

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO
ESTRATÉGIAS DE CONTROL INTELIGENTE Y CONVENCIONAL PARA CÁMARA
DE AMBIENTE CONTROLADO DE AMPLIO ESPECTRO

Estudiante: Juan Camilo Monsalve Machado
Teléfono(s): 3105453603
E-mail: juancamilo.monsalve@alfa.upb.edu.co

Cédula: 1017202556
Id: 000159693
Programa: Ingeniería Electrónica

Estudiante: Andrea Uribe Rendón
Teléfono(s): 3126446653
E-mail: andrea.uribe@alfa.upb.edu.co

Cédula: 1152438312
Id: 000156710
Programa: Ingeniería Electrónica

Directora: Marisol Osorio Cárdenas
Teléfono(s): 4488388 ext. 14134
E-mail: marisol.osorio@upb.edu.co

Cédula: 1152438312
Id: 000004051
Empresa: UPB

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
NOVIEMBRE 2014
MEDELLÍN

**ESTRATÉGIAS DE CONTROL INTELIGENTE Y CONVENCIONAL PARA
CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO DE AMPLIO ESPECTRO**

Primera revisión

Recibió: _____

Fecha: _____

Lectura y asignación de evaluador en comité #: _____

Fecha: _____

Recomendación: _____

Reprobado: Aplazado: Aprobado:

Comité #: _____ Firma responsable: _____ Fecha: _____

Comentarios:

Segunda revisión

Recibió: _____

Fecha: _____

Lectura y asignación de evaluador en comité #: _____

Fecha: _____

Recomendación: _____

Reprobado: Aplazado: Aprobado:

Comité #: _____ Firma responsable: _____ Fecha: _____

Comentarios:

1. PARTICIPANTES

1.1. ESTUDIANTES

Juan Camilo Monsalve Machado

Cédula: 1017202556

Teléfono: 4715130

Id: 000159693

E-mail: juancamilo.monsalve@alfa.upb.edu.co

Programa: Ingeniería Electrónica

Andrea Uribe Rendón

Cédula: 1152438312

Teléfono: 5865872

Id: 000156710

E-mail: andrea.uribe@alfa.upb.edu.co

Programa: Ingeniería Electrónica

1.2. DIRECTOR

Marisol Osorio Cárdenas

Cédula: 43563470

Teléfono: 4488388 ext. 14134

Id: 000004051

E-mail: marisol.osorio@upb.edu.co

Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana

1.3. GRUPO DE AUTOMÁTICA Y DISEÑO (A+D)

Teléfono: 448 8388

Contacto: Rafael Vásquez

E-mail: rafael.vasquez@upb.edu.co

Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana

1.4. GRUPO DE INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES (GRAIN)

Teléfono: 448 8388

Contacto: Lina María Vélez Acosta

E-mail: lina.velez@upb.edu.co

Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana

GLOSARIO

Cámara de ambiente controlado: “son recintos en los que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para que se lleven a cabo algunas funciones de los seres vivos, como por ejemplo la micropropagación y el crecimiento de plantas, el envejecimiento acelerado, el control de calidad, la investigación de materiales y sistemas, la estabilidad de productos, el acondicionamiento en húmedo, entre muchas otras aplicaciones” [1].

Maduración de cárnicos: las carnes son añejadas a fin de lograr características distintivas. La maduración es un proceso que requiere de carnes de muy buena calidad, de cortes especiales y de una higiene muy estricta [2].

Tetranychus Urticae Koch: es un ácaro de dos manchas catalogada como una de las especies que ocasiona más problemas a la agricultura en todo el mundo [3].

Diagrama psicrométrico: este diagrama es muy útil para realizar cálculos rápidos y sencillos sobre transformaciones de un sistema vapor de agua y aire. Se construye a presión constante (normalmente a 760 mm de Hg) y relaciona la humedad absoluta en función de la temperatura del aire y su humedad relativa ambiente [4].

Compresión mecánica: consiste en la realización de un proceso cíclico de transferencia de calor interior de un recinto al exterior, mediante la evaporación de sustancias denominadas refrigerantes como el freón, las que actualmente están siendo reemplazados por refrigerantes alternativos que no afectan el medio ambiente y la capa de ozono [5]

PID: el controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es una implementación simple de la idea de realimentación. Tiene la capacidad de eliminar errores en estado estacionario mediante la acción integral, y puede anticipar el futuro con la acción derivativa. [6].

Consumo energético: es la energía necesaria para satisfacer la demanda energética de calefacción, refrigeración, ACS, y en edificios de uso distinto al residencial privado,

de iluminación del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia energética de los sistemas empleados [7].

Control convencional: está pensado para sistemas: continuos, lineales e invariantes en el tiempo. Hace uso de los métodos de regulación tales como: sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos o eléctricos y electrónicos. Los sistemas que conforman al control clásico son univariantes y lo más importante son invariantes en el tiempo [8].

Control moderno: está pensado para sistemas digitales - lineales o no lineales generalmente usan técnicas de espacio de estado. Se diferencia del control clásico desde la llegada de los sistemas digitales. El Control Moderno se forma a partir de varias ramas de estudio, siendo las más importantes: el Control Adaptativo, el Control Robusto y el Control Inteligente [8].

Control Inteligente: se basa en las técnicas de inteligencia artificial, que tratan de emular las estrategias del pensamiento humano, usando el procesamiento digital. Algunas de ellas son la lógica difusa, las redes neuronales y los algoritmos genéticos [8].

Lógica difusa: puede considerarse una generalización de la lógica booleana tradicional. En vez de aceptar que un enunciado es ó falso ó verdadero (Binario, bivaluado, discontinuo), se supone que puede tener grados de verdad o de falsedad, tal como sucede en la vida cotidiana y es un algoritmo matemático fácil de implementar en un computador y que permite emular alguna de las funciones que los humanos usamos para tomar decisiones. Como tal sirve para modelar procesos [9].

