requerirá ejecutar una rutina para nivelarlo o reajustarlo.

## 9.2. Variables e indicadores

Para medir la integración de los módulos 3G al sistema de control se deberá establecer una relación entre dos o más variables, haciendo las observaciones necesarias. Para el estudio de variables cualitativas y cuantitativas del sistema, en las tablas I y II se enumeran las que deben ser integradas a través de la red 3G. Se hace un listado de las variables a considerar y qué indicadores pueden accionar los ajustes requeridos por el sistema para la autorregulación.

Tabla I. **Variables del sistema de sensores (experimental)**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Observación del sensor/sistema</b>	<b>Actuador</b>
Iluminación	Continua, independiente	Luz encendida, luz apagada, luz natural suficiente, luz natural insuficiente	Control de luz, <i>dimmers</i> .
Ventilación	Continua, independiente	Flujo horizontal, flujo vertical, turbulencia	Ventilador, extractor, (calefacción)
Población	Discreta, independiente	0, 1, 2, 3, 4, ... Poca población, población normal, población saturada	Control de acceso abierto o cerrado, indicadores de baja o alta población
Sensores activos	Discreta, dependiente	1, 2, 3, 4, 5, ...	Alerta de sensor activo o desactivo

Continuación de la tabla I.

Número activo de actuadores	Discreta, dependiente	1, 2, 3, 4, 5, ...	Alerta de actuador activo o desactivo
Clima	Continua, independiente	Sol, lluvia, viento, entre otros.	-
Temperatura	Continua, independiente	Grados centígrados	-

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

De esta manera se podrán medir valores de muestras u observaciones efectuadas por un tiempo de las variables, utilizando el sistema de control de sensores dentro del recinto. Existe el potencial de encontrar relaciones entre las variables a medir y las condiciones externas o características del recinto; por lo cual no se descarta que se pueda encontrar algún grado de asociación entre las variables del entorno.

Al encontrarse dicha relación se puede explicar el fenómeno de cambio natural de las variables de entorno o ambiente. En forma experimental se podrá identificar un modelo de predicción del ajuste necesario de las variables de control, de acuerdo con los valores de cada muestra en un determinado horario.

Este ajuste se podrá realizar a través de los actuadores del sistema de control, permitiendo mayor o menor iluminación y ventilación con base en la población del recinto.

Los indicadores que ayudarán a medir los estados de las variables y permitirán la integración de los módulos 3G se enlistan en la tabla II.

Tabla II. **Indicadores del sistema de control (experimental)**

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Comentario</b>
Iluminación	Porcentaje de iluminación actual versus iluminación del modelo de estado	El porcentaje de iluminación actual debe estar no muy alejado de los valores de iluminación promedio de acuerdo con el horario de la medición actual.
Ventilación	Eficacia de la ventilación	Medida de necesidad de cambio de aire dentro de un recinto
Población	Porcentaje de saturación	Índice de cantidad de personas por metro cuadrado que puede afectar los requerimientos de ventilación y por lo tanto debe mantenerse bajo control

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

Para el diseño de la arquitectura tecnológica y procesamiento óptimo de la información y rendimiento controlado del procesamiento de la información se establecen las variables e indicadores a considerar en la tabla III. Se toman en cuenta los objetivos anteriores de integración de la arquitectura domótica a través de la red nacional 3G y se dan las bases para la forma de medición del algoritmo de agrupación que mejor prediga los cambios naturales en las variables planteadas por el prototipo de sistema de domótica y se centran sobre las necesidades y requerimientos técnicos del sistema.

Tabla III. **Variables del sistema informático y componente móvil**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Comentario</b>
Sistema informático: rendimiento del servidor durante el procesamiento de datos	Continua, dependiente de los recursos del sistema	% uso del CPU, % uso de memoria RAM, tiempo de respuesta del algoritmo	En estos factores se puede medir el rendimiento de un sistema informático, sin embargo pueden existir restricciones de operación, las cuales registrarán los límites aceptables de ejecución de los algoritmos.
Algoritmos: exactitud de la agrupación o predicción	Continua, valor positivo si agrupa o predice bien cada valor en relación con los modelos de estado	% de error de predicción, % validez de la predicción.	Se evalúa si el valor agrupado está en lo esperado y también cuando no lo esté, considerando ambos indicadores para validar el algoritmo usado.
Módulo de control a distancia: tiempo de respuesta.	Discreta, tiempo esperado de respuesta	Tiempo promedio de respuesta menor al límite configurado en los módulos 3G	Depende de la disponibilidad 3G, del crédito en el ID del operador y de otros factores externos para calcular el tiempo que se toma una solicitud de reporte o envío de comando al sistema en ser ejecutada y devuelta por el sistema.