Válvula proporcional: Las válvulas proporcionales tienen una función de dos vías y pueden regular el caudal por un valor nominal eléctrico, compensando en presión y temperatura. Se componen básicamente de carcasa, solenoide proporcional con captador inductivo de posición, diafragma de medición, compensador de presión y válvula antirretorno opcional [10].

Válvula solenoide: es un dispositivo que se opera por medio eléctrico, se utiliza para tener control sobre el flujo de un líquido o un gas en dos posiciones, completamente abierta o completamente cerrada. Se llama solenoide no por la válvula sino por el mecanismo de control, una bobina montada sobre la válvula [11].

Poliuretano: El poliuretano es por lo general la mezcla de dos componentes o sistemas biocomponentes, el A y el B, en una proporción estequiométrica definida por el químico que diseña la fórmula [12].

2. MODALIDAD

Este trabajo de grado hace parte de la continuación de proyectos previos realizados por el grupo de investigaciones agroindustriales en conjunto con el grupo de automática y diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana, y pertenece a la modalidad de servicio docente, debido a que se enfoca principalmente en la aplicación de estrategias de control inteligente y convencional para el diseño e implementación de prácticas de laboratorio asociadas a las asignaturas del área de automática.

Tabla 1. Porcentajes de dedicación del proyecto

Tipo		%
Teórico	Búsqueda	40
	Desarrollo	0
Experimental		10
Aplicado	Software	40
	De campo	0
Gestión		10
Total		100

3. TEMA DEL PROYECTO

Una cámara de ambiente controlado es un recinto generalmente hermético o aislado del medio que permite recrear un clima específico, controlando artificialmente los valores de humedad relativa y temperatura. Existen cámaras donde se pueden controlar otras variables tales como la presión, la velocidad del aire, la ionización, la radiación entre otros.

Actualmente, el grupo de investigaciones agroindustriales (GRAIN) de la Universidad Pontificia Bolivariana, cuenta con una cámara de ambiente controlado conformada por un sistema de refrigeración por compresión mecánica, un sistema de calefacción por resistencia eléctrica, un sistema de humidificación por resistencias eléctricas sumergidas, un sistema de ventilación y un sistema control de iluminación. En un proyecto de grado previo llamado “Cámara de Ambiente Controlado para la Supervivencia de Plantas e Insectos” fue adaptada dicha cámara, usada en principio para la maduración de cárnicos, en un recinto de control biológico contra el ácaro *Tetranychus Urticae Koch* (ver Glosario), por medio de control convencional PID.

En el proyecto de grado “Estrategias de Control Inteligente y Convencional para Cámara de Ambiente Controlado de Alto Espectro” se pretende desarrollar un control inteligente para automatizar la cámara de ambiente controlado para diferentes aplicaciones y utilizar técnicas convencionales de control para generar propuestas prácticas en asignaturas del área de automática.

Tabla 2. Porcentajes Temas del proyecto

Área	%
Automática	40
Software	40
Instrumentación	20
Total	100

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Grupo de Investigaciones Agroindustriales (GRAIN) en conjunto con el Grupo de Automática y Diseño (A+D), se encuentra ejecutando acciones y desarrollos de investigación para mejorar los procedimientos que se realizan en el laboratorio, dentro de esas acciones se incluye el trabajo de grado realizado previamente “Cámara de Ambiente Controlado para la Supervivencia de Plantas e Insectos”. Lo que se busca en este nuevo trabajo de grado es incrementar las posibilidades obtenidas en el trabajo anterior y mejorar algunos aspectos que pueden ser útiles para el uso del equipo. Algunas acciones específicas que se desea llevar a cabo son:

- Incrementar los rangos de operación, de manera que se abarque un sector mayor de la no linealidad y pueda estudiarse mejor esta característica.
- Incrementar los controladores aplicados en la máquina, de manera que se puedan hacer comparaciones y análisis entre ellos.
- Mejorar la posibilidad de acceso que tienen los estudiantes a diferentes sistemas de control, de manera que incida positivamente en su trabajo académico.
- Incrementar el número de guías prácticas de laboratorio para la comparación, el análisis y la aplicación de los conocimientos adquiridos en las asignaturas relacionadas con el área de automática.

5. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Cámaras de ambiente controlado

“Las cámaras de ambiente controlado son recintos en los que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para que se lleven a cabo algunas funciones de los seres vivos, como por ejemplo la micropropagación y el crecimiento de plantas [13], el envejecimiento acelerado, el control de calidad, la investigación de materiales y sistemas, la estabilidad de productos, el acondicionamiento en húmedo, entre muchas otras aplicaciones” [1].

Puede definirse entonces una cámara de ambiente controlado como un sistema cerrado capaz de reproducir a voluntad, y en condiciones estables, cualquier valor de temperatura y humedad relativa compatible con el diagrama psicrométrico (ver glosario) [14]. También en una cámara de ambiente controlado se pueden introducir sujetos de estudio durante el tiempo necesario para analizar sus respuestas a la exposición al ambiente predeterminado [1].

“Las cámaras de ambiente controlado se diseñan en función de cada aplicación, teniendo en cuenta variables fundamentales tales como la capacidad de enfriamiento; la capacidad de calentamiento; la capacidad de humidificación; las dimensiones del recinto de ensayo; el formato, compacto o por paneles ensamblables; la masa sometida al tratamiento, conservación o ensayo; la disipación térmica del contenido; y variables adicionales tales como la existencia de gases controlados (contaminación, renovación de emanaciones y atmósferas inertes, entre otros) y simulación solar; entre otros” [1].

Cámara de la Universidad Pontificia Bolivariana

El Grupo de Agroindustrial GRAIN dispone de una cámara de ambiente controlado utilizada para generar un entorno adecuado para la supervivencia de plantas e insectos. Inicialmente la cámara estaba adecuada para la maduración cárnica, después se acondicionó para el crecimiento de plantas e insectos, lo que proporcionó un ambiente adecuado para los organismos vivos, teniendo en cuenta principalmente las variables

temperatura y humedad relativa.

Actualmente la cámara de ambiente controlado está adecuada para proporcionar una condición ambiental específica para que los ácaros *Tetranychus Urticae Koch* sobrevivan dentro del ambiente artificial. La cámara está adecuada con un control clásico PID para el sistema de calefacción, un sistema de detección de nivel para el sistema de humedad relativa, un control por lazo abierto para el sistema de lámparas y el acondicionamiento de los demás actuadores para generar el ambiente deseado [15].

La cámara de ambiente controlado cuenta con un sistema de refrigeración, un sistema de calefacción, un sistema de humidificación, un sistema de iluminación y un sistema de ventilación. Dicha cámara está completamente aislada del medio ambiente para que la acción de los sensores y actuadores no se vea directamente afectada por las condiciones climáticas que se puedan presentar.

El sistema de refrigeración de la máquina busca trasladar la energía térmica en forma de calor dentro de la cámara hacia el medio ambiente, es decir, sacar el calor que hay en la cámara. Se utiliza el método de compresión mecánica (ver glosario) para realizar este proceso de enfriamiento [16].

El sistema de calefacción busca aumentar la temperatura de ambiente y puede ser instalado junto con el sistema de ventilación para forzar el calentamiento del aire. Al introducir el calor por medio del sistema de aire, se asegura que toda la cámara esté a la misma temperatura, debido a la distribución homogénea del flujo de aire.

El sistema de humidificación busca calentar agua hasta llevarla al punto de ebullición y así humedecer el ambiente. Cuenta con un recipiente con agua y un mecanismo para calentarla. El recipiente con agua tiene un detector de nivel para controlar que siempre haya líquido en dicho recipiente para que el agua pueda ser calentada. Cuando el sensor de nivel detecta que hay poca agua, se activa el proceso de llenado a través de una válvula solenoide que da paso al agua.

El sistema de iluminación recrea la luz que emite el sol. Este sistema consta de un conjunto de lámparas para producir las condiciones de la luz de la mañana, el medio día, el atardecer, y la noche, teniendo en cuenta la radiación que emite la luz solar en cada uno de sus estados.

Finalmente, para el sistema de ventilación se cuenta con un ducto distribuido uniformemente por la cámara. El sistema genera una presión de alimentación positiva, de izquierda a derecha y lo hace por medio de ventiladores.

Cada sistema es adecuado para que junto con los demás, generen el ambiente deseado para una aplicación en específico.

La cámara cuenta con varios sensores y actuadores que permiten la tarea de control. Cuenta con un sensor de temperatura que puede determinar el grado de calentamiento o enfriamiento de la cámara, generado por el sistema de refrigeración o calefacción de la misma, un detector de nivel y un sensor de humedad relativa asociados al proceso de humidificación, un sensor de presión y un medidor de flujo de aire para controlar el sistema de ventilación de la cámara. Además cuenta con un conjunto de lámparas que simula diferentes intensidades de luz del día, una válvula solenoide para controlar el nivel de agua en el recipiente del sistema de humidificación, un compresor para aumentar la presión y desplazar el fluido compresible por toda la cámara en el sistema, una resistencia para el proceso de humidificación y otra para el sistema de calefacción y un ventilador para el sistema de ventilación.

La cámara también cuenta con dos pulsadores, uno para el arranque y otro para el paro de la máquina y un botón para el paro de emergencia; así como tres leds indicadores, uno para indicar funcionamiento normal de la cámara, otro para indicar estado de emergencia o evento inesperado y finalmente uno para ver si el compresor está o no en funcionamiento.

Cámara de maduración de productos cárnicos a escala de laboratorio

Una cámara de maduración es de uso frecuente en las industrias cárnicas y lácteas. Interesa mantener unos niveles relativamente altos de humedad en la cámara para evitar problemas de encostramiento, pero también se ha de evitar la proliferación de mohos. Por tanto se controla la temperatura y humedad relativa de la cámara de maduración [17].

La Cámara de Maduración se construyó en conjunto con la Fundación INTAL, C.I. TALSA y la Universidad Pontificia Bolivariana, a través del Grupo de Investigación en Energía y Termodinámica (GET) y el Grupo de Investigaciones de Agroindustrial (GRAIN).

Fue construida en acero inoxidable para suplir la necesidad del procesamiento de 4 kg de producto. Tiene un interior de 95 cm de profundidad, 9 cm de ancho y 59 cm de alto y un exterior de 60 cm de profundidad, 70 cm de ancho y 170 cm de alto , y un espesor de 4 cm de espuma de poliuretano (ver glosario), esta espuma es un material aislante de muy buen rendimiento [12].

Cámaras de ambiente controlado comerciales

Existen muchas empresas y compañías a nivel mundial que comercializan cámaras de ambiente controlado con diferentes características y para variadas aplicaciones.

La empresa SCIMERICAS, S.A DE C.V es una empresa de origen Mexicano, es pecializada en la venta de máquinas de precisión para laboratorios de investigación, industrial y biomédico. Esta empresa provee entre todos sus productos, cámaras de ambiente controlado de humedad y temperatura, cámaras climáticas y cámaras de crecimiento [18].

Otras empresas de origen Mexicano que diseñan y distribuyen cámaras son *Pharma Plant*, CEFRISA, Vamsa y Construcciones Jes Am [19].

Percival Scientific, Inc es una empresa líder nacional e internacionalmente, con origen en Des Moines, Iowa (Estados Unidos) que diseña y fabrica diferentes tipos de cámaras de ambiente controlado estandarizadas o personalizadas según el cliente para satisfacer las necesidades específicas de los clientes, ya sea de investigación, plazos o presupuestos. Sus aplicaciones están capacitadas para controlar múltiples variables, entre ellas la temperatura y la humedad [20].

Otra empresa de Estados Unidos que trabaja con cámaras de ambiente controlado para diferentes variables es Cole-Parmer, y dispone de cámaras con diferentes aplicaciones en un rango de precios de 860.00 USD hasta 6000.00 USD [21].