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

La medición del algoritmo de agrupación con mayor porcentaje de exactitud en predecir los cambios de las variables de entorno se realizará a través de la revisión de los resultados de las comparaciones y ejecuciones distintas de la construcción del algoritmo.

En esencia se pueden tomar valores de las muestras, normalizarlas y luego validar si el valor generado por el algoritmo está cerca del valor esperado de una variable.

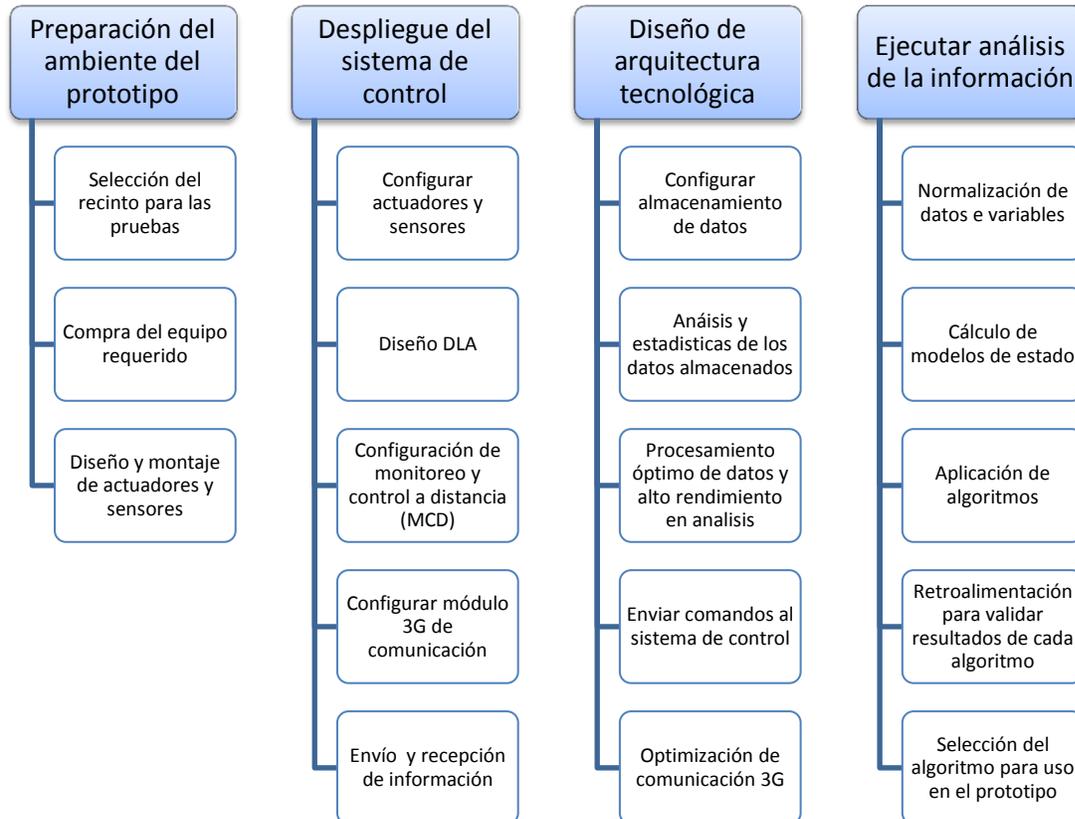
### **9.3. Fases**

Tomando en cuenta el tipo de investigación a realizar para obtener los resultados planteados a través de los objetivos, se consideran las fases en las que se podrá crear un prototipo de sistemas integrados en una arquitectura tecnológica de domótica y se explican a través de las etapas indicadas en la figura 6, la cual se presenta a continuación.

El proyecto inicia con la preparación del ambiente que será propio del prototipo, es decir se buscará un recinto para la evaluación experimental de las variables de ambiente; el mismo deberá contar con las características de iluminación, ventilación y accesos, los cuales podrán luego ser puestos bajo control en el sistema de sensores.