En Colombia se destaca la empresa Equipos y Laboratorio de Colombia, con contacto en la Ciudad de Medellín, la cuál provee una cámara de estabilidad con humedad y temperatura controladas por sistema Peltier.Memmert, de referencia HPP-110. La cámara esta construida de acero inoxidable, capacitada para el control de temperatura desde 5°C hasta 70°C y la humedaad en un rando del 10% al 90%, además de incluir lectura digital, empleo de termostato microprocesado electrónico, con sensor Pt100 y sistema autodiagnóstico y aporte de humedad con agua destilada mediante bomba

autoaspirante [22].

Logica difusa

En esta sección se utilizan los conceptos expuestos en las diapositivas de la asignatura de Control Inteligente, Lógica Difusa [23].

La lógica difusa se puede considerar como una generalización de la lógica booleana tradicional, porque en vez de aceptar que un enunciado es ó falso ó verdadero (Binario, bivaluado, discontinuo), se supone que puede tener grados de verdad o de falsedad, tal como sucede en la vida cotidiana. Entre los controles inteligentes, la lógica difusa se clasifica dentro de la categoría del control robusto, su robustez se asemeja a la concepción humana, inexacta pero útil, del problema.

Se recomienda utilizar la lógica difusa cuando el sistema tienen variables continuas, o con sistemas no lineales, cuando el modelamiento matemático es muy complejo, cuando hay sensores económicos y procesadores de baja precisión, cuando el razonamiento es incierto o aproximado o cuando las formulas son muy complejas para los modelos, entre muchas más.

La lógica difusa utiliza la heurística de los expertos en el sistema específico para tomar la decisión, en caso de que en el problema de control no hay experto o el proceso cambia constantemente, existen varias formas de auto aprendizaje para el controlador: adaptativo por modelo de referencia, redes neuronales o algoritmos genéticos.

6. OBJETIVOS

6.1. GENERAL

Generar estrategias de control inteligente por medio de lógica difusa para una cámara de ambiente controlado, de manera que incremente sus posibilidades de ser utilizada para la investigación y la docencia.

6.2. ESPECÍFICOS

- Hacer un estudio del funcionamiento y la instrumentación de la cámara de ambiente controlado para determinar el rango de operación en el cual es posible trabajar.
- Diseñar una estrategia de control moderno, un control inteligente por lógica difusa, que permita la adaptación de la cámara alrededor de diferentes puntos de operación para lograr diferentes aplicaciones dentro de la misma.
- Implementar el controlador inteligente por lógica difusa en la cámara de ambiente controlado.
- Comparar los resultados del control inteligente por lógica difusa con el control convencional actual.
- Elaborar prácticas de laboratorio que se puedan usar como alternativa para las asignaturas del área.
- Escribir un artículo publicable que reporte los logros obtenidos.

7. PRODUCTOS ESPERADOS

Al finalizar este proyecto se deben entregar los siguientes productos:

- Monografía en la que se documenta las estrategias de control desarrolladas.
- *Software* de control inteligente por lógica difusa para la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de modelizado de sistemas, aplicado a la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de control convencional PID para la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de control por lógica difusa para la cámara de ambiente controlado, con un módulo comparativo entre los controladores PID y lógica difusa.
- *Software* desarrollados en la plataforma de LabVIEW, como respaldo a las guías de laboratorio y sometidos para su registro ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor.
- Un artículo publicable.

8. ALCANCE

A continuación se describen de manera detallada los alcances bajo los cuales se van a desarrollar los productos esperados del trabajo de grado “Estrategias de Control Inteligente y Convencional para Cámara de Ambiente Controlado de Alto Espectro”.

1. El estado final del diseño del controlador usando estrategias de control moderno por lógica difusa, será la implementación en la cámara de ambiente controlado de la Universidad.
2. Los *software* desarrollados en la plataforma LabVIEW (controlador por lógica difusa y guías de laboratorio), se dejarán sometidos a registro.
3. Las tres guías de laboratorio usando modelizado del sistema, diseño de control convencional PID y control inteligente por lógica difusa, se dejarán listas para una primera interacción con los estudiantes.
4. El artículo se dejará sometido a una revista nacional.

9. METODOLOGÍA

Este trabajo de grado tiene como fin, realizar el análisis y el desarrollo de herramientas de control para una cámara de ambiente controlado perteneciente al grupo de investigación de Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana. Para dar inicio al proceso, se deberá realizar:

- Una búsqueda de información del estado del arte de las cámaras de ambiente controlado, las que hay en el mercado, que hacen y cuáles son sus aplicaciones. Esta búsqueda se hará en sitios web como *ScienceDirect*, que son plataformas de acceso a publicaciones académicas y libros electrónicos [24].
- También se hará un estudio detallado del trabajo de grado realizado previamente y de la máquina implementada.
- Se hará un estudio profundo de la estrategias de control moderno por lógica difusa, teniendo su diseño e implementación en los sistemas de control y las principales ventajas de aplicar el método.
- Luego, se hará un estudio de las características de la cámara en la lógica difusa y un estudio del diseño de controladores con lógica difusa en la plataforma y entorno de desarrollo de LabVIEW.
- Se implementará el controlador de lógica difusa en la cámara de ambiente controlado.
- Cuando se tenga el controlador difuso implementado, se procederá a hacer las respectivas pruebas de funcionamiento. Una vez el sistema esté en polarizado, se realizarán cambios en el set point por medio de estímulos (escalones de subida y bajada), para comparar el tiempo de estabilización y la respuesta en el tiempo entre el controlador que posee la cámara y el nuevo controlador de lógica difusa diseñado.
- Los datos serán guardados en archivos de hojas de cálculo, para después ser llevados y analizados en la herramienta de *software* matemático Matlab.
- También se construirán guías de laboratorio, para que los estudiantes puedan tener

contacto con el control de la cámara de ambiente controlado.

- Las guías de laboratorio serán acompañadas de interfaces desarrolladas en la plataforma de desarrollo de LabVIEW.
- Por último se desarrollará un artículo publicable que cumpla con algunos de los objetivos propuestos en el trabajo de grado y se buscarán posibles revistas para publicar.
- Cabe resaltar que durante todo el proceso de realizar las estrategias de control para la cámara de ambiente controlado, se documentará el desarrollo y los resultados obtenidos.

10. JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS

Este trabajo de grados busca beneficiar diferentes comunidades relacionadas con la Universidad Pontificia Bolivariana. La comunidad estudiantil se beneficiará porque los estudiantes contarán con nuevas herramientas para el trabajo de laboratorio, la comunidad investigadora se beneficiará porque tendrán un equipo adicional para llevar a cabo los trabajos de investigación, la comunidad del control automático se beneficiará porque tendrán una aplicación real de estrategias y teorías de control donde se pueden hacer experimentos y comparaciones, además, se beneficiará la comunidad agroindustrial, debido a que se podrán hacer pruebas a diferentes compuestos con sus respectivos ambientes, y por último se beneficiará el sector industrial, porque los estudiantes que hayan utilizado este sistema, estarán en la capacidad de hacer trabajos en el área del control, pues el trabajar con la cámara de ambiente controlado los llevará a entender adecuadamente las variables temperatura y humedad relativa que son dos de las variables más utilizadas en el sector industrial.

11. TABLA DE CONTENIDO

A continuación se describe una tabla de contenido preliminar del proyecto de grado o informe final, con una breve explicación de cada título.

INTRODUCCIÓN

1. **ESTADO DEL ARTE DE LA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA RESUELTO**
 - 1.1. **Cámaras existentes y sus aplicaciones:** descripción detallada de las cámaras de ambiente controlado desarrolladas en el mercado y las diversas utilidades y adaptaciones de la misma.
2. **ESTUDIO DETALLADO DEL TRABAJO DE GRADO PREVIO**
 - 2.1. **Cámara de ambiente controlado:** descripción general, estado en el que se encuentra y partes que contiene la cámara de ambiente controlado en la actualidad.
 - 2.2. **Variables involucradas en la cámara de ambiente controlado:** descripción detallada de cada una de las variables que comprende la cámara.
 - 2.2.1. **Temperatura:** descripción detallada de la función y el proceso de la variable temperatura dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.2.2. **Humedad relativa:** descripción detallada de la función y el proceso de la variable humedad dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.2.3. **Nivel:** descripción detallada de la función y el proceso de la variable nivel dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.2.4. **Flujo de aire:** descripción detallada de la función y el proceso del flujo de aire dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.2.5. **Iluminación:** descripción detallada de la función y el proceso de la variable iluminación dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.3. **Sensores:** puntualización de la instrumentación sensórica incorporada en la cámara y su funcionamiento.

- 2.4. **Actuadores e Indicadores:** puntualización de los actuadores e indicadores incorporados en la cámara y su funcionamiento.
 - 2.5. **Controlador Lógico Programable:** descripción del PLC en cuanto a funciones, estructura, montaje y adaptación, con el que se cuenta para realizar las tareas de control dentro de la cámara de ambiente controlado.
 - 2.6. **Modos y rango de operación:** estudio de los rangos de operación y medición que puede abarcar toda la instrumentación implementada actualmente dentro de la máquina.
 - 2.7. **Control PID implementado:** ubicar al lector en el trabajo previo de control clásico PID que se había implementado dentro de la máquina.
3. **ESTRATEGIAS DE CONTROL MODERNO POR LÓGICA DIFUSA**
 - 3.1. **Lógica Difusa:** explicación pertinente de la teoría involucrada para el desarrollo de un controlador de lógica difusa, descripción de conceptos y estrategias a utilizar.
 - 3.1.1. **Variables involucradas:** definición de las variables que se van a controlar por medio de lógica difusa en la cámara de ambiente controlado.
 - 3.1.2. **Universo del discurso:** definición y explicación de los rangos en los cuales se van a diseñar los controladores difusos.
 - 3.1.3. **Funciones de membresía:** declaración del tipo de función de membresía a utilizar dentro del proceso de diseño de los controladores.
 - 3.1.4. **Reglas:** explicación de la definición y ajuste de reglas para la construcción de los controladores difusos.
 - 3.1.5. **Superficie de control:** Explicación de la gráfica o superficie obtenida con las reglas definidas para el controlador.
 - 3.1.6. **Método de defusificación:** explicación del método seleccionado para que el controlador difuso tome las decisiones en base a las reglas y la forma de las funciones de membresía.
 - 3.1.7. **acondicionamiento de las variables al proceso:** Explicación del proceso de obtención de las variables desde la cámara hasta el computador y el mando de la acción de control desde el computador hasta el PLC y finalmente a los actuadores de la máquina.
 - 3.2. **Diseño de interfaz de Lógica difusa en LabVIEW:** descripción de la implementación de la teoría de la lógica difusa en la herramienta de simulación de LabVIEW.

- 3.2.1. **Variables de entrada y universo del discurso:** definición de las variables que se van a controlar y de los rangos en los cuales se van a diseñar los controladores difusos en los módulos de lógica difusa de LabVIEW.
- 3.2.2. **Funciones de membresía:** procedimiento para declarar de tipo de función de membresía a utilizar dentro del proceso de diseño de los controladores en LabVIEW.
- 3.2.3. **Implementación de las reglas:** procedimiento para la definición y ajuste de reglas difusas en la plataforma LabVIEW.
- 3.2.4. **Superficie de control:** explicación del procedimiento para obtener en la plataforma LabVIEW la gráfica de control definida por las reglas declaradas.
- 3.2.5. **Método de defusificación:** explicación de como la plataforma de LabVIEW toma las decisiones entre las reglas establecidas para el controlador.

4. PRUEBAS DE CONTROLADORES

- 4.1. **Puesta a punto de la cámara de ambiente controlado:** descripción de los factores adicionales que fueron necesarios implementar en la cámara para garantizar el correcto funcionamiento del controlador PID ya establecido y el de lógica difusa diseñado.
- 4.2. **Pruebas del controlador previo PID:** descripción de la pruebas realizadas al controlador PID implementado en la cámara.
 - 4.2.1. **Toma de datos Matlab:** resultados de la pruebas realizadas al controlador PID arrojados por la plataforma de simulación.
- 4.3. **Pruebas del controlador por lógica difusa:** descripción de la pruebas realizadas al controlador difuso diseñado.
 - 4.3.1. **Toma de datos en Matlab:** resultados de la pruebas realizadas al controlador difuso arrojados por la plataforma de simulación.
- 4.4. **Resultados obtenidos de los controladores:** establecimiento de diferencias, similitudes, mejoras, dificultades o situaciones constantes entre el control PID implementado actualmente en la máquina y el control difuso diseñado.