Se deberán adquirir los sensores que mejor se adapten al recinto y se diseñará el montaje de los mismos en los puntos óptimos, de acuerdo con las características de construcción del recinto.

Figura 6. Fases de la investigación



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

La segunda fase contempla el despliegue del sistema de control utilizando los sensores y actuadores requeridos, habiéndolos instalado dentro del recinto según la construcción del mismo. Se diseñará y elaborará la circuitería de soporte para verificar los actuadores y se realizarán pruebas de captura de datos desde los sensores, y el control manual de los actuadores (DLA). Se configurará el componente de monitoreo y control a distancia para envío y recepción de datos (MCD). Por último se ejecutarán pruebas en la configuración

del módulo 3G para determinar el protocolo de comunicación y la recepción de comandos desde un móvil a través de 3G.

En la fase siguiente se integrará el sistema de control a la arquitectura tecnológica (SI2) al hacer su diseño para ejecución de rutinas desde almacenamiento de datos hasta envío de comandos por el módulo 3G. Se configuran los accesos y usuarios de la base de datos, y se carga la información tomada del sistema de control. Se inicia el cálculo de estadísticas y pruebas de análisis preliminares sobre la información almacenada. A través de esta etapa investigativa se deberán realizar varias pruebas que confirmen los modelos de estado y por último se enviarán comandos hacia el sistema de control para validar su respuesta y cambios en las variables monitoreadas.

En la fase final del proyecto se ejecutará el análisis de la información a través de rutinas de normalización de datos, la selección de los modelos de estado, la aplicación de distintos algoritmos de agrupación para evaluar los resultados y la determinación del algoritmo con mayor porcentaje en predecir los resultados actuales, el cual será definitivamente seleccionado para ser utilizado en el prototipo. Al completar todas estas fases, se tendrá un prototipo de arquitectura tecnológica integrada a un sistema de domótica que pueda enviar reportes para monitoreo y control a través del móvil configurado.



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **10.1. Experimentación**

Se deberán realizar mediciones de las variables a partir de los datos que envíe el sistema de control a través de sensores, para constatar los valores de las mediciones de acuerdo con los modelos de estado predeterminados. Las variables que identifiquen serán cuantificadas, teniendo claro que puede ser necesario agregar otras variables según se vayan haciendo evidentes, o salgan a luz durante la fase de configuración y pruebas a través de la revisión de datos estadísticos que apoyen el proceso de validación de los indicadores y de las variables descriptoras, cuyo resultado sea la obtención de valores más cercanos a los esperados a través del análisis de la información.

### **10.2. Estadística descriptiva**

De acuerdo con las variables e indicadores del sistema de control e informático, y de la comunicación con el móvil, se decide que las pruebas estadísticas para analizar los datos van a depender de los niveles de medición de las variables que serán ejecutados a través de la librería R, para utilizar los algoritmos que mejor se acoplen a las hipótesis formuladas.

A través de medidas de tendencia central se realizan análisis para cada una de las variables y se describen los resultados de la relación que pueda existir entre ellas. La utilización de las tasas y razones puede ser útil para las variables del sistema informático y del monitoreo y control a distancia, tales como: rendimiento del servidor durante el procesamiento de datos, exactitud de

la agrupación o predicción, y tiempo de respuesta del comando o solicitud de reporte enviado por el dispositivo, al sistema de control.

En cambio las variables e indicadores de iluminación, ventilación y población del recinto requieren de estadística inferencial, ya que el propósito de la investigación va más allá de las medidas de formas y distribuciones de las variables. Es probable parametrizar o transformar algunas variables que tengan tendencia a una distribución normal según los datos capturados a través de la experimentación. Sin embargo en caso esto no es así; puede extenderse el análisis de variables no paramétricas, toda vez se conozcan los intervalos o categorías que permitan su uso.

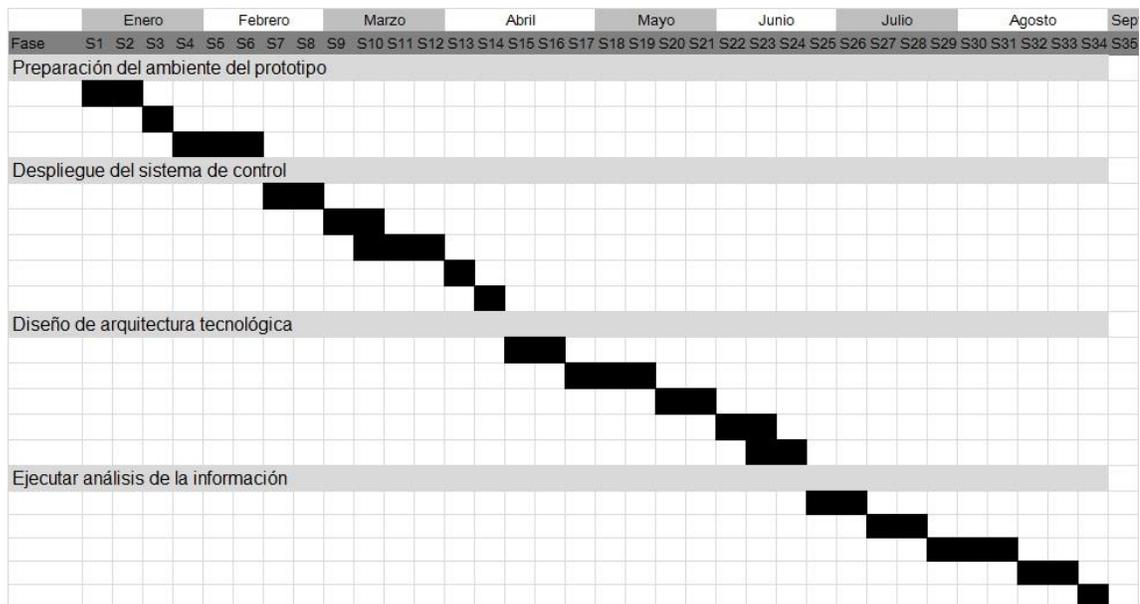
El proceso de análisis de información a través de la estadística descriptiva requiere de la toma de decisión sobre qué variable se analizará, qué software se utiliza para ello y por medio de qué programa se ejecuta y visualiza el resultado del análisis. En el caso puntual se piensa utilizar un manejador de base de datos MS SQL Server Express, la librería R y R-Studio para implementar el análisis, un software para gráficas y otro para despliegue de los resultados. En términos generales, los resultados se observan y analizan esperando encontrar alguna relación con el problema por resolver, en donde si no existe relación o esta no viene definida de manera exacta y coherente, se deberá repetir el proceso experimental de aplicar estadística descriptiva.

Los resultados de este proceso de análisis por estadística descriptiva darán los valores individuales de cada variable, sus variaciones, modas, y descripción estadística, para determinar modelos de estado y generar un modelado matemático para agrupación y predicción que permita alcanzar la automatización y regulación del sistema con base en las variables de entrada.

## 11. CRONOGRAMA

A continuación el desglose total del trabajo de graduación con una duración aproximada de 8 meses, iniciando el 1 de enero del 2017 para concluir a finales de agosto, según el detalle de la figura 7, que a continuación se presenta.

Figura 7. Cronograma de las fases



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

El detalle de las actividades se incluye en la tabla IV donde se observa el total de semanas que se considera serán suficientes para elaborar cada fase, sumando el total de semanas que se requieran para cada actividad en particular.

Tabla IV. **Cronograma**

Fase		Semanas	Inicio	Final
<b>Preparación del ambiente del prototipo</b>		<b>6</b>	<b>1/1</b>	<b>12/2</b>
	Selección del recinto para las pruebas	2	1/1	15/1
	Compra del equipo requerido	1	15/1	22/1
	Diseño y montaje de actuadores y sensores	3	22/1	12/2
<b>Despliegue del sistema de control</b>		<b>8</b>	<b>12/2</b>	<b>8/4</b>
	Configurar actuadores y sensores	2	12/2	26/2
	Diseño de DLA	1.5	26/2	7/3
	Configuración de monitoreo y control a distancia (MCD)	2.5	7/3	25/3
	Configurar módulo 3G de comunicación	1	25/3	1/4
	Envío y recepción de información	1	1/4	8/4
<b>Diseño de arquitectura tecnológica</b>		<b>10</b>	<b>8/4</b>	<b>17/6</b>
	Configurar almacenamiento de datos	2	8/4	22/4
	Análisis y estadísticas de los datos almacenados	3	22/4	13/5
	Procesamiento óptimo de datos y alto rendimiento en análisis	2	13/5	27/5
	Enviar comandos al sistema de control	1.5	27/5	6/6
	Optimización de comunicación 3G	1.5	6/6	17/6
<b>Ejecutar análisis de la información (parte 1)</b>		<b>4</b>	<b>17/6</b>	<b>15/7</b>
	Normalización de datos e variables	2	17/6	1/7
	Cálculo de modelos de estado	2	1/7	15/7

Continuación de la tabla IV.