5. GUÍAS DE LABORATORIO PARA LA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO

- 5.1. **Procesos automáticos de la cámara:** descripción de ideas y necesidades en el área de automática para el desarrollo de prácticas de laboratorio usando controladores clásicos.

- 5.2. **Guía de laboratorio, modelizado:** propuesta del modelizado de la cámara de ambiente controlado.
 - 5.3. **Guía de laboratorio, control PID:** aplicación de los conceptos de control convencional a la cámara de ambiente controlado.
 - 5.4. **Guía de laboratorio, control por lógica difusa:** aplicación de los conceptos de control inteligente a la cámara de ambiente controlado.
 - 5.5. **Interfaz en LabVIEW para las prácticas de laboratorio:** presentación y descripción de funcionamiento de la interfaz diseñada para cada guía de laboratorio.
6. **ARTÍCULO PUBLICABLE**
 7. **PRODUCTOS OBTENIDOS:** presentación y descripción de los productos del proyecto.
 8. **TRABAJOS FUTUROS:** posibles continuaciones del trabajo con la cámara de ambiente controlado.
 9. **CONCLUSIONES**

REFERENCIAS: contenido bibliográfico o cibergráfico.

AUTORES: pequeña biografía de los estudiantes.

ANEXOS: posibles extensiones del proyecto.

12. RECURSOS, MATERIALES Y PRESUPUESTO

RECURSO	Participación (miles de pesos)		Implica desembolso	
	Estudiante	UPB	Si (Nuevo)	No (Existente)
Bibliografía	\$ 500,00	\$ 1.000,00	-	X
Papelería	\$ 200,00	\$ 200,00	-	X
Telecomunicaciones	\$ 200,00	\$ 500,00	-	X
Equipos	\$ 2.000,00	\$ 1.500,00	-	X
<i>Software</i>	\$ 3.200,00	\$ 6.200,00	-	X
Transporte	\$ 600,00	\$ -	-	X
Trabajo Estudiante	\$ 9.600,00	\$ -	-	X
Trabajo Director	\$ -	\$ 7.200,00	-	X
Trabajo Asesor	\$ -	\$ 4.800,00	-	X
SUBTOTAL	\$ 16.300,00	\$ 21.400,00	-	X
Imprevistos (10%)	\$ 1.630,00	\$ 2.140,00	-	X
TOTAL	\$ 17.930,00	\$ 23.540,00	-	X
GRAN TOTAL	\$ 41.470,00		\$ -	

13. CRONOGRAMA Y OCUPACIÓN

	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
1	Estado del arte	X	X	X													72
2	Formulación y entrega del anteproyecto			X	X	X											87
3	Estudio del estado actual de la máquina	X	X	X													72
4	Estudio de lógica difusa					X	X	X	X	X	X						92
5	Diseño de control inteligente						X	X	X	X	X						60
6	Diseño de <i>software</i> Lógica Difusa							X	X	X	X	X					80
7	Pruebas de controladores									X	X	X	X				65
8	Estudio de aplicaciones académicas								X	X	X	X	X				87
9	Realizar guías de laboratorio								X	X	X	X	X	X			85
10	Interface para prácticas de laboratorio										X	X	X	X			80
11	Construcción del artículo publicable										X	X	X	X	X		80
12	Redacción del trabajo											X	X	X	X		60
13	Revisión de los jurados															X	40
Total Proyecto																	960
Número de estudiantes																	2
Total por estudiante																	480

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Maestro. (2009) Camaras de ambiente controlado. [Online]. Available: <http://cci-calidad.blogspot.com/2009/08/camaras-de-ambiente-controlado.html>
- [2] I. Quezada. Maduración de carnes: Mejora sustancial de la calidad. [Online]. Available: http://www.agrimundo.cl/wp-content/uploads/reporte_agrimundo_carnes_rojas.pdf
- [3] E. C. Chavéz, J. Landeros, Y. O. Fuentes, J. L. Ruiz, O. V. Martines, and O. V. López. Tolerancia del ácaro *tetranychus urticae* koch a cuatro acariciadas de diferente grupo toxicológico. [Online]. Available: <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista44/Articulo%201.pdf>
- [4] C. d. I. I. Depto. de ingeniería química. Higrometría. [Online]. Available: http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_ano/integracion3/Psicrometria.pdf
- [5] 2011. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- [6] K. J. Astrom and T. Hagglund, *Control PID avanzado*, ser. ISBN: 978-84-8322-511-0, M. M. Romo, Ed. PEARSON Prentice Hall, 2009.
- [7] J. Tenorio. (2013) Jornada de presentación de la "actualización del documento básico de ahorro de energía. [Online]. Available: http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/documentosCTE/DB_HE/03_DBHE0_Jose_Antonio_Tenorio.pdf
- [8] E. de Ingenierías Industriales. (2013) Sistemas de control. [Online]. Available: <http://www.eii.uva.es/~jossan/scyc/temario/T1.pdf>
- [9] M. Betancur. (2011) Lógica difusa. [Online]. Available: <https://digicampus.>