Ejecutar análisis de la información (parte 2)		6	15/7	26/8
	Aplicación de algoritmos	3	15/7	5/8
	Retroalimentación para validar resultados de cada algoritmo	2	5/8	19/8
	Selección del algoritmo para uso en el prototipo	1	19/8	26/8

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.



## **12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **12.1. Recursos operativos**

El recurso operativo del proyecto está conformado por el graduando, para elaboración de circuitos electrónicos, instalación de sensores y control de los actuadores, así como el acople del sistema de control a módulos 3G y la instalación y configuración del servidor virtual, necesarios para el proyecto. Es probable que se requiera de asistencia específica en algunos casos, tal como la elaboración del software en el móvil para acceder al sistema de control y el mantenimiento del servidor en línea, los cuales no son objetivos de este trabajo de investigación.

No se requiere de personal operativo, ni de acceso a información de algún repositorio específico o de permisos especiales para la puesta en marcha del sistema. Por esta razón no se tiene impedimento en cuanto al recurso humano necesario para la operación y ejecución del proyecto.

### **12.2. Recursos técnicos**

Para la construcción del prototipo de sistemas integrados, se considera implementar las tecnologías más actualizadas y disponibles para su uso durante el tiempo en el que se enmarque el proyecto de acuerdo con el cronograma:

- Implementación de arquitectura de sistemas en la nube a través de Amazon Web Services, capa gratuita.

- Comunicación a través del módulo 3G entre dos máquinas de prueba para simular los componentes del sistema.
- Creación de clases y modelos de estados necesarios para garantizar las comparaciones que serán realizadas por el prototipo.
- Utilización de sensores de corto alcance para iluminación, ventilación y acceso o población dentro del recinto.
- Simulación de la ejecución de comandos para controlar los actuadores electrónicos.
- Utilización de software para móvil con opción de envío de comandos de control y solicitud de reportes.

Los puntos antes mencionados pueden ser llevados a cabo sin impedimento; sin embargo en caso de falta de conocimiento técnico específico, y si de acuerdo con el tiempo para ejecutar las fases sea necesario, se podrá abocar con una persona de conocimiento técnico mayor para satisfacer el cronograma y no faltar a los requerimientos del proyecto. Por esta causa se deberá incluir una cláusula en donde se permita el contrato de algún especialista para un trabajo mínimo, técnico y específico.

De esta manera se confirma la factibilidad técnica del trabajo de graduación, incluyendo algunas posibles limitantes que deberán ser surtidas y reenumeradas en caso fuere necesario.

### **12.3. Factibilidad económica**

Un estudio de inversión para el proyecto requiere de mano de obra, que en términos de especialidad tendrían un costo asociado. Sin embargo este costo de mano de obra es cero, ya que se asumen estos costos por parte de la

persona interesada en el proyecto. En las tablas V y VI se detallan los costos pagados y reales del proyecto bajo la condición indicada.

Tabla V. **Costo pagado del proyecto**

Nombre de la tarea	Días	Costo por hora	Horas por día	Costo total
Preparación del ambiente del prototipo	30	-	-	Q2 500,00
Selección del recinto para las pruebas	10	Q25,00	1	Q250,00
Compra del equipo requerido	5	Q75,00	2	Q750,00
Diseño y montaje de actuadores y sensores	15	Q50,00	2	Q1 500,00
Despliegue del sistema de control	40	-	-	Q1 625,00
Configurar actuadores y sensores	10	Q25,00	1	Q250,00
Diseño de DLA	7.5	Q50,00	1	Q375,00
Configuración de monitoreo y control a distancia (MCD)	12,5	Q50,00	1	Q625,00
Configurar módulo 3G de comunicación	5	Q50,00	1	Q250,00
Envío y recepción de información	5	Q25,00	1	Q125,00
Diseño de arquitectura tecnológica	50	-	-	Q1 525,00
Configurar almacenamiento de datos	10	Q35,00	1	Q350,00
Análisis y estadísticas de los datos almacenados	15	Q25,00	1	Q375,00
Procesamiento óptimo de datos y alto rendimiento en análisis	10	Q35,00	1	Q350,00

Continuación de la tabla V.