upb.edu.co/moodle/file.php/555/LogicaDifusa/LogicaDifusaIntro20110913.pdf

- [10] Rexroth. (2007) Válvula proporcional reguladora de caudal en versión de 2 vías. [Online]. Available: http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_29188/rs29188_2007-02.pdf
- [11] Fidena. (2010) Valvulas de solenoide. [Online]. Available: <http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/LibrosMaquinas/libros%20curricula/7o.%20semestre/Refrigeracion%20II/Manual%20Tecnico%20de%20Refrigeracion/07%20Valvulas%20Solenoide.pdf>
- [12] B. Orjuela, J. Pablo, I. Roldán, and C. Alejandro, “Diseño y construcción de una cámara de maduración de productos cárnicos a escala de laboratorio,” Master’s thesis, Universidad Pontificia Bolivariana, 2012.
- [13] Álvarez. (2007) Carga térmica en las cámaras del clima controlado que utilizan la energía solar. [Online]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar12/HTML/articulo04.htm>
- [14] CCI. (2006) Cámaras de ambiente controlado. [Online]. Available: <http://www.cci-calidad.com/articulos994.htm>
- [15] J. Pazos, J. Cardona, M. Osorio, C. Hincapié, and C. Isaza. (2013) Cámara de ambiente controlado para la supervivencia de plantas e insectos. [Online]. Available: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_Ingeniar_2013_Camara_de_Ambiente_Controlado_para_la_Supervivencia_de_Plantas_e_Insectos_1_324.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_Ingeniar_2013_Camara_de_Ambiente_Controlado_para_la_Supervivencia_de_Plantas_e_Insectos_1_324.pdf)
- [16] Alike. (2011) Sistema de refrigeración por compresión. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- [17] J. Bon and A. Mulet. (2001) Modelización y optimización de cámaras de maduración. [Online]. Available: http://www.etseq.urv.es/doctorat/index/seminars/programme/april/15_04_05/Mulet2.pdf
- [18] S. D. C. SCIMERICAS. (2012) Cámaras de crecimiento. [Online]. Available: <http://www.scimericas.com.mx/Productos/C/%C3%A1marasdecrecimiento/ta.bid/135/Default.aspx>

- [19] Quiminet. (2011) Cámaras de ambiente controlado (humedad y/o temperatura). [Online]. Available: <http://www.quiminet.com/productos/camaras-de-ambiente-controlado-humedad-y-o-temperatura-11335387771.htm>
- [20] I. Percival Scientific. (2014) Welcome to percival scientific, inc. [Online]. Available: <http://www.percival-scientific.com/>
- [21] Cole-Parmer. (2011) Lab equipment. [Online]. Available: <http://www.coleparmer.com/Category/Ovens/3298>
- [22] E. y Laboratorio de Colombia. (2012) Hpp-110 cÁmara de estabilidad con humedad y temperatura controladas por sistema peltier. memmert. [Online]. Available: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_mo.php?it=5010
- [23] M. Betancur. Lógica difusa y aprendizaje de máquina. [Online]. Available: <https://digicampus.upb.edu.co/moodle/mod/resource/view.php?id=20630>
- [24] ScienceDirect. (2014). [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com>

 Universidad Pontificia Bolivariana	ACTA DE PROPIEDAD INTELLECTUAL TRABAJOS DE GRADO	VICERRECTORÍA ACADÉMICA
---	---	--------------------------------

FECHA: 2014/26/11

1. NOMBRE DEL PROYECTO: ESTRATEGIAS DE CONTROL INTELIGENTE Y CONVENCIONAL PARA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO DE AMPLIO ESPECTRO

2. PARTICIPANTES

2.1 ESTUDIANTES

Nombre: Juan Camilo Monsalve Machado

No. c.c.: 1017202556

Horas dedicadas al proyecto: 480

Programa en el cual se encuentra matriculado: Ingeniería electrónica

Nombre: Andrea Uribe Rendón

No. c.c.: 1152438312

Horas dedicadas al proyecto: 480

Programa en el cual se encuentra matriculado: Ingeniería electrónica

2.2 DIRECTOR

Nombre: Marisol Osorio Cárdenas

No. c.c.: 43563470

Empresa donde labora actualmente: UPB

Cargo en la empresa: Docente Investigadora TC

Horas dedicadas al proyecto: 50

3. FUENTES DE FINANCIACIÓN

		Aporte en efectivo	Aporte en especie	Total por fuente de financiación
Fuentes de financiación	Ítem	Miles de Pesos		
UPB	Bibliografía	0	1000	1000
	Papelería	0	200	200
	Telecomunicaciones	0	500	500
	Equipos	0	1500	1500
	Software	0	6200	6200
DIRECTOR	Trabajo	0	7200	7200
ASESOR	Trabajo	0	4800	4800
Estudiantes	Bibliografía	0	500	500
	Papelería	200	0	200
	Telecomunicaciones	0	200	200
	Equipos	0	2000	2000
	Software	0	3200	3200
	Transporte	600	0	600
	Trabajo	0	9600	9600
Total del proyecto		800	36900	37700
Imprevistos (10%)		80	3690	3770
GRAN TOTAL		41470		41470

4. PRODUCTOS

Los siguientes productos se entregan al finalizar el proyecto:

- Monografía en la que se documenta las estrategias de control desarrolladas.
- Software de control inteligente por lógica difusa para la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de modelizado de sistemas, aplicado a la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de control convencional PID para la cámara de ambiente controlado.
- Guía de laboratorio de control por lógica difusa para la cámara de ambiente controlado, con un módulo comparativo entre los controladores PID y lógica difusa.
- Software desarrollados en la plataforma de LabVIEW, como respaldo a las guías de laboratorio y sometidos para su registro ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor.
- Un artículo publicable.

5. EQUIPOS Y MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Los estudiantes, director y asesor, se comprometen a devolver a la Universidad Pontificia Bolivariana todo el equipo y material bibliográfico, obtenido con recursos proporcionados por las dependencias académicas y administrativas de la Universidad, una vez termine el proyecto.

6. DURACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tendrá una duración de 15 meses, contados a partir de su aprobación.

7. PROPIEDAD INTELECTUAL

7.1 DERECHOS MORALES

Los derechos morales de autor corresponden a los estudiantes, al director y a toda persona que a criterio de éstos, haga aportes originales intelectuales en los avances y en el resultado final del proyecto. En cualquier tipo de divulgación se dará crédito a los autores y la Universidad Pontificia Bolivariana.