Enviar comandos al sistema de control	7.5	Q35,00	1	Q262,50
Optimización de comunicación 3G	7.5	Q25,00	1	Q187,50
<b>Ejecutar análisis de la información</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>Q1 700,00</b>
Normalización de datos e variables	10	Q35,00	1,5	Q525,00
Cálculo de modelos de estado	10	Q35,00	1,5	Q525,00
Aplicación de algoritmos	15	Q25,00	1,33333	Q500,00
Retroalimentación para validar resultados de cada algoritmo	10	Q15,00	1	Q150,00
Selección del algoritmo para uso en el prototipo	5	Q10,00	1	Q50,00
<b>Costo asesoría</b>				<b>Q2 500,00</b>
		<b>TOTAL</b>		<b>Q9 850,00</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

Para los costos del servidor virtual en la nube, se aprovecha la capa gratis de Amazon Web Services. AWS ofrece los servicios de EC2 renovables cada mes durante el primer año de registro del abonado, que incluyen:

- 750 horas de uso de EC2 con una instancia t2.micro de Linux.
- 750 horas de Elastic Load Balancing más 15 GB de procesamiento de datos, 30 GB de Amazon Elastic Block Store en cualquier combinación

de almacenamiento de uso general (SSD) o magnético, 2 millones de E/S (con almacenamiento magnético) y 1 GB de almacenamiento de instantáneas.

- 15 GB de ancho de banda saliente en todos los servicios de AWS y 1 GB de transferencia de datos regional.

Tabla VI. **Costo real del proyecto**

Nombre de la tarea	Días	Costo		Costo total
		por hora	Horas por día	
Preparación del ambiente del prototipo	30	-	-	Q750,00
Compra del equipo requerido	5	Q75,00	2	Q750,00
Despliegue del sistema de control	40	-	-	Q0,00
Diseño de arquitectura tecnológica	50	-	-	Q0,00
Ejecutar análisis de la información	50	-	-	Q0,00
Costo asesoría				Q2 500,00
		<b>TOTAL</b>		<b>Q3 250,00</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word.

Por esta razón el costo del proyecto se reduce al costo de la compra del equipo requerido (sensores y actuadores, circuitería de soporte, módulos 3G y uso de la red 3G). Dicho costo no es impedimento y es asumido durante la investigación. Se confirma entonces que el estudio es factible y no hay impedimento económico para la realización del mismo según los puntos anteriores.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AINI, Meni. *Design of wireless remote high-voltage energy metering systems.* [en línea]. Recuperado de: <[https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=http://www.atlantispress.com/php/download\\_paper.php%3Fid%3D18481&hl=en&sa=T&oi=gsbggp&ct=res&cd=2&ei=CkG0VrHVM8vCmAHXtoDoDA&scisig=AAGBfm3WL5GzD7mOnGeTVBtkhrUw7iRg4A](https://scholar.google.com/scholar_url?url=http://www.atlantispress.com/php/download_paper.php%3Fid%3D18481&hl=en&sa=T&oi=gsbggp&ct=res&cd=2&ei=CkG0VrHVM8vCmAHXtoDoDA&scisig=AAGBfm3WL5GzD7mOnGeTVBtkhrUw7iRg4A)>. [Consulta: enero de 2016].
2. BOLAÑO, Idanis; QUINTERO, Diana. *Una medida de similitud basada en las modas para la caracterización de una población estudiantil en edad extraescolar.* [en línea]. Recuperado de: <<http://www.redalyc.org/pdf/750/75004708.pdf>>.
3. CASADO, Beatriz; ALONSO, Julio; VILLAFRUELA, José; MUÑOZ, Jesús. *Determinación de la eficacia de ventilación en locales residenciales.* [en línea]. Recuperado de: <[http://www.inive.org/members\\_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C05.pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C05.pdf)>. [Consulta: enero de 2016].
4. COLOMÉ, Xavier. *Aproximación al reajuste automático de centroides mediante la heurística de Lloyd para resolver el problema de las K-Medias.* [en línea]. Recuperado de: <[http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/30902/1/COLOME\\_WP2012\\_Aproximacion.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/30902/1/COLOME_WP2012_Aproximacion.pdf)>.\_\_\_[Consulta: enero de 2016].