7.2 DERECHOS PATRIMONIALES

Los derechos sobre los resultados derivados del presente trabajo de grado se rigen por el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad. A continuación se establecen los porcentajes de participación en aportes y por tanto de derechos de patrimoniales sobre los resultados:

Productos	Entidades financiadoras	Monto del aporte (en miles de pesos)	Porcentaje de participación
Monografía del desarrollo del trabajo de grado.	Estudiantes	200	100
Software de control inteligente por lógica difusa para la cámara de ambiente controlado.	Estudiantes	200	100
Guía de laboratorio de modelizado de sistemas	Estudiantes	200	100
Guía de laboratorio de control convencional PID.	Estudiantes	200	100
Guía de laboratorio de control por lógica difusa, con módulo comparativo entre los controladores PID y lógica difusa	Estudiantes	200	100
Software desarrollados en la plataforma de LabVIEW, como respaldo a las guías de laboratorio, sometidos para su registro ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor.	UPB	500	100
Artículo publicable sometido a revista Nacional	UPB	2000	100

8. CONFIDENCIALIDAD

Los participantes se comprometen a guardar absoluta reserva sobre la información confidencial que conozcan o a la que tengan acceso en virtud de su participación en el presente proyecto. Igualmente se comprometen a guardar reserva sobre los resultados innovadores con potencial de aprovechamiento comercial del proyecto.

Igualmente, están en la obligación de no copiar, enviar por fax, reproducir, divulgar, o distribuir el de los documentos, ni en su totalidad o parte, sin el expreso consentimiento por escrito de la UPB.

Acepto que la violación de la reserva a lo aquí convenido dará lugar a la aplicación de las sanciones previstas en el Código Penal, artículo 308 de la Ley 599 del 2000, referente a la Violación de reserva industrial o comercial, sin perjuicio de las que se imponen por competencia desleal y del cobro de las indemnizaciones a que haya lugar.

9. SOLUCIÓN DE CONFLICTOS

En caso de controversia sobre la interpretación o aplicación de la presente acta, se agotarán en primera instancia los conductos regulares de la Universidad, y en caso de no llegar a ningún acuerdo, se dirimirá el conflicto mediante dos (2) amigables componedores designados por cada parte. La decisión será en equidad y tendrá fuerza vinculante para los intervinientes.

10. CONSTANCIA

Todos los partícipes declaran conocer el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En caso que algún participante se retire antes del 80% de ejecución del cronograma del proyecto, perderá todos los derechos sobre los resultados de la misma.

En caso de presentarse alguna circunstancia que altere los términos de la presente acta, deberá anexarse al presente documento la respectiva modificación aprobada por la respectiva facultad.

Para constancia se firma en Medellín, el _____

DIRECTOR PROYECTO

Marisol Osorio Cárdenas

DIRECTOR DE FACULTAD

Hugo Alberto Cardona Restrepo

Estudiante

Juan Camilo Monsalve Machado

Estudiante

Andrea Uribe Rendón

8. CONFIDENCIALIDAD

Los participantes se comprometen a guardar absoluta reserva sobre la información confidencial que conozcan o a la que tengan acceso en virtud de su participación en el presente proyecto. Igualmente se comprometen a guardar reserva sobre los resultados innovadores con potencial de aprovechamiento comercial del proyecto.

Igualmente, están en la obligación de no copiar, enviar por fax, reproducir, divulgar, o distribuir el de los documentos, ni en su totalidad o parte, sin el expreso consentimiento por escrito de la UPB.

Acepto que la violación de la reserva a lo aquí convenido dará lugar a la aplicación de las sanciones previstas en el Código Penal, artículo 308 de la Ley 599 del 2000, referente a la Violación de reserva industrial o comercial, sin perjuicio de las que se imponen por competencia desleal y del cobro de las indemnizaciones a que haya lugar.

9. SOLUCIÓN DE CONFLICTOS

En caso de controversia sobre la interpretación o aplicación de la presente acta, se agotarán en primera instancia los conductos regulares de la Universidad, y en caso de no llegar a ningún acuerdo, se dirimirá el conflicto mediante dos (2) amigables componedores designados por cada parte. La decisión será en equidad y tendrá fuerza vinculante para los intervinientes.

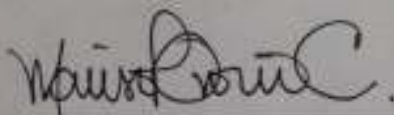
10. CONSTANCIA

Todos los partícipes declaran conocer el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En caso que algún participante se retire antes del 80% de ejecución del cronograma del proyecto, perderá todos los derechos sobre los resultados de la misma.

En caso de presentarse alguna circunstancia que altere los términos de la presente acta, deberá anexarse al presente documento la respectiva modificación aprobada por la respectiva facultad.

Para constancia se firma en Medellín, el 2 de Nov. de 2014



DIRECTOR PROYECTO

Marisol Osorio Cárdenas



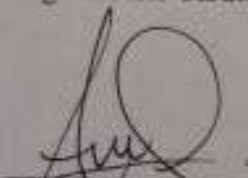
DIRECTOR DE FACULTAD

Hugo Alberto Cardona Restrepo



Estudiante

Juan Camilo Monsalve Machado



Estudiante

Andrea Uribe Rendón

Medellin, 26 de Noviembre de 2014

Señores
Consejo de Facultad
Ingeniería Electrónica
Medellin

Asunto: Proyecto de Grado

Cordial saludo

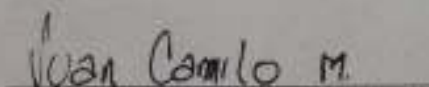
La presente tiene como objetivo presentar para su estudio por parte de Consejo de Facultad, el Proyecto de Grado titulado: Estrategias de control inteligente y convencional para cámara de ambiente controlado de amplio espectro.

Manifiesto además que, conozco el manual de Proyecto de Grado de la Escuela de Ingenierías de la UPB y los deberes y derechos que como Estudiante esto implica. El desarrollo del proyecto se hará de conformidad con lo estipulado en dicho manual.

Atentamente,



Marisol Osorio Cárdenas
C.C 43563470
Directora del Proyecto
Ingeniería Electrónica



Juan Camilo Monsalve Machado
C.C 1017202556
Estudiante
Ingeniería Electrónica



Andrea Uribe Rendón
C.C 1152438312
Estudiante
Ingeniería Electrónica