5. CONTE, Giuseppe; SCARADOZZI, David. *Applying MAS theory to complex home automation systems*. Università Politecnica delle Marche, Department of Information, Management and Automation Engineering. [en línea]. Recuperado de: <[http://www.researchgate.net/profile/David\\_Scaradozzi/publication/228902533\\_Applying\\_MAS\\_theory\\_to\\_complex\\_home\\_automation\\_systems/links/09e415064555ac3451000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/David_Scaradozzi/publication/228902533_Applying_MAS_theory_to_complex_home_automation_systems/links/09e415064555ac3451000000.pdf)>. [Consulta: noviembre de 2015].
6. ENDRIZZI, M. et al. *Diagnóstico de las condiciones de iluminación nocturna en los recintos urbanos arbolados a partir de la modificación del sistema de alumbrado público*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas. [en línea]. Recuperado de <<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/790/831/4881.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2015].
7. HEGYI, Dennis. *Multifunction light sensor for vehicle*. US Patent 5703568. Grant Application Number US 08/599,272. Recuperado de: <<https://www.google.com/patents/US5703568>>.
8. HUANG, Huiping; XIAO, Shide; MENG, Xiangyin; XIONG, Ying. *A remote home security system based on wireless sensor network and GSM Technology*. [en línea]. Recuperado de: [Consulta: enero de 2016].
9. INAMURA, H. et al. *TCP over Second (2.5G) and Third (3G) Generation Wireless Networks*. RFC3481. BCP 71, Category Best Current

*Practice*. [en línea]. Recuperado de: <<http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3481.txt.pdf>>.

10. LIN, Jyong; CHEN, Shih-Chang; SHIH, Yu-Tsen; Chen, Shi-Huang. *A study on remote on-line diagnostic system for vehicles by integrating the technology of OBD, GPS and 3G*. [en línea]. Recuperado de <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.308.1107&rep=rep1&type=pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
11. MADAN, Vini; REDDY, S.R.N. *GSM-Bluetooth based remote monitoring and control system with automatic light controller*. *International Journal of Computer Applications (0975-8887) Vol. 46 (1)*. [en línea]. Recuperado de: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.259.273&rep=rep1&type=pdf>>. [Consulta: febrero de 2016].
12. MATTERN, Friedman; FLOERKEMEIER, Christian. *From the Internet of Computers to the Internet of Things*. Traducción actualizada de *Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge*. [en línea]. Recuperado de <<http://vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Internet-of-things.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
13. MIETTINEN, Antti; NURMINEN, Jukka. *Energy efficiency of mobile clients in cloud computing*. [en línea]. Recuperado de <[https://www.usenix.org/legacy/events/hotcloud10/tech/full\\_papers/Miettinen.pdf](https://www.usenix.org/legacy/events/hotcloud10/tech/full_papers/Miettinen.pdf)>. [Consulta: enero de 2016].

14. MOLINA, V. et al. *Visualización de flujos de energía en recintos ventilados*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, INENCO – Universidad Nacional de Salta. [en línea]. Recuperado de:  
<<http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t008-a014.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
15. MYATT, Glenn. *Making sense of data. A practical guide to exploratory data analysis and data mining*. USA: Wiley Interscience, John Wiley & Sons, Inc. 280 p.
16. OSTROVSKY, Rafail. SCHULMAN, Rabani; YUVAL, Leonard; SWAMY, Chaitanya. The effectiveness of Lloyd-type methods for the k-means problem. En: *Journal of the ACM*. [en línea]. Recuperado de:  
<<https://www.math.uwaterloo.ca/~cswamy/papers/kmeansfnl.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
17. RODRÍGUEZ, Paula; CADAVID, Julián; DUQUE, Néstor; Demetrio CARRANZA, Demetrio; SILVEIRA, Ricardo. *Un modelo para la organización semiautomática de contenido educativo desde repositorios abiertos de objetos de aprendizaje*. [en línea]. Recuperado de:  
<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15530561009>>. [Consulta: enero de 2016].
18. WATSON, Richard; BOUDREAU, Marie-Claude; CHEN, Adela. *Information Systems and environmentally sustainable development: Energy Informatics and New Directions for the IS*

*Community*. MIS Quarterly Issues and Opinions. [en línea].  
Recuperado de:  
<<http://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=2891&context=misq>>. [Consulta: enero de 2016].